

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAFIČKI FAKULTET

DIPLOMSKI RAD

Glibo Renato



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAFIČKI FAKULTET
Smjer: Grafička tehnologija



DIPLOMSKI RAD
RECIKLACIJA IREVERZIBILNIH TERMOKROMNIH
TISKARSKIH BOJA

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

Student:
Glibo Renato

Zagreb, 2019. godine

SAŽETAK

Termokromne tiskarske boje su posebne kromogene boje koje mijenjaju svoje obojenje izlaganjem pri određenoj temperaturi. Temperaturni raspon u kojem se odvija prijelaz boje obično se naziva temperatura aktivacije. Promjena boje može biti ireverzibilna (nepovratna) ili reverzibilna (povratna). Svojstvo ireverzibilne promjene boje u odnosu na temperaturno izlaganje tijekom vremena, omogućuje razvoj brojnih indikatora. Kao takvi se mogu koristiti za praćenje stanja skladištenja i prijevoza proizvoda osjetljivih na temperaturu, kao što su ohlađena i smrznuta hrana, lijekovi, kemikalije osjetljive na temperaturu ili biološki materijali, itd. Ostale primjene uključuju praćenje procesa koji zahtijevaju izlaganje visokoj temperaturi kao što je sterilizacija i kuhanje. Budući da je formulacija tiskarske boje bitan čimbenik u deinking procesu, cilj ovog istraživanja utvrđivanje efikasnost recikliranja ireverzibilnih termokromnih otisaka. Termokromne boje razlikuju se od konvencionalnih tiskarskih boji u formulaciji i veličini pigmentata zbog prisutnosti mikrokapsula koje su mnogo veće od konvencionalnih pigmentnih čestica. Kako bi se objasnilo ponašanje ovih boja u procesu recikliranja, također će biti ispitana hidrofobnost uzoraka, kao jednoj značajnog faktora u procesu recikliranja.

KLJUČNE RIJEČI: termokromizam, recikliranje, deinking flotacija

ABSTRACT

Thermochromic printing inks are special chromogenic inks that change their colour by exposure at a certain temperature. The temperature range in which the color transition occurs is usually called the activation temperature. The color change can be irreversible or reversible. The property of irreversible ink change over temperature exposure over time allows the development of numerous indicators. As such, they can be used to monitor storage conditions and transport of temperature sensitive products such as chilled and frozen foods, medicines, temperature sensitive chemicals or biological materials, etc. Other applications include process monitoring that require high temperature exposure such as sterilization and cooking. Since the printing ink formulation is an important factor in the deinking process, the aim of this research is to determine the efficiency of deinkability of irreversible thermochromic prints. Thermochromic inks differ from conventional printing inks in formulation and pigment size due to the presence of microcapsules that are much larger than conventional pigment particles. In order to explain the behavior of these inks in the recycling process, hydrophobicity of the prints will be studied as well.

KEY WORDS: thermochromism, recycling, deinking flotation

SADRŽAJ

1.	UVOD	1
1.1.	ODABIR TEME I CILJ ISTRAŽIVANJA	1
1.2.	HIPOTEZA	1
1.3.	METODOLOGIJA I PLAN ISTRAŽIVANJA	2
2.	TEORIJSKI DIO	3
2.1.	BUDUĆNOST ZASTUPLJENOSTI RECIKLIRANIH VLAKANA	3
2.2.	IZAZOVI RECIKLIRANJA PAPIRA	4
2.3.	RECIKLIRANJE PAPIRA OBZIROM NA UDIO MATERIJALA	5
2.4.	DEINKING FLOTACIJA	6
2.5.	OPTIČKA SVOJSTVA	6
2.5.1.	<i>ISO svjetlina</i>	7
2.5.2.	<i>Bjelina</i>	8
2.5.3.	<i>Opacitet (neprozirnost)</i>	9
2.5.4.	<i>Fluorescencija</i>	9
2.5.5.	<i>ERIC</i>	10
2.6.	PAMETNI MATERIJALI	10
2.6.1.	<i>Termokromni materijali kao pametni materijali</i>	11
2.7.	TERMOKROMIZAM LEUKO SUSTAVA: LEUKO BOJA - RAZVIJAČ - OTAPALO	12
2.8.	SITOTISAK	14
3.	EKSPERIMENTALNI DIO	15
3.1.	MATERIJALI	15
3.1.1.	<i>Tiskarska boja</i>	15
3.1.2.	<i>Tiskovna podloga</i>	15
3.1.3.	<i>Kemikalije</i>	15
3.2.	METODE	16
3.2.1.	<i>Otiskivanje</i>	16
3.2.2.	<i>Močenje</i>	16
3.2.3.	<i>Deinking flotacija</i>	16
3.2.4.	<i>Određivanje optičkih svojstva uzoraka</i>	17
4.	REZULTATI I RASPRAVA	18
4.1.	MOČENJE	18
4.2.	OPTIČKA SVOJSTVA UZORAKA	21
5.	ZAKLJUČAK	31
6.	LITERATURA	32

1. UVOD

1.1. Odabir teme i cilj istraživanja

Ovim radom ispituju se mogućnosti recikliranja podloge otisnute ireverzibilnom termokromnom bojom CTI 60MG i 120MG uporabom i bez uporabe kemikalija na ostvarivanje boljeg odvajanja pigmenta od celuloznih vlaknaca tijekom flotacije. Termokromne boje danas se upotrebljavaju u izradi termometra koji ne koristi opasnu živu, indikator su za temperaturu iz koje mogu pokazati povijest procesnog tijeka i životnog ciklusa proizvoda. One bi u potrošaču potaknule oprez i prevladale strah tijekom samostalne kontrole kvalitete samog proizvoda koji želi kupiti. Ostvarivanjem mogućnosti recikliranja bez kemikalija, eventualno onečišćenje okoliša smanjilo bi se u potpunosti, cijena obrade iskorištenih podloga bila bi neznatna, a podlogama bi se produljila korisnost. Ulazni parametri istraživanja su jedna vrsta podloge (papir gramature 120g/m²), dvije ireverzibilne termokromne sitotiskarske boje: Kromagen Magenta MB60-NH (Hallcrest) s temperaturom aktivacije na 60°C i Termosil Red 75/80 (Siltech LTD) s temperaturom aktivacije 75-80°C.

1.2. Hipoteza

Termokromizam u idućem desetljeću mogao bi biti pojam koji će prepoznati većina čovječanstva. Termokromizam kao pojavu ne samo da pronalazimo u prirodi, nego ju počinjemo sve više koristiti. Jedan od poznatijih primjera je termometar za kućanstva koji se prsloni na čelo te promjenom temperature, tekući kristali koji sačinjavaju pigment u bojilu, prikažu određenu skalu boja uz koju se nalazi ljestvica temperature. Sve je popularnija i ambalaža koja pokazuje temperaturu proizvoda koji se nalazi u njoj, primjerice boce vode, piva, raznih tekućina. Uz prikaz trenutne temperature, termokromne boje imaju sposobnost „pamćenja“ prošlih zbivanja što je jedan od vodećih razloga zašto bi se trebale koristiti više.

Kupcima bi omogućila praćenje životnog ciklusa proizvoda sve do dolaska na police dućana, što bi povećalo svijest potrošača te smanjilo rizike manipulacije od strane proizvođača / dobavljača.

No, koliko se zna o mogućnosti recikliranja i mogu li se tiskovne podloge otisnute spomenutom bojom reciklirati bez kemikalija, ovaj rad ispitao je na neotisnutom uzorku i uzorcima otisnutim ireverzibilnom termokromnom bojom. Radi se o reciklaži otisaka otisnutih dvjema ireverzibilnim termokromnim tiskarskim bojama i ispitivanjem optičkih svojstava nakon postupka odvajanja boja u usporedbi s neotisnutom podlogom te utjecaj hidrofobnosti na efikasnost recikliranja.

1.3. Metodologija i plan istraživanja

Dvije ireverzibilne termokromne tiskarske boje otisnute su sitotiskarskom tehnikom tiska na jednoj tiskovnoj podlozi. Otisci su napravljeni u punom tonu. Na otiscima ireverzibilnih termokromnih boja odredit će se hidrofobnost uzoraka pomoću kontaktnog kuta vode kako bi se mogla objasniti njihova mogućnost recikliranja. Provest će se recikliranje u laboratorijskim uvjetima, kemijskom deinking flotacijom u alkalnim uvjetima. Za svaki uzorak napraviti će se listovi prije i poslije flotacije. Na spomenutim uzorcima odredit će se optička svojstva kako bi se odredila efikasnost procesa recikliranja.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. Budućnost zastupljenosti recikliranih vlakana

Stopa recikliranja u Europi dosegla je 70,4% u 2011. Ukupna količina skupljenog i recikliranog papira u sektoru papira ostaje stabilna na 58 milijuna tona, kao i prethodnih godina. Međutim, to je povećanje od 18 milijuna tona od 1998., bazne godine za prvu dobrovoljnu obvezu koja se postavila za povećanje recikliranja u Europi. Neto obujam od 9,2 milijuna tona (ili 15,9%) od ukupno 58 milijuna tona uvezen je za recikliranje od strane trećih zemalja izvan regije obveza EU-27 plus Norveška i Švicarska. Od europskih zemalja 13 ih premašuje stopu recikliranja od 70%, a 12 europskih zemalja je ispod 60%. [1]

Proces recikliranja otpadnog papira te njegova upotreba za proizvodnju novog (recikliranog) smanjuje broj stabala koja se sijeku, čuvajući prirodne resurse. Reciklirani papir štedi okolinu smanjivanjem upotrijebljenog prostora odlagališta i smanjivanjem količine onečišćenja zraka do koje dolazi tijekom spaljivanja otpadnog papira. U nekim slučajevima recikliranje je jeftinije od zbrinjavanja otpada. Koristeći otpadni papir za izradu recikliranog papira, uštede su najmanje 30.000 litara vode, do 4000 kWh struje i 95% onečišćenja zraka za svaku tonu proizvedenog papira. [1] Vrijednosti recikliranja papira trebaju se proširiti više i doprijeti do što većeg broja ljudi kako bi se smanjilo daljnje narušavanje prirode. Oporaba papira dakako može dovesti do značajnijih ušteda i smanjivanja onečišćenja što bi određenim zajednicama dovelo do smanjenja računa i brige o odlaganju i zbrinjavanju papirnog otpada. Visokokvalitetni papiri mogu se reciklirati nekoliko puta, čime se štede prirodni resursi.

