

Otpornost termokromnih offsetnih boja prema otiranju

Rub resistance of thermochromic offset inks

Sonja Jamnicki Hanzer, Lana Šprem, Emilija Perica
Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet, Getaldićeva 2, 10000 Zagreb

Sažetak

U radu je provedeno ispitivanje otpornosti otisaka offsetnih termokromnih boja prema otiranju. Za dobru otpornost otisaka prema otiranju važan je optimalan izbor tiskarske boje i tiskovne podloge te njihov odgovarajući adhezioni odnos.

Termokromne tiskarske boje su boje koje mijenjaju svoje obojenje pod utjecajem promjene temperature. One se često koriste u oblikovanju pametne ambalaže gdje najčešće dolaze u funkciji temperaturnih indikatora. No, budući da se u sastavu takvih boja koriste specijalno formulirani koloranti koji su mikroenkapsulirani, otisci takvih boja jako su osjetljivi na otiranje. Cilj je ovog istraživanja dati smjernice o otpornosti takvih boja prema otiranju koje se najčešće javlja upravo kod ambalažnih otisaka.

U eksperimentalnom dijelu rada, tri su offsetne termokromne boje (plava, vinsko crvena i zelena), otisnute na nekoliko papira koji su se razlikovali u svojstvima i obradi površine (premazani i nepremazani papiri). Prije samog otiskivanja, izvršena su ispitivanja glatkosti korištenih papira kako bi se mogao odrediti eventualan utjecaj tiskovne podloge na stupanj otiranja boje. Nakon otiskivanja i sušenja, otisci su izloženi definiranom otiranju. U ispitivanjima je korišten tribometar Hanatek RT4 Rub and Abrasion Tester. Ovakvom vrstom ispitivanja određuje se pogodnost tiskovne podloge prema određenoj tiskarskoj boji. Nakon provedbe testa, stupanj otiranja utvrđen je vizualnom metodom. Također su određene kolorimetrijske promjene nastale na otiscima nakon njihovog izlaganja otiranju. Termokromne boje analizirane u okviru ovog istraživanja pokazale su se najotpornijima na nepremazanim tiskovnim podlogama.

Ključne riječi: Termokromna boja, tisak ambalaže, otpornost prema otiranju, test otiranja

Abstract

This paper evaluates rub resistance of offset thermochromic inks. For good rub resistance of prints, it is essential to find optimum combination of printing ink and printing substrate in order to achieve adequate adhesion of the print with the chosen substrate.

Thermochromic printing inks are special inks that exhibit colour changes depending on changes in temperature. They are often printed on smart packaging applications where are mostly used as temperature indicators. Since the colorants in these inks are microencapsuled, the prints obtained with these inks are very sensitive to rubbing. The aim of this study is to provide guidance on rub resistance of such inks, more so as rubbing usually appears on prints applied on packaging.

In the experimental part of the work, three offset thermochromic inks (blue, burgundy and green) were printed on several papers that differed in their surface properties (coated and uncoated papers). Prior to printing, the smoothness of used papers was determined to see whether this property influences the degree of the rubbing. After printing and drying of the inks, prints were subjected to a standard rub test for which Hanatek RT4 Rub and Abrasion Tester was used. This

type of test determines the suitability of the printing substrate to a particular printing ink. After the rub test was conducted, the degree of rubbing was assessed visually. The colorimetric changes on the prints after their exposure to rubbing were also determined. Thermochromic inks analysed within this study showed best rub resistance on uncoated papers.

Keywords: Thermochromic ink, packaging printing, rub resistance, rub test

1.Uvod

1. Introduction

Termokromne tiskarske boje (grč. *thermos* - toplina, *chrôma* - boja) su boje koje prilikom promjene temperature mijenjaju svoje obojenje. Budući da se ove boje mogu nalaziti u dva optička stanja, obojenom i neobojenom, nazivaju se i dinamičkim bojama. Termokromni sustavi mogu biti reverzibilni (promjena obojenja je višekratna) ili ireverzibilni (promjena obojenja je jednokratna i trajna). Ovisno o tipu koloranata koje sadrže, postoje termokromne boje na bazi leuko bojila kao i boje na bazi tekućih kristala. Boje na bazi leuko bojila češće se koriste i svoju primjenu nalaze uglavnom u tisku tzv. pametne ambalaže [1]. Te dvije formulacije razlikuju se po mogućnostima promjene obojenja unutar vidljivog spektra, jedinstvenosti primjene i točnosti indikacije temperature [2].