Proizvodnja recikliranog papira uključuje između 28 i 70% manje potrošnje energije te generira između 20 i 50% manje emisija ugljičnog dioksida u usporedbi s proizvodnjom čistog papira. [1]

Također, koristi se manje vode. Većina energije koja se koristi u proizvodnji papira koristi se za pretvaranje drva u papir.

Reciklirani papir se obično ne izbjeljuje i obično se koristi kisik, a ne klor. Time se smanjuje količina dioksina koji se oslobađaju u okoliš kao nusproizvod procesa izbjeljivanja klora.

Celulozna vlakanca koja su prošla proces deinkinga pogodna su za uporabu za grafičke papire te obično daju posebne karakteristike gotovim papirima u usporedbi s papirima izrađenim od drvene pulpe, kao što su povećan opacitet (neprozirnost).

Pogoni koji se koriste za recikliranje poznati su po stvaranju nusproizvoda – mulja, koji uključuje bojila, ljepila i druge neupotrebljive materijale uklonjene iz recikliranih celuloznih vlakana. „Sastavni dijelovi mulja i tako bi završili na odlagalištima ili kao produkti emisija u spalionicama ako se papir ne reciklira. Pogoni za recikliranje su razvili ekološki kontrolirane metode obrade mulja. U nekim slučajevima recikliranje papira ima stvarne ekološke i ekonomske koristi, a u nekim slučajevima ne.“ [1]

2.2. Izazovi recikliranja papira

Potražnja za vlaknima u svijetu nastavit će se povećavati te će se povećati i potražnja za recikliranim vlaknima. Danas, reciklirana vlakna moraju se izravno natjecati s izvornim vlaknima na svim mjerilima: dostupnost, potencijal snage, kvaliteta (ujednačenost i minimalna kontaminacija), pokretljivost, performanse i troškovi. Područja u kojima se može očekivati da će tehnologija olakšati konkurentnost recikliranih vlakana su: poboljšana kvaliteta i količina oporabljene papira koji se isporučuje u tvornice papira, poboljšani postupci obrade i dekontaminacije prije korištenih celuloznih vlakana. Razni dodaci pri proizvodnji papira otežavaju njegovo recikliranje, poput punila, bojila i keljiva. Oni potpomažu optičke i mehaničke karakteristike novoizrađenih papira, no otežavaju proces recikliranja njihovim izdvajanjem. Optička bjelila najveći su problem pri recikliranju jer apsorbiraju UV svjetlost te ju ponovo reflektiraju u vidljivome spektru što povećava razinu bjeline.

2.3. Recikliranje papira obzirom na udio materijala

Za dobivanje učinkovitog recikliranja otpadnog papira nakon prikupljanja potrebno je odvojiti bijele klase od smeđih. Otpadni papiri bijele klase koriste se u proizvodnji grafičkih papira dok se otpadni papiri smeđe klase koriste u proizvodnji ambalaže i kartona. Europska lista otpadnog papira i kartona određuju (EN 643:2001) [2] grupe te što pojedina grupa smije sadržavati u sebi, a to su: redovna, srednja, visoka, natron i posebna grupa. Redovna grupa obuhvaća sivi karton, valoviti karton, kartone različite kvalitete, časopise koji mogu sadržavati ljepilo, novine te raznovrsne grafičke papire. Neki od papira koje srednja grupa obuhvaća su otpadne novine, novine bez obojenog materijala te otisnute fleksografskim tiskom, papiri s malo otisaka porijeklom od drvenjače, knjige bez korica i hrpta tiskane na bezdrvnom bijelom papiru s maksimalno 10% premazanog papira. Visoka grupa obuhvaća slabo otisnute papire s minimalno 50% ili 90% udjela bezdrvnog papira, papire s malo tiska koji mogu sadržavati ljepilo ali su odvojeni od papira koji su bojani u masi, bezdrvne kuverte i papire za pisma, arke i škart neotisnutog novinskog papira, izuzev magazinskog papira, bijele neotisnuti papiri od drvenjače itd. Natron grupu sačinjavaju valoviti kartoni s ravnim slojevima, neupotrijebljene kutije od valovitog kartona gdje je fluting papir izrađen od kemijske ili termo-mehaničke pulpe, čiste rabljene vrećice od natron papira, kao i korištene natron vrećice koje mogu sadržavati sredstva za čvrstoću. Također u tu grupu spadaju i nekorištene natron vrećice sa i bez aditiva za čvrstoću koje mogu sadržavati i višeslojno premazane papire, rabljeni natron papir i karton s prirodnom ili bijelom nijansom. U posebnu grupu spadaju mješavina nesortiranog otpadnog papira i kartona različite kvalitete koji ne sadrže novinski i magazinski papir, rabljena kartonska ambalaža za pića koji sadržava premazani karton sa ili bez aluminijskog sloja gdje minimalno 50% ukupne mase ambalaže čine papirna vlakanca, a stakla maksimalno 1%. U ovu grupu također se ubrajaju otisnuti i neotisnuti bijeli bezdrvni papiri kojima su dodani aditivi za čvrstoću.

2.4. Deinking flotacija

Kako bi se dobila reciklirana vlakna pogodna za proizvodnju recikliranog papira, iz papirne suspenzije se dobro mora odvojiti boja. Količina zaostale boje u suspenziji utječe na konačna optička svojstva recikliranog papira. Papir s neuklonjenom bojom daje pomalo sivkast ton, no to nije karakteristično za sve vrste papira. Stoga, kako bi se boja mogla odvojiti iz suspenzije potreban je proces kojim će se izdvojiti od celuloznih vlakna. U ovom ispitivanju provodio se proces „deinking“ flotacije.

Deinking flotacija je postupak odvajanja boje od suspenzije pomoću mjehurića zraka koji se izvodi u flotacijskoj ćeliji. Unutar ćelije, uređaj ispuhuje hidrofobne mjehuriće zraka koji se miješaju sa suspenzijom te se čestice hidrofobne boje hvataju za njih i odlaze prema površini. Na površini se stvara pjena koja se odvaja. Flotacija može biti potpomognuta uporabom kemikalija koja povećavaju svojstvo hidrofobnosti čestica boje. Na efikasnost flotacije utječu razni parametri kao što su mogućnost vezanja boje za mjehurić zraka, sudaranje boje s mjehurićem te uklanjanje mjehurića s površine suspenzije tijekom flotacije. Svjetlina pulpe vrlo je često mjera učinkovitosti procesa flotacije budući da uklanjanje tiskarske boje iz sustava samim time povećava svjetlinu.

2.5. Optička svojstva

Utjecaj tiskarske boje na svojstva lista papira načinjenog od recikliranih vlakana izrazito je prisutno kod optičkih svojstava recikliranog papira. Nakon deinking flotacije dolazi do povećanja svjetline laboratorijskih listova zbog uklanjanja boje flotacijom.

U optička svojstva papira ubrajaju se:

- a) CIE Bjelina - izražena u postocima izvedena je iz CIE LAB vrijednosti zapravo je difuzna refleksija svjetla na svim valnim duljinama područja vidljivog svjetla.

- b) ISO Svjetlina - predstavlja difuznu plavu refleksiju uzorka.
- c) Opacitet (neprozirnost) - karakteristika podloge koja onemogućava vidljivost druge strane lista te sposobnost prikrivanja pozadinskog materijala.
- d) Fluorescencija – ukazuje na količinu aditiva u papiru.
- e) ERIC - mjerenje komponenti koje se nalaze u recikliranoj pulpi, boji i samo boju koja apsorbira svjetlo na 950 nm.

2.5.1. ISO svjetlina

ISO 2470-1: 2016 standard [3] navodi metodu za mjerenje difuznog plavog faktora refleksije (ISO svjetlina) pulpe, papira pod kutom 0°.

Ograničen je na područje bijele i gotovo bijele pulpe i papira.

Svjetlina ne ukazuje na boju ili relativnu nijansu papira budući da vrijednost reflektirajućeg broja mjerena na svjetlosti koja se reflektira od uzorka na 457 nanometara +/- 44 nm. Naime, svjetlina predstavlja difuznu plavu refleksiju uzorka.

Kod mjerenja ISO svjetline uzorak papira je osvjetljen s CIE svjetlosnim izvorom C – dnevno svjetlo koje sadrži određenu količinu UV zračenja. Isto osvjetljenje koristi TAPPI T452 / GE sustav za mjerenje svjetline papira.

Mjerenje se može izvesti samo pomoću instrumenta u kojem je razina osvjetljenja UV energijom podešena tako da odgovara CIE osvjetljenju C koristeći fluorescentni referentni standard. Na mjerenje utječu dodaci (punila) koji reflektiraju UV spektar, prisutnost neželjenih tvari koji nisu celuloznog porijekla te dodavanje fluorescentne boje radi izbjeljivanja.

2.5.2. Bjelina

Bjelina, izražena u postocima, izvedena je iz CIE LAB vrijednosti zapravo je difuzna refleksija svjetla na svim valnim duljinama područja vidljivog svjetla. Bjelina je vizualna percepcija koja uključuje cijeli vidljivi spektar 400 nm do 700 nm. Ova metoda nije primjenjiva na obojene papire koji sadrže fluorescentne boje.

ISO 11475: 2017 standard [4] određuje postupak koji se koristi za određivanje bjeline papira. Dobivene vrijednosti odgovaraju vizualnom izgledu bijelih podloga s ili bez fluorescentnih sredstava za izbjeljivanje kada se pregledavaju spektrofotometrom pod standardnom rasvjetom CIE D65 i kutom promatranja 10°. Temelji se na podacima refleksije dobivenim preko punog vidljivog spektralnog raspona, za razliku od mjerenja svjetline ISO koja je ograničena na plavo područje. ISO svjetlina je specifična za uzorke bijelog fluorescentnog papira gdje se emisija zbog fluorescentnog sredstva za izbjeljivanje pojavljuje u plavom području vidljivog spektra.

Za savršeno reflektirajući bijeli materijal bez fluorescentnih dodataka, vrijednost CIE bjeline bila bi 100. Veća bjelina daje veći kontrast pri otisku, no većina bijelih papira imat će CIE mjere bjeline između 130 i 170 zbog dodavanja optičkih bjelila koji svojom strukturom reflektiraju svjetlost UV zračenja natrag u vidljivi spektar. Nevidljive UV valne duljine apsorbiraju se u optičkim bjelilima u grafičkim papirima i pretvaraju se u valne duljine energije koje se mogu vidjeti ljudskim okom. Ova transformirana UV energija postaje "vidljivo" svjetlo koje zrači iz površine papira.

Vrijednosti najviše bjeline sada su pomaknute izvan njihovih praktičnih ograničenja za prave bijele papire. Jedini način da se nastavi s povećanjem CIE bjeline jest da papir postane više plav.

Često na najvišim CIE razinama proizvod počinje izgledati sivkasto. Vrijednosti bjeline rastu kako papir postaje više plavkast i blago crvenkast.

2.5.3. Opacitet (neprozirnost)

ISO 2471: 2008 standard [5] definira metodu određivanja neprozirnosti papirne tiskovne podloge difuznom refleksijom. Stupanj neprozirnosti izražen je u postotku. Ne odnosi se na obojene papire koje sadrže fluorescentne boje ili pigmente.

Neprozirnost je karakteristika podloge koja onemogućava vidljivost druge strane lista te sposobnost prikrivanja pozadinskog materijala. Važno je karakteristika pri obostranom ispisu. Razlika od 1% vidljiva je golim okom u slučaju neprozirnih papira.

Papir koji propušta puno svjetla je proziran, papir koji ne propušta gotovo nikakvo svjetlo je neproziran.

2.5.4. Fluorescencija

ISO 22891: 2013 standard [6] definira metodu za izračun prijenosa na temelju mjerenja difuzne refleksije. Primjena metode ograničena je na bijele i gotovo bijele prozirne papire.

Radi potražnje grafičke industrije u proizvodnji papira obično se dodaju optička bijelila. Spomenuta sredstva imaju jedinstvenu sposobnost apsorpiranja ultraljubičastog zračenja, a zatim ga transformiraju i ponovno emitiraju u nevidljivo UV zračenje u obliku fotona u ljubičasto-plavom području vidljivog spektra. Ovaj fenomen opisan je pojavom fluorescencije.

Mjerenja se izvode s uključenom UV komponentom (UV) i bez uključene UV komponente (UVEX).

$$\text{Fluorescencija} = \text{Svjetlina (UV)} - \text{Svjetlina (UVEX)}$$

2.5.5. ERIC

ISO 22754: 2008 standard [7] primjenjuje se na sve vrste reciklirane pulpe i na strojno izrađene listove papira napravljene od reciklirane pulpe.

ERIC mjeri komponente koje se nalaze u recikliranoj pulpi, odnosno boju koja apsorbira svjetlo na 950 nm. Metoda je primjenjiva na materijale dostupne u obliku lista samo ako je na 950 nm neprozirnost manja od 97%.

Čestice nevidljive veličine imaju veliki utjecaj na vizualni izgled papira, jer broj čestica može biti vrlo brojan i površina tih čestica je maksimalna, što uzrokuje da čestice boje postanu vrlo učinkovit apsorber svjetlosne energije.

Ako su sve čestice preostale boje aglomerirane u nekoliko velikih mrlja, njihov utjecaj na ukupnu refleksiju papira je relativno mali. Papir će izgledati svjetliji, što će rezultirati niskim ERIC očitanjima. Ako su sve čestice boje ravnomjerno raspoređene ili dispergirane u listu, učinak čestica je mnogo veći i ukupni izgled lista je mnogo tamniji nego kada su čestice aglomerirane, a ERIC očitavanja će biti mnogo veća.

2.6. Pametni materijali

Pametne materijale teško je definirati jednoznačnim terminima, iako se u tehničkoj literaturi i popularnom tisku često raspravlja, ne postoji univerzalno prihvaćena definicija točno onoga što su "pametni" ili "inteligentni" materijali. Mnogi smatraju da su to oni materijali koji osjete neki poticaj iz vanjskog okruženja i stvaraju koristan odgovor. Možda je bolje misliti na odgovor koji se često naziva „pametno ponašanje“, koje se pojavljuje kada iz okruženja reagira na koristan i pouzdani način, pritom ne utječe na sam materijal. Pametni materijali široko se promoviraju kao ključna tehnologija koja će poduprijeti sve vrste novih proizvoda s jedinstvenim mogućnostima. Primjeri takvog ponašanja uključuju

odgovore na vanjske podražaje kao što su samoosjetljivi, samoizliječivi, samo-aktivirajući, samo-dijagnostički i promjena oblika. Stoga se pametni materijali mogu smatrati onima koji pružaju sredstvo za postizanje aktivnog "pametnog" odgovora u proizvodu koji inače nedostaje i ima potencijal davanja mnoštvo poboljšanih mogućnosti i funkcionalnosti koje se mogu upotrijebiti u razvoju neke tehnologije i proizvodnji. [8]

2.6.1. Termokromni materijali kao pametni materijali

Termokromizam je specifična sposobnost tvari, atomske skupine ili materijala na promjenu svog optičkog stanja. Materijali koji unutar svoje kompleksne strukture posjeduju dinamički mehanizam promjene obojenosti obzirom na promjenu temperature kojom se na kompleksnu tvorevinu djeluje, uvode inovaciju na tržište nudeći pritom unaprjeđenje prijenosa informacije o proizvodu. Termokromne mehanizme dijelimo prema kriteriju trajanja na reverzibilne (višekratna i privremena promjena u boji) i ireverzibilne (jednokratna i stalna promjena u boji). Termokromizam u grafičkoj industriji ima široku primjenu upravo radi novog kanala komunikacije informacije krajnjem korisniku. Stoga, mehanizam termokromizma pronalazi svoje koristi u pogledu pametnih ambalaža, sigurnosnog tiska, mnoštva promotivnih i marketinških vizualnih predodžbi.

Tiskarske boje s mikrokapsuliranim termokromnim kompleksnim sustavima mogu imati različite karakteristične temperature aktivacije. To su aktivacije koje su karakteristične za određeni temperaturni raspon u kojem termokromne komponente aktivno reflektiraju vidljivu svjetlost određene valne duljine. Od kompleksnih sustava koji su objedinjeni pod jedinstvenim nazivom termokromne boje, najviše se koriste leuko bojila. Bojila na bazi tekućih kristala nalaze svoju primjenu kod proizvoda kod kojih promjena u temperaturi mora biti točno definirana, npr. sobnih temperatura, hladnjaka, kapacitetnih prostorija za skladištenje namirnica sa kraćim rokom trajanja, medicinske svrhe itd. [9]

Termokromni materijali u današnjem svijetu svoju primjenu pronašli su u prehrambenoj industriji kao indikatori svježine i temperature. Upravo radi toga, danas postoje indikatori na bocama piva, vina, vode, koji upućuju na idealnu temperaturu za konzumiranje, zatim indikatori na dječjim bočicama koji imaju funkciju upozorenja. Indikatori svježine na namirnicama koji su pokazatelji svježine proizvoda primjerice na ambalaža na kojoj se aktivira termokromna boja pri pravilnom skladištenju, a pri nepravilnom ne (slika 1).

Na kartonima mlijeka apliciraju se indikatori koji pokazuju je li proizvod ispravno bio skladišten u hladnjaku. U području sigurnosnih dokumenata koriste se kako bi se jednostavno i brzo utvrdio identitet te kako bi se sakrile informacije.



Slika 1. Nepravilno izlaganje temperaturi na metalnoj ambalaži (obezbojena boja poprimila je crvenu boju)

2.7. Termokromizam leuko sustava: Leuko boja - razvijatelj - otapalo

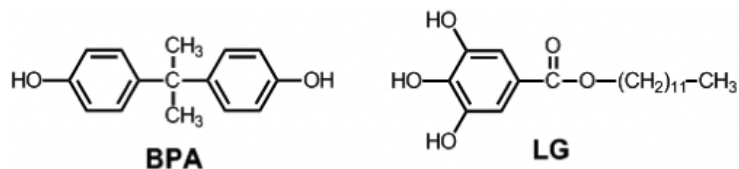
Termokromni sustavi se sastoje od leuko boje koja daruje elektron i razvijача koji prihvaća elektron. Prikladni nosači su, na primjer, fenoli, kisele gline i derivati ureje-uretana. Međutim, otvaranje prstena leuko bojila metalnim kationima do sada nije detaljno istraženo. U rastaljenom stanju ili u otopini leuko boja i razvijач dolaze u reakcijski kontakt i nastaje boja.

Nepovratna termokromna temperatura aktivacije uključivanja može se podesiti dodavanjem senzibilizatora. Na točki taljenja dolazi do reakcije nastajanja boje između leuko boje i razvijaača.

Iako je reakcija stvaranja boje leuko bojila dobro poznata već više od 50 godina, njezin se mehanizam još uvijek razmatra. Prvi mehanizam o kojem se raspravljalo bila je reakcija otvaranja prstenova. Ovaj model podrazumijeva da je kiselost razvijaača jedina pokretačka sila za reakciju oblikovanja boje.

Prema tome, kiselost razvijaača trebala bi biti izravna mjera za njegovu učinkovitost. Međutim, mnogi eksperimentalni rezultati ne mogu se objasniti ovim jednostavnim modelom. Istraživanjem binarnog sustava kristalne ljubičaste lakton leuko boje (CVL) i razvijaača bisfenola A (BPA) (slika 2), prvo su otkrila da se leuko bojilo-razvijaač kompleksi formiraju u obojenom čvrstom stanju.