Reverzibilni termokromni organski materijali najčešće su sastavljeni od tri komponentne: bojila (koloranta), kolor razvijaa i otapala. Za postizanje željenog efekta te su komponente pomiješane u definiranim omjerima i obično su inkapsulirane u svrhu zaštite. Promjena obojenja pojavljuje se kroz dvije kompetitivne reakcije, između bojila i razvijaa te između otapala i razvijaa. Prva od ove dvije interakcije prevladava pri nižim temperaturama na kojima se otapalo nalazi u krutom stanju, omogućujući postizanje obojenja u kompleksu bojila i razvijaa. Povećanjem temperature, otapalo prelazi u tekući oblik i uzrokuje raspad kompleksa bojila i razvijaa, što sustav pretvara u bezbojno stanje. Prilikom ponovnog hlađenja, otapalo se stvrdne, a razvijaa i bojilo se vraćaju u prvobitno stanje [3]. Kod ireverzibilnih boja na bazi leuko bojila, nema vraćanja u prvobitno stanje. Temperatura na kojoj se događa proces obojenja i obezbojenja ovisi o temperaturi na kojoj se otapa otapalo i ona se naziva temperaturom aktivacije (T_A). Termokromne boje na bazi leuko bojila dostupne su u različitim temperaturama aktivacije, od -15°C do 65°C .

No, postoje i termokromne boje na bazi leuko bojila kod kojih se pri temperaturi aktivacije događa promjena iz jednog obojenja u drugo, a to se postiže bojama koje su kombinacija leuko bojila i procesnih tiskarskih boja. Tako na primjer, proizvođač boja može formulirati zelenu boju na način da žutoj procesnoj boji doda plavo leuko bojilo. Pri tome, na temperaturi nižoj od T_A , otisnuta površina izgleda zelena, a zagrijavanjem prelazi u žutu boju pri čemu leuko bojilo postaje transparentno [4].

Termokromne tiskarske boje sastavljene su od mikroenkapsuliranog aktivnog termokromnog materijala dispergirano u vezivu boje. Veličina mikrokapsula koje se koriste u sastavu ovih boja kreće se u rasponu od 3 do $5\mu\text{m}$ što ih čini i do desetak puta većim kolorantima u odnosu na pigmente koji su nositelji obojenja konvencionalnih tiskarskih boja. Termokromne tiskarske boje s mikroenkapsuliranim kolorantima danas se mogu otiskivati svim glavnim tehnikama tiska: offsetom, sitotiskom, fleksotiskom i dubokim tiskom, a moguće ih je aplicirati na širok raspon

tiskovnih podloga: od papira i kartona, polimernih folija i plastike do tekstila, metala, stakla i keramike [1].

U današnje vrijeme termokromne tiskarske boje pretežno se tiskaju na ambalaži, gdje se najčešće koriste kao indikatori svježine i temperature proizvoda. Na Slici 1 prikazan je primjer otisnute termokromne boje koja se nalazi u funkciji indikatora idealno rashlađenog proizvoda.



Slika 1 Termokromna boja na ambalaži za pivo [5]

Figure 1 Thermochromic ink printed on beer label

1.1. Važnost provođenja testa otiranja za boje otisnute na ambalaži

1.1. The importance of rub testing for inks applied on packaging

Otpornost prema otiranju karakteristika je suhog otiska koja se određuje najčešće za one otiske koji se prilikom svoje uporabe mogu mehanički oštetiti. Tu se prvenstveno misli na ambalažne otiske, no također i na otiske aplicirane na korice knjiga, časopisa, bilježnica ili fascikala. Dobra otpornost prema otiranju danas se traži od gotovo svakog otisnutog grafičkog proizvoda uključujući i dnevne tiskovine [6]. Otpornost prema otiranju je sposobnost tiskanog materijala da se odupre mrljanju, habanju ili razmazivanju boje tijekom pakiranja, njegove distribucije i uporabe. Loša otpornost prema otiranju uočava se, ako se, nakon uobičajenog rukovanja i uporabe, na otisku pojavljuju mrlje, tragovi skidanja ili razmazivanja boje [7]. Stupanj otiranja boje u uskoj je vezi s vrstom i količinom smole u sastavu veziva boje i aditivima koji se koriste u formulaciji boja. Od aditiva koji se koriste u svrhu povećanja otpornosti otisaka prema otiranju najčešće su u upotrebi voskovi uz eventualni dodatak sušivih ulja poput lanenog ulja. No, dobra otpornost prema otiranju nije vezana samo uz boju, već i uz odabir odgovarajuće tiskovne podloge. Ispitivanja su pokazala da papiri koji imaju glatku površinu poput sjajno-premazanih papira, uglavnom pokazuju bolju otpornost prema otiranju od nepremazanih, hrapavih papira [8]. Također, jedan od preduvjeta za dobru otpornost otisaka prema otiranju je adekvatno sušenje otisnute boje. Preporučeno vrijeme sušenja otisaka nanesenih na premazane papire prije njihove dorade ili transporta iznosi najmanje 24 sata, dok se za nepremazane papire to vrijeme udvostručuje [9].