Metoda Job je korištena za određivanje omjera leuko boje-razvijaača u kompleksima. Utvrđeno je da je samo jedna molekula CVL povezana s četiri BPA molekule. [10]



Slika 2. Molekularna struktura razvijaača Bisfenol A (BPA) i Lauril galata (LG)

Termokromne boje na bazi leuko boja su komercijalno dostupne od nekoliko tvrtki, primjerice CHAMELEON © I CTI. Mikrokapsulirani termokromni pigmenti obično imaju srednje veličine čestica od nekoliko mikrometara, što je oko deset puta veće od čestica konvencionalnih pigmenata. Termokromne boje dostupne su s temperaturama preklapanja u rasponu od $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $65\text{ }^{\circ}\text{C}$, uz široku paletu boja koje na zagrijavanje izbljede i tvore sve osnovne vrste boje: boja na bazi vode, na bazi otapala kao i UV-sušenje, razvijeni su za tiskanje na tekstil, papir, plastiku i metal.

2.8. Sitotisak

Sitotisak je tehnika tiska u kojem se boja utiskuje kroz sito te na podlozi formira slika. Sito je fina tkanina izrađena od prirodne svile, plastike ili metalnih vlakana/niti. Danas se općenito koriste plastična ili metalna tkanja. Tkanine se mogu dobiti u razinama finoće od 10 do 200 niti/cm. Najčešće korištene tkanine su one između 90 i 120 niti/cm. Sito je pričvršćeno za okvir, poželjno metalni jer materijal okvira utječe na mehanička svojstva tiskovne forme. Boja se prenosi kroz otvorenu mrežu, a sitotiskarska šablona predstavlja tiskovnu formu. Ona onemogućuje zadana područja na situ tako što sprječava prolaz boje dok se istodobno drugi dijelovi sita ostavljaju otvorenima kako bi boja nesmetano kroz njih prolazila. Ploča za sitotisak stoga je kombinacija sita i polimera (matrice). Na svim otisnutim dijelovima boja ima jednak nanos, a za višetonsku reprodukciju koriste se rasteri. Za sitotisak je karakteristično da se može prenijeti debeli sloj boje do 12 μm i više. [11]

Sitotisak kao tehnika tiska rasprostranjena je u svim područjima, od industrije keramike preko automobilske industrije i izrade mikročipova. Sve to moguće je zahvaljujući mogućnosti reprodukcije na tekstil, keramiku, papir, karton, ljepenku, drvo, elektroniku, plastiku, staklo metale, majice, naljepnice, jumbo plakate, sigurnosne kartice itd.

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. Materijali

3.1.1. Tiskarska boja

Prilikom izvođenja istraživanja korištena je Kromagen Magenta MB60-NH (Hallcrest) ireverzibilna termokromna sitotiskarska boja (dalje u tekstu 60MG), s temperaturom aktivacije na 60°C, otisnuta na situ linijature 62/64 i Termosil Red 75/80 (Siltech LTD), na situ linijature 120 (dalje u tekstu 120MG) s temperaturom aktivacije 75-80°C. Nakon izlaganja uzoraka iznad temperature aktivacije, uzorci nemaju mogućnost povratka u prvobitno stanje kao što je slučaj kod reverzibilnih termokromnih boja. Korištene tiskarske boje pri temperaturi aktivacije mijenjaju obojenje, 60MG mijenja boju iz roze u ljubičastu, dok 120MG mijenja obojenje iz svijetlo žute u magentu.

3.1.2. Tiskovna podloga

Termokromni otisci napravljeni su na jednoj vrsti tiskovne podloge: nepremazanom papiru gramature 120 g/m². Na spomenutoj tiskovnoj podlozi izmjerene su vrijednosti močenja bez otiska, otisnutom dvjema bojama. U punom tonu, u njihovom aktiviranom i neaktiviranom stanju.

3.1.3. Kemikalije

Korištene su kemikalije za lužnatu deinking flotaciju prema INGEDE metodi 11. Korištene su kemikalije kao slijedi:

- Natrijev hidroksid NaOH,
- Natrijev silikat Na₂SiO₃,
- Vodikperoksid H₂O₂,
- Oleinska kiselina C₁₈H₃₄O₂,
- Kalcijevklorid dihidrat CaCl₂ x 2H₂O.

3.2. Metode

3.2.1. Otiskivanje

Korištene ireverzibilne termokromne sitotiskarske boje otisnute su na tiskovnoj podlozi sitotiskarskom tehnikom. Uzorci 60MG otisnuti su na situ linijature 62/64, a uzorci 120MG na situ linijature 120. Svi otisci napravljeni su u punom tonu.

3.2.2. Močenje

Procjena močenja neotisnute i podloge otisnute ireverzibilnom termokromnom bojom provedena je mjerenjem kontaktnog kuta na *DataPhysics OCA 30 Goniometer* pomoću metode „Sessile Drop“. Standardna tekućina za ispitivanje močenja poznate površinske napetosti je demineralizirana voda. Mjerenja su provedena pri sobnoj temperaturi ($23,0 \pm 0,2$) °C. Definirani volumen kapljice bio je 1 μ L. Kontaktni kut u trenutku kontakta snimljen je pomoću CCD kamere i mjereno 1-2 s nakon što je kapljica formirana na površini podloge. Prosječna vrijednost od deset kapi na različitim mjestima istog uzorka uzeta je i prikazana kao srednja vrijednost \pm SD (standardna devijacija) (Tablica 1).

3.2.3. Deinking flotacija

Deinking flotacija termokromnih otisaka provedena je u laboratorijskim uvjetima, prema INGEDE metodi 11. INGEDE metoda predstavlja postupak procjene odvajanja tiskarskih boja. Uzorci su reciklirani prema standardnom postupku sa i bez uporabe deinking kemikalija. Dezintegracija je provedena u dezintegratoru Enrico Toniolo, dok je flotacija provedena u laboratorijskoj flotacijskoj ćeliji.

Prema INGEDE metodi 1, odvojena je određena količina suspenzije s konzistencijom od 5% kako bi se dobili laboratorijski listovi prije procesa flotacije. Iz suspenzije pulpe nakon flotacijske faze pripremljeni su laboratorijski papiri na Rapid-Köthen Sheet Machine prikazan na slici 3. Svi laboratorijski listovi (prije i poslije flotacije) pripremljeni su s osnovnom težinom od 45 g/m². Formirani laboratorijski listovi prije i poslije procesa flotacije ispitani su na optička svojstva.



Slika 3. Rapid-Köthen Sheet Machine

3.2.4. Određivanje optičkih svojstva uzoraka

Učinkovitost procesa deinkinga ocijenjena je određivanjem optičkih svojstava (CIE L* a* b*, ISO svjetline, CIE bjelina i ERIC) na laboratorijskim listovima prije i poslije flotacije. Sva mjerenja provedena su na Techyndine Color Touch 2 spektrofotometru, prema standardnim metodama. Za određivanje ISO osvjetljenja (ISO 2470) provedeno je mjerenje difuznog plavog faktora refleksije (R457). Svjetlina se definira kao postotak refleksije plavog svjetla samo na valnoj duljini od 457 nm. CIE bjelina i komponente boja L* a* b* izmjerene su prema ISO 11475. Određeni podaci su izraženi kao srednja vrijednost deset mjerenja.

4. REZULTATI I RASPRAVA

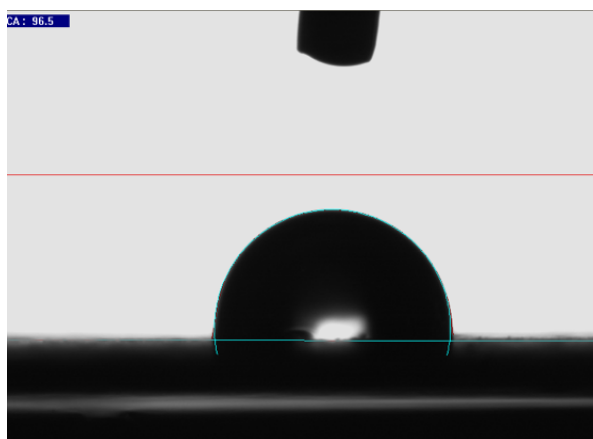
4.1. Močenje

Kontaktni kut kapljice vode na površini podloge veći od 90° pokazuje da je površina podloge hidrofobna, a manji od 90° da je hidrofilna. Hidrofobnost površine može imati značajnu ulogu u procesu deinking flotacije tj. hidrofobnije čestice bi se trebale bolje uklanjati iz suspenzije.

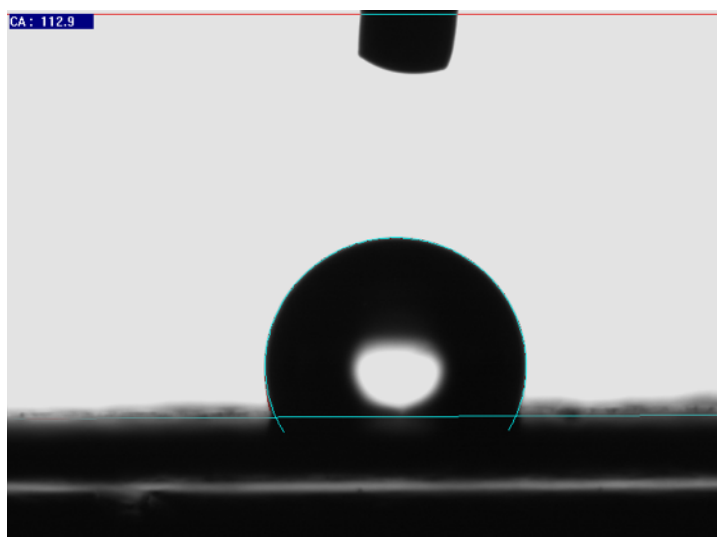
Tablica 1. Srednje vrijednosti močenja uzoraka uz standardnu devijaciju

	Neotisnuto	60MG	60MGakt	120MG	120MGakt
Sr.vrijednost	96,65	85,3	86,51	112,02	103,39
St. dev	1,03	1,07	1,37	1,14	0,67

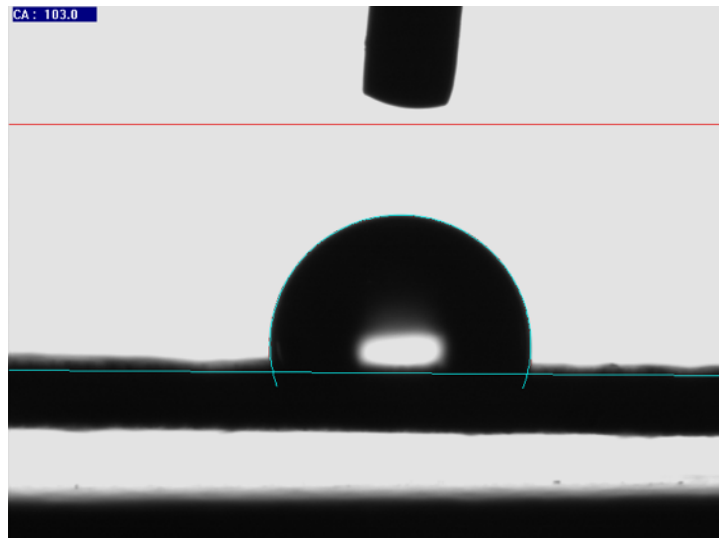
Rezultati kontaktnog kuta pokazuju da su neotisnuta podloga, te otisci 120MG u aktiviranom i neaktiviranom stanju hidrofobni (kontaktni kut vode je veći od 90°) (Tablica 1), (slike 4-6). Rezultati uzorka 60MG pokazuju da je u aktiviranom i neaktiviranom stanju hidrofilan s kontaktnim kutom vode manjim od 90° (slika 7 i 8). Moguće je da do te pojave dolazi jer korištena termokromna boja kao vezivo sadrži vegetabilno ulje, u kojemu prisutne esterske skupine povećavaju hidrofilni karakter otisaka. [12]



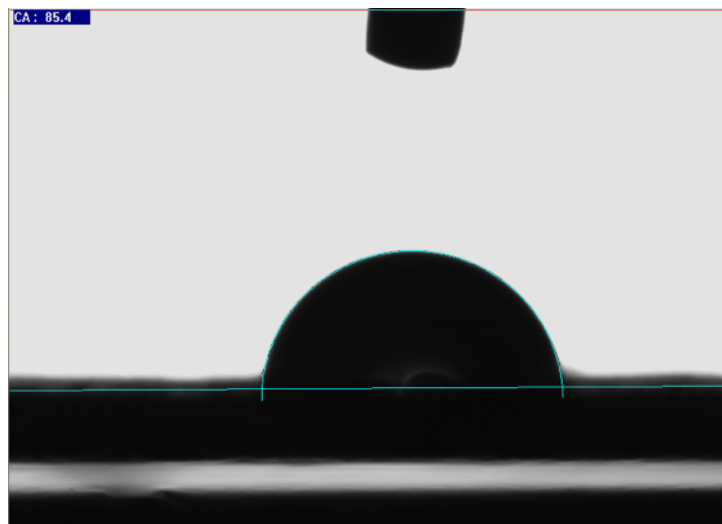
Slika 4. Trenutak mjerenja kontaktnog kuta vode na neotisnutom papiru uhvaćen CCD kamerom



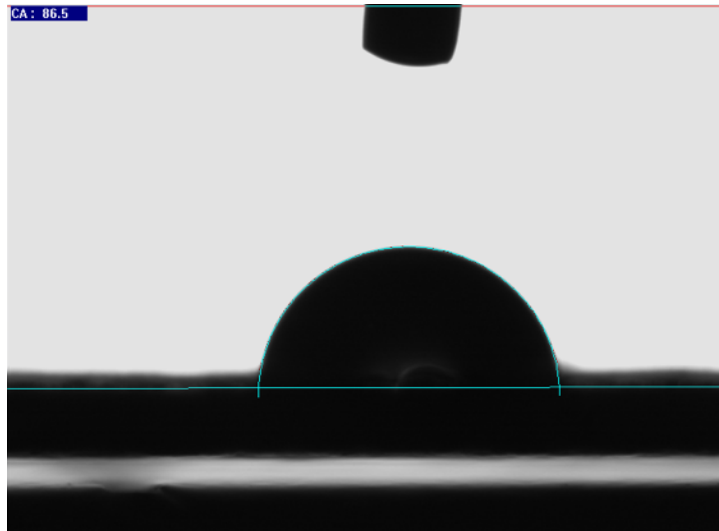
Slika 5. Trenutak mjerenja kontaktnog kuta vode na otisku 120MG u neaktiviranom stanju uhvaćen CCD kamerom



Slika 6. Trenutak mjerenja kontaktnog kuta vode na otisku 120MG u aktiviranom stanju uhvaćen CCD kamerom



Slika 7. Trenutak mjerenja kontaktnog kuta vode na otisku 60MG u neaktiviranom stanju uhvaćen CCD kamerom



Slika 8. Trenutak mjerenja kontaktnog kuta vode na otisku 60MG u aktiviranom stanju uhvaćen CCD kamerom

4.2. Optička svojstva uzoraka

Kako bi se utvrdila efikasnost procesa recikliranja, na uzorcima su provedena mjerenja optičkih svojstava prije i poslije procesa deinking flotacije uporabom i bez uporabe deinking kemikalija.

4.2.1 Fluorescencija

Slike 9-12 pokazuju kolorimetrijske komponente recikliranog papira s uključenom UV komponentom.

Rezultati pokazuju da su uporabom kemikalija u deinking procesu, vrijednosti L^* neznatno veće od onih dobivenih na recikliranim papirima iz procesa u kojem kemikalije nisu korištene (Slika 9).

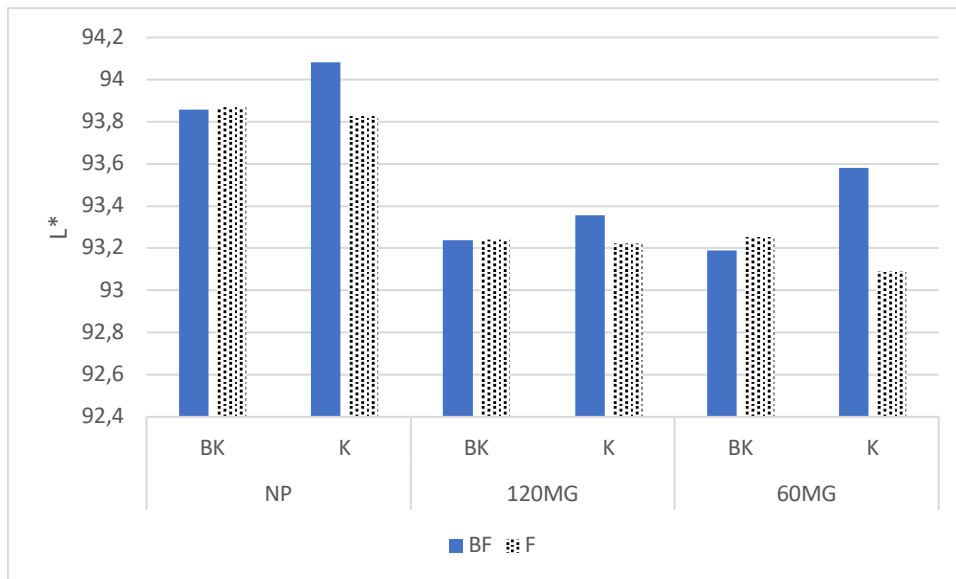
Reciklirani neotisnuti papir pokazuje najviše vrijednosti L^* , u odnosu na reciklirane papire koji su bili otisnuti ireverzibilnom termokromnom bojom.

Papiri dobiveni recikliranjem termokromnih otisaka pokazuju vrlo slične vrijednosti L^* , i znatno su niže u odnosu na L^* vrijednosti recikliranog neotisnutog papira. Rezultati papira dobivenog recikliranjem uzorka otisnutog 60MG bojom nakon flotacije kemikalijama pokazuju najnižu vrijednost L^* što ukazuje na utjecaj kemikalija pri odvajanju čestica u usporedbi s flotacijom bez kemikalija.

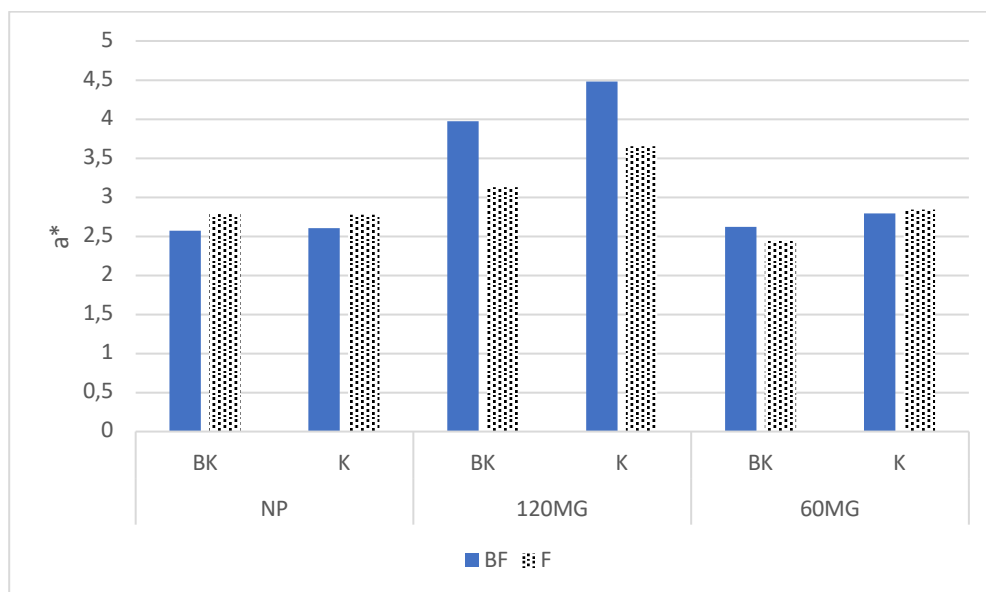
Vrijednosti a^* (slika 10) najveće su za uzorke papira dobivenih recikliranjem ireverzibilnih termokromnih otisaka 120MG. Vidljivo je da su vrijednosti na ovim uzorcima veće prije flotacije, što znači da se čestice boje djelomično uklanjaju flotacijom. Vrijednost a^* ukazuje na pomak u crveno područje, što ukazuje na blagu obojanost listova papira.