Cilj ovog istraživanja je ispitati otpornost offsetnih termokromnih boja otisnutih na različitim premazanim i nepremazanim papirima prema otiranju. Pregledom dostupne znanstvene i stručne literature do sada nisu zabilježena slična ispitivanja.

1.2. Korišteni materijali i metode

1.2. Materials and methods

Za tisak termokromnih boja, kao tiskovne podloge, korištena su dva sjajno premazana (uzorci A1 i A2) i dva nepremazana papira (uzorci B1 i B2). Osnovne karakteristike odabranih tiskovnih podloga (gramatura, debljina i specifični volumen) prikazane su u Tablici 1.

Tablica 1 Karakteristike korištenih tiskovnih podloga

Table 1 Properties of chosen printing substrates

Vrsta tiskovne podloge	Gramatura (g/m ²)	Debljina (mm)	Specifični volumen (cm ³ /g)
Premazani papir (A1)	115	0.087	0.44
Premazani papir (A2)	200	0.173	1.50
Nepremazani papir (B1)	140	0.159	1.14
Nepremazani papir (B2)	240	0.343	1.43

Za tisak su korištene tri termokromne boje namijenjene offsetnom tisku na arke, jedna proizvođača CHAMELEON® (plava) i dvije proizvođača CTI® - Chromatic Technologies, Inc. (zelena i vinsko crvena). Sve korištene boje formulirane su na uljnoj bazi s leuko bojilima kao nositeljima obojenja. Njihove aktivacijske temperature iznosile su: 27°C za plavu boju (Chameleon), 45°C za zelenu (CTI) i 63°C za vinsko crvenu boju (CTI). Sve boje karakterizirala je reverzibilna promjena obojenja. Za plavu boju bilo je karakteristično da se otisak nalazio u potpuno obojenom stanju 3°C ispod aktivacijske temperature, dok je iznad temperature aktivacije (T>27°C) prelazio u bezbojno stanje. CTI boje počinjale su mijenjati obojenje 4°C ispod aktivacijske temperature, da bi iznad temperature aktivacije prelazile u drugu boju: zelena u žutu (T>45°C), a vinsko crvena u plavu (T>63°C).

Preporuka proizvođača bila je da se ove boje u standardnom offsetnom tisku tiskaju u nekoliko slojeva, kako bi se postigao zadovoljavajući intenzitet obojenja na nepremazanim papirima kao preporučenim tiskovnim podlogama.

Tablica 2 Karakteristike termokromnih tiskarskih boja Chameleon® i CTI®

Table 2 Characteristic of Chameleon® and CTI® thermochromic inks

Svojstvo	Chameleon®	CTI®
Udio pigmenata	30±1.5 %	(nema podatka)
Veličina pigmenata	95% manje od 6 µm	(nema podatka)
Udio krute tvari	90 %	79 %
Otapala	Mineralni razrjeđivač (špirit)	(nema podatka)
Viskoznost na 25°C	150 – 180 Poise	180 – 300 Poise

Glatkost papira ispitana je na uređaju PTI-Line Bekk. Ispitivanje se izvodi, prema TAPPI standardu T 479, na 5 uzoraka (dimenzija 50 x 50 mm) sa svake strane papira. Broj glatkosti prema Bekku izražava se u sekundama.

Otiskivanje termokromnih boja provedeno je na stroju Prufbau Multipurpose Printability Testing System. Za potrebe otiskivanja na valjke za razribavanje s preciznom laboratorijskom pipetom nanoseno je 1.5 cm³ boje dok se otiskivanje provelo pri pritisku od 600 N. Nakon svakog otiskivanja na valjke za razribavanje dodano je 0.1 cm³ boje kako bi se osigurao jednaki nanos boje na svim sljedećim uzorcima. Otisnuti uzorci sušili su se na zraku pri sobnoj temperaturi, a test otiranja proveden je nakon 8 dana od otiskivanja kako preporuča standard BS 3110 [10].

Za ispitivanje otpornosti otisaka prema otiranju korišten je tribometar Hanatek RT4 Rub and Abrasion Tester (Slika 2).



Slika 2 Hanatek Rub and Abrasion Tester

Figure 2 Hanatek Rub and Abrasion Tester

To je uređaj pomoću kojeg se određuje otpornost suhog otiska na skidanje sloja boje uslijed trenja, koje nastaje trljanjem ispitivanog otiska i nekog drugog materijala. Temeljni dio tribometra čine dva diska različitih polumjera koji su cijelom površinom u dodiru. Pogonjeni elektromotorom diskovi rotiraju istim kutnim brzinama. Tijekom ispitivanja se ispitivani uzorak (otisak) i bijeli offsetni papir nalaze na diskovima, a tlak među njima je reguliran postavljanjem utega različite mase na gornji disk. Boja koja se uslijed trljanja skida s površine otiska prenosi se na bijeli offsetni papir. Tlak koji djeluje na uzorke iznosi 3.5, 6.9 i 13.8 kPa. Nakon određenog broja okretaja (20, 40) uređaj se zaustavlja. Uzorke i papire za otiranje nakon toga vizualno procjenjujemo kako bi odredili je li otpornost na otiranje zadovoljavajuća ili ne. Procjena se obavlja usporedbom prijenosa tiskarske boje s ispitivanog uzorka na offsetni papir za otiranje. Vizualna procjena stupnja otiranja izvršena je pod standardnim dnevnim svjetlom (Illuminant D 65) u Macbeth Judge II uređaju.