Rezultati pokazuju da su vrijednosti b^* prije procesa flotacije niže, dok uz uporabu kemikalija nakon procesa flotacije daju više vrijednosti (slika 11). Od neotisnutih recikliranih papira, uzorak prije procesa flotacije kemikalijama pokazuje najniže vrijednosti b^* . Rezultati papira dobivenog recikliranjem uzoraka otisnutih termokromnom bojom 60MG pokazuju najniže vrijednosti b^* , što ukazuje na manji pomak u plavo područje u usporedbi s ostalim ispitivanim uzorcima.

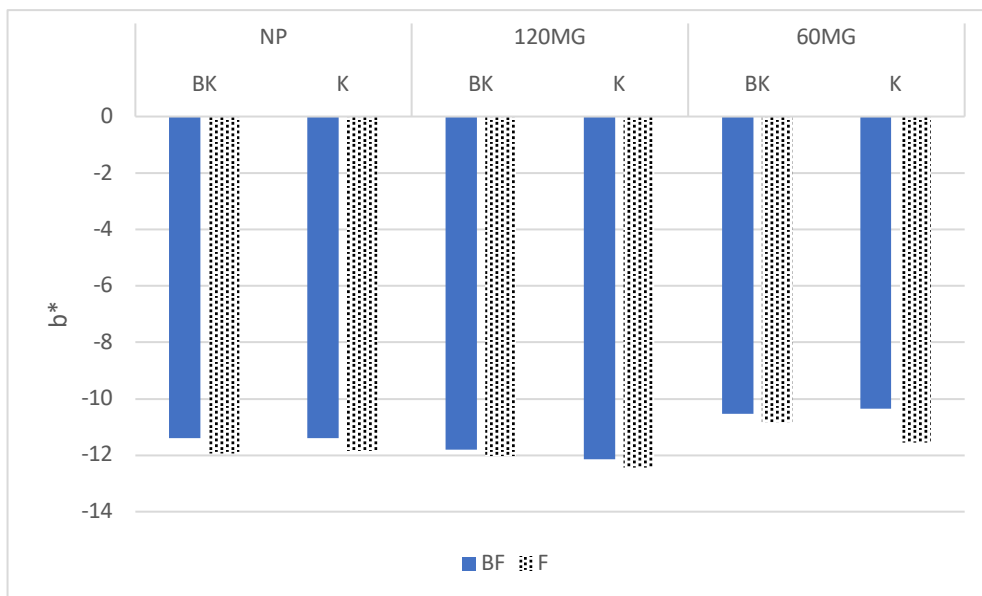
Uporabom kemikalija vrijednosti bjeline (slika 12) uzoraka prije procesa flotacije su manje, dok kod uzoraka 60MG te su vrijednosti veće. Rezultati papira dobivenih recikliranjem uzoraka 120MG nakon flotacije kemikalijama pokazuje najvišu vrijednost. Vrijednosti bjeline svih uzoraka nakon flotacije su rasle što ukazuje na dobro uklanjanje čestica boje.



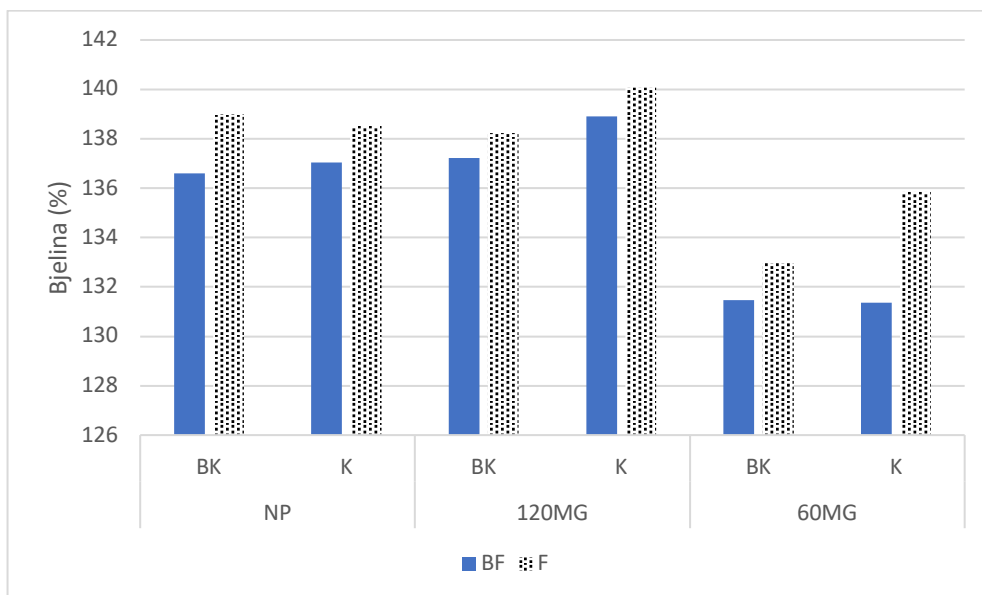
Slika 9. Vrijednost L^* s uključenom UV komponentom



Slika 10. Vrijednost a^* s uključenom UV komponentom



Slika 11. Vrijednost b* s uključenom UV komponentom



Slika 12. Vrijednost bjeline s uključenom UV komponentom

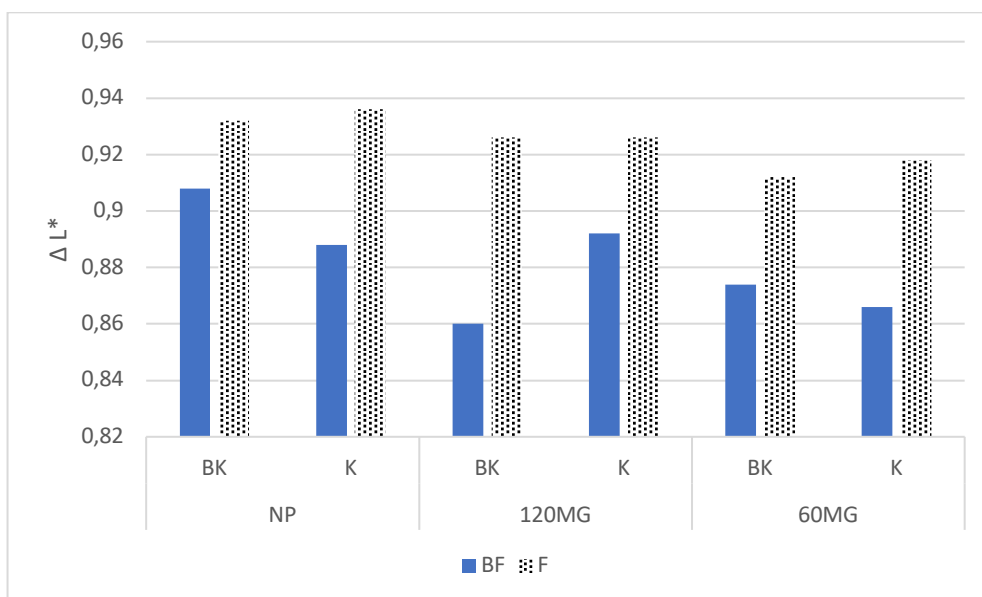
Najveće promjene ΔL^* su na uzorcima nakon flotacije, vjerojatno zbog gubitka punila (optičkih bjelila) koja se procesom flotacije gube (slika 13). Usporedbom vrijednosti ΔL^* sa i bez kemikalija uočeno je da su razlike vrijednosti korištenjem kemikalija kod neotisnutog recikliranog papira i recikliranog papira napravljenog od uzorka 60MG veće nego u odnosu bez kemikalija. Rezultati uzoraka 120MG pokazuju veće promjene vrijednosti ΔL^* bez uporabe kemikalija u usporedbi s kemikalijama.

Najveća promjena uočena je kod recikliranog neotisnutog papira nakon procesa flotacije kemikalijama.

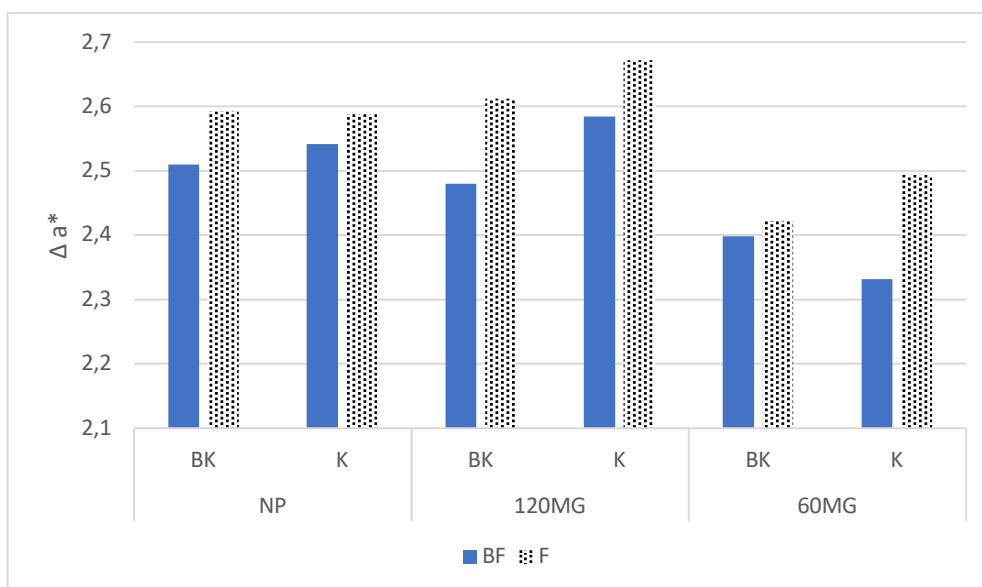
Najveće promjene u vrijednostima Δa^* (slika 14) dobivene su na recikliranim uzorcima 120MG nakon flotacije sa i bez kemikalija te na uzorcima recikliranih neotisnuti papira nakon flotacije bez kemikalija. Nakon procesa flotacije se vrijednosti Δa^* povećavaju kod svih uzorka. Uporabom kemikalija na uzorcima 60MG vrijednost Δa^* je znatno niža u odnosu na ostale uzorke. Najmanja promjena Δa^* dobivena je na uzorku 60MG s kemikalijama prije procesa flotacije.

Iz dobivenih rezultata vidljivo je da se nakon procesa flotacije povećava vrijednost Δb^* (slika 15). Uzorak 120MG s kemikalijama nakon flotacije pokazuje najveće promjene u vrijednostima. Promjene u vrijednostima Δb^* uporabom kemikalija niži je kod uzoraka neotisnutog papira i 60MG dok se kod uzorka 120MG očitava porast vrijednosti nakon dodavanja kemikalija, što bi značilo da kemikalije utječu na izdvajanje i gubitak punila tijekom procesa recikliranja.

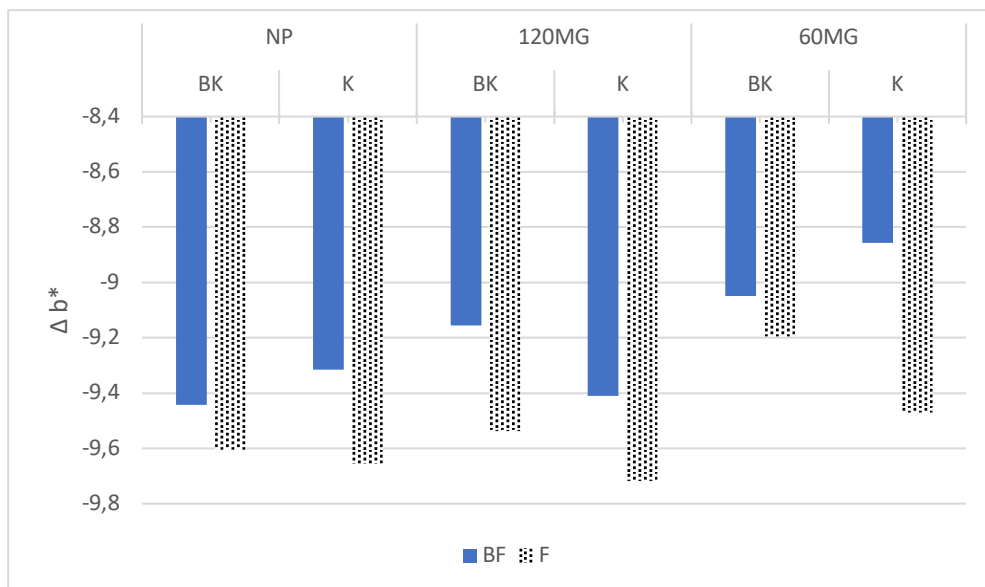
Najniža promjena vrijednosti bjeline je na uzorku 60MG prije procesa flotacije s kemikalijama. Rezultati pokazuju da uzorcima raste vrijednost Δ bjeline nakon flotacije sa i bez korištenja kemikalija. Razlika u vrijednostima prije i nakon flotacije s kemikalijama neotisnutog papira i 60MG pokazuju veću vrijednost nego razlika između uzoraka prije i nakon flotacije bez kemikalija. Suprotno se pokazuje kod rezultata uzorka 120MG kod kojeg je razlika prije i nakon flotacije kemikalijama niža nego bez kemikalija. Do većih promjena u vrijednostima Δ bjeline dolazi nakon flotacije zbog gubitka punila koji služi kao nadomjestak među celuloznim vlakancima te papiru daje određen stupanj bjeline (slika 16).



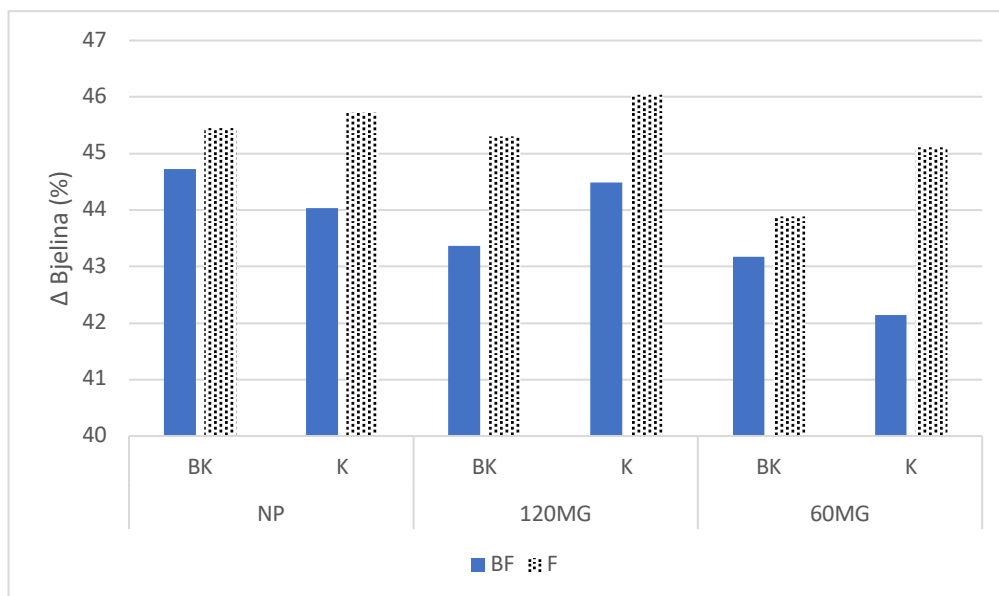
Slika 13. Vrijednost ΔL^* na recikliranim papirima



Slika 14. Vrijednost Δa^* na recikliranim papirima

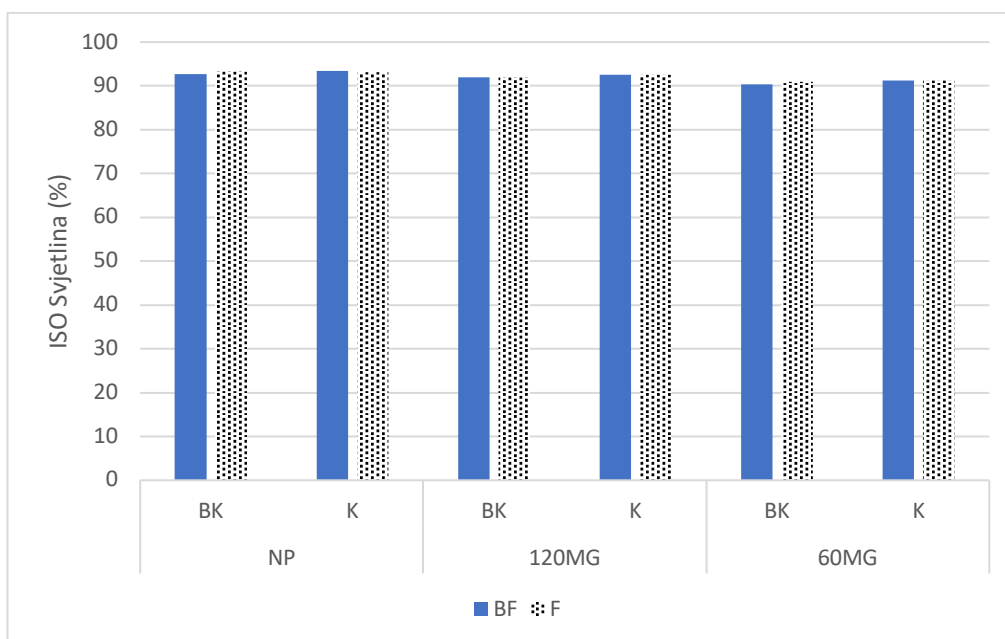


Slika 15. Vrijednost Δb^* na recikliranim papirima



Slika 16. Vrijednost $\Delta \text{Bjelina (\%)}$ na recikliranim papirima

4.2.2 ISO svjetlina



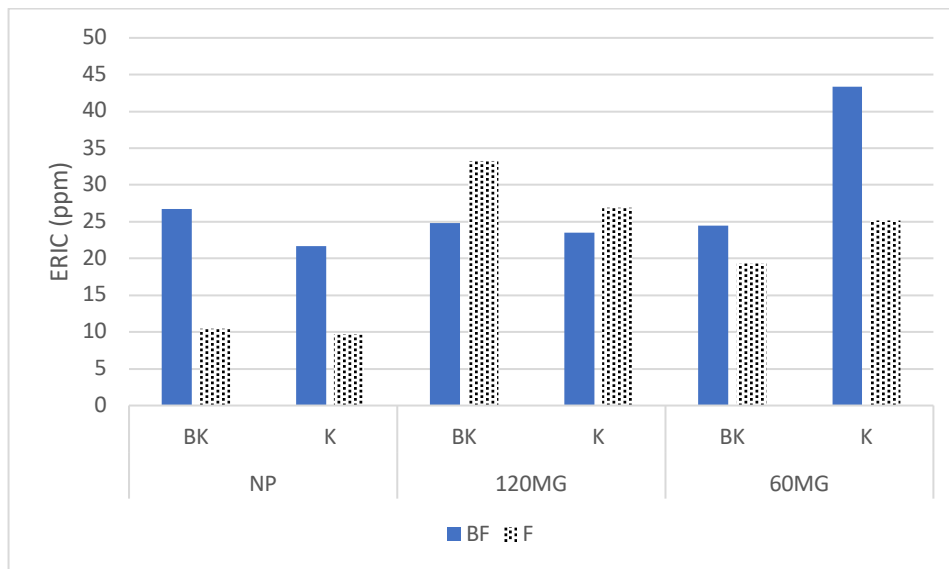
Slika 17. ISO svjetlina na recikliranim papirima

Vrijednosti ISO svjetline svih uzoraka su poprilično iste. Proces flotacije te dodatak kemikalija neznatno utječu na promjenu ISO svjetline (slika 17).

Najviša vrijednost je na neotisnutom papiru prije procesa flotacije kemikalijama što je za 0,1% veća vrijednost istog uzorka nakon flotacije bez kemikalija. Neotisnutom papiru najbližu vrijednost od otisnutih uzoraka imao je uzorak 120MG prije procesa flotacije kemikalijama. Vrijednosti ISO svjetline uzorka 60MG prije i nakon flotacije kemikalijama su iste.

Najniža vrijednost ISO svjetline je na uzorku 60MG prije flotacije bez kemikalija zbog hidrofилности površine otiska (Tablica 1).

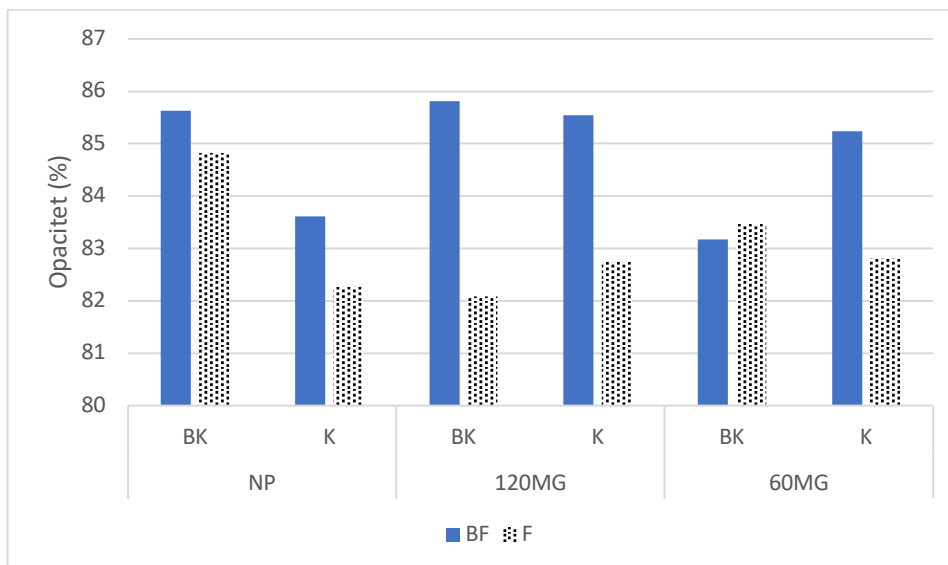
4.2.3 ERIC



Slika 18. Vrijednost ERIC-a na recikliranim papirima

Na slici 18 prikazane su vrijednosti ERIC-a u uzorcima recikliranog papira. Uporabom kemikalija pri recikliranju uzorka 60MG vrijednost ERIC-a raste u odnosu na uzorak recikliran bez kemikalija, što bi značilo da kemikalije utječu na veće izdvajanje čestica iz papira tijekom procesa recikliranja. Također, sama hidrofilnost uzorka (Tablica 1) vjerojatno doprinosi većoj količini zaostalih čestica boje u recikliranoj pulpi. Reciklirani neotisnuti papir i uzorak 120MG uporabom kemikalija pokazale su niže vrijednosti u odnosu na uzorke reciklirane bez kemikalija.

4.2.4 Opacitet



Slika 19. Vrijednost opaciteta na recikliranim papirima

Dodatak kemikalija i proces flotacije smanjuju opacitet uzoraka (slika 19). Vrijednosti opaciteta svih uzoraka su približno iste. Najviša vrijednost opaciteta dobivena je na uzorku 120MG prije flotacije bez kemikalija. Također, najniža vrijednost je dobivena uzorku 120MG nakon flotacije bez kemikalija, što ukazuje da se flotacijom gubi dio punila koji se nalaze u papiru te se gubitkom istih smanjuje opacitet uzorka. Uzorak 60MG jedini je uzorak na kojem su vrijednosti dobivene nakon flotacije veće nego prije flotacije.

5. ZAKLJUČAK

Bez obzira na korištenje kemikalija pri procesu deinking flotacije, optička svojstva recikliranih papira dobivenih recikliranjem ireverzibilnih termokromnih otisaka nisu se znatno poboljšala u svim mjerenim parametrima. Naime, dodatkom kemikalija te samim procesom flotacije smanjuje se opacitet recikliranog papira jer se flotacijom gubio dio punila koji se nalazi u sastavu papira. No, uporabom kemikalija smanjuje se očitavanje ERIC-a na istim uzorcima u usporedbi s papirima dobivenim recikliranjem bez dodataka kemikalija. Stoga, kemikalije ipak imaju utjecaj na recikliranje ispitivanih ireverzibilnih termokromnih boja za sitotisak. ISO svjetlina recikliranih papira također je rasla dodatkom kemikalija, ali uzorci dobiveni bez uporabe kemikalija nisu davala mnogo niže vrijednosti – u prosjeku su razlike između uzoraka s kemikalijama i bez manje od 1%. Flotacijom se ISO svjetlina smanjila što može biti rezultat gubitka punila.

Ispitivanja na uzorcima dovela su do zaključka da se uzorci otisnuti ovom bojom mogu reciklirati i bez kemikalija koje se koriste za potpomaganje deinking flotacije ali optička svojstva recikliranih uzoraka pokazuju da se ove boje teško recikliraju. Ovim otkrićem, štetnosti recikliranja dovele bi se na minimum, smanjili bi se troškovi vezani uz nabavu kemikalija potrebnih za recikliranje, smanjilo dodatno zagađenje voda te naposljetku produljio životni vijek materijala koji se reciklira. Potreba za novim izvorima da bi se dobile nove podloge također bi se umanjile što bi povećalo još veću svijest prema recikliranju i stvaranju što manje otpadaka nakon svakog određenog procesa – u ovom slučaju recikliranja otisnutog papira. Metoda deinking flotacije nije u potpunosti najbolja metoda recikliranja ireverzibilnih termokromnih otisaka jer su postignute neznatne razlike optičkih svojstava listova prije i poslije flotacije. Buduća istraživanja trebala bi ići u smjeru novih tehnika poput adsorpcijskog i enzimatskog deinkinga, koji su se u drugim studijama pokazale kao uspješne metode uklanjanja boja na bazi vode i sl.

6. LITERATURA

- [1] Bajpai P., (2014), *Recycling and Deinking of Recovered Paper*, <https://doi.org/10.1016/C2013-0-00556-7>, ISBN: 978-0-12-416998-2, str. 3-8
- [2] Paper and board – European list of standard grades of recovered paper and board, EN643:2001., dostupno na: <http://www.international-recycling.com/grades/Europeangrades.pdf>, pristupljeno 1.7.2019.
- [3] International Organization of Standardization (ISO) (2017). ISO 11475:2017. Paper and board - Determination of CIE whiteness, D65/10 degrees (outdoor daylight)
- [4] International Organization of Standardization (ISO) (2016) ISO 2470-1:2016. Paper, board and pulps - Measurement of diffuse blue reflectance factor -- Part 1: Indoor daylight conditions (ISO brightness)
- [5] International Organization of Standardization (ISO) (2008) ISO 2471:2008. Paper and board - Determination of opacity (paper backing) - Diffuse reflectance method
- [6] International Organization of Standardization (ISO) (2013) ISO 22891:2013. Paper - Determination of transmittance by diffuse reflectance measurement
- [7] International Organization of Standardization (ISO) (2008) ISO 22754:2008 Preview Pulp and paper -- Determination of the effective residual ink concentration (ERIC number) by infrared reflectance measurement
- [8] Bogue R., (2012), *Smart materials: a review of recent development*, Assembly Automation, broj 32, 1. izdanje, str. 3. – 7., dostupno na: <http://dx.doi.org/10.1108/01445151211198674>

[9] Kulčar R., (2010), *Kolorimetrijska analiza i parametri stabilnosti UV - termokromnih boja*, doktorska disertacija, Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, dostupno na: <http://eprints.grf.unizg.hr/1428/1/Doktorski%20rad%-20Kulcar%20Rahela.pdf>

[10] Luthern, J., and Peredes, A. Determination of the stoichiometry of a thermochromic color complex via Job's method. *J. Mater. Sci. Lett.* 2000; **19**(3):185–188.)

[11] Kipphan, H. (Ed). (2001): Handbook of Print Media. Springer, Berlin, pp. 68 - 78.

[12] Glibo R., (2017), *Utjecaj adhezijskih svojstava termokromne boje na njezina kolorimetrijska svojstva*, završni rad, Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, dostupno na: https://eprints.grf.unizg.hr/2695/1/Z792_Glibo_Renato.pdf

POPIS SLIKA

Slika 1. Nepravilno izlaganje temperaturi na metalnoj ambalaži (obezbojena boja poprimila je crvenu boju)

Slika 2. Molekularna struktura razvijaa Bisfenol A (BPA) i Lauril galata (LG)

Slika 3. Rapid Köthen Sheet Machine Automatic prema standardima ISO 5269-2

Slika 4. Trenutak mjerenja kontaktnog kuta vode na neotisnutom papiru uhvaćen CCD kamerom

Slika 5. Trenutak mjerenja kontaktnog kuta vode na otisku 120MG u neaktiviranom stanju uhvaćen CCD kamerom

Slika 6. Trenutak mjerenja kontaktnog kuta vode na otisku 120MG u aktiviranom stanju uhvaćen CCD kamerom

Slika 7. Trenutak mjerenja kontaktnog kuta vode na otisku 60MG u neaktiviranom stanju uhvaćen CCD kamerom

Slika 8. Trenutak mjerenja kontaktnog kuta vode na otisku 60MG u aktiviranom stanju uhvaćen CCD kamerom

Slika 9. Vrijednost L^* s uključenom UV komponentom

Slika 10. Vrijednost a^* s uključenom UV komponentom

Slika 11. Vrijednost b^* s uključenom UV komponentom

Slika 12. Vrijednost bjeline s uključenom UV komponentom

Slika 13. Vrijednost ΔL^* na recikliranim papirima

Slika 14. Vrijednost Δa^* na recikliranim papirima

Slika 15. Vrijednost Δb^* na recikliranim papirima

Slika 16. Vrijednost Δ bjeline na recikliranim papirima

Slika 17. ISO svjetlina na recikliranim papirima

Slika 18. Vrijednost ERIC-a na recikliranim papirima

Slika 19. Vrijednost opaciteta na recikliranim papirima

POPIS TABLICA

Tablica 1. Srednje vrijednosti moćenja uzoraka uz prikazanu standardnu devijaciju