Osim vizualne procjene stupnja otiranja, uzorci su podvrgnuti kolorimetrijskim mjerenjima prije i nakon provedbe testa otiranja, kako bi se utvrdila eventualna oštećenja nastala na otiscima, koja se manifestiraju promjenom u obojenju.

Kolorimetrijske vrijednosti otisnutih boja određene su spektrofotometrom Ocean Optics USB2000+ uz korištenje Ocean Optics Spectrasuite softvera. Mjerenja su napravljena u CIELAB prostoru boja uz rasvjetu D65 i 10° standardnog promatrača. Iz izmjerenih CIELAB vrijednosti na otisnutim uzorcima prije i nakon provedbe testa otiranja, određena je njihova kolorimetrijska razlika tj. vrijednost CIEDE2000 prema formuli [11]:

$$\frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{L_i^* - L_i^{*0}}{L_i^{*0}} \right)^2 + \left(\frac{a_i^* - a_i^{*0}}{a_i^{*0}} \right)^2 + \left(\frac{b_i^* - b_i^{*0}}{b_i^{*0}} \right)^2}{2n} \quad (1)$$

1.3. Rezultati provedenih ispitivanja

1.3. Results of conducted tests

1.3.1. Glatkost papira

1.3.1. Smoothnes of paper

U Tablici 3 prikazani su rezultati ispitivanja glatkosti papira metodom po Bekku, za obje strane papira (A i B). Za otiskivanje je odabrana strana na kojoj je izmjerena manja glatkost radi preporuke proizvođača da je ove boje najbolje tiskati na što hrapavijim tiskovnim podlogama.

Tablica 3 Rezultati ispitivanja glatkosti korištenih tiskovnih podloga

Table 3 Results of smoothness determination of used printing substrates

Vrsta tiskovne podloge	Glatkost po Bekku (s)	
	Strana A	Strana B
Premazani papir (A1)	974.5 ±69.1	986.9±48.5
Premazani papir (A2)	314.3±7.0	188.8±9.5
Nepremazani papir (B1)	14.2±0.8	10.4±0.3
Nepremazani papir (B2)	2.4±0.1	2.3±0.1

1.3.2 Otiranje

1.3.2. Rub test

a) Vizualna procjena otpornosti otisaka na otiranje

a) Visual assessment of rub resistance of prints

Nakon provedenih serija otiranja u kojima je variran broj otiranja (20, 40) i pritisak na diskove u dodiru (3.5 kPa, 6.9 kPa i 13.8 kPa), obavljena je vizualna procjena usporedbom prijenosa tiskarske boje s ispitivanih uzoraka na offsetni papir za otiranje. Za svaki uzorak napravljena su po dva ispitivanja, a rezultat je prikazan kao njihova aritmetička sredina; 40 otiranja provedeno je

pri pritisku od 3,5 kPa i 6,9 kPa, dok je pri najvećem pritisku (13,8 kPa) broj otiranja smanjen na pola (20).

U Tablici 4 prikazani su rezultati vizualne procjene otiranja pri čemu su ocjene dodijeljene prema kriteriju: 1- ne uočava se otiranje; 2- male naznake otiranja otisaka; 3- vidljivo otiranje otisaka; 4- izraženo otiranje otisaka; 5- vrlo izraženo otiranje otisaka.

Tablica 4 Rezultati ispitivanja otpornosti suhog otiska prema otiranju (vizualna procjena otiranja)

Table 4 Results of determination of dry prints' rub resistance (visual assessment)

Vrsta tiskovne podloge	Pritisak: 3.5 kPa; 40 otiranja		
	Plava	Zelena	Vinsko crvena
Premazani papir (A1)	3	1	1
Premazani papir (A2)	3	1	1
Nepremazani papir (B1)	1	1	1
Nepremazani papir (B2)	1	1	1
Vrsta tiskovne podloge	Pritisak: 6.9 kPa; 40 otiranja		
	Plava	Zelena	Vinsko crvena
Premazani papir (A1)	4	2	1
Premazani papir (A2)	4	1	1
Nepremazani papir (B1)	1	1	1
Nepremazani papir (B2)	1	1	1
Vrsta tiskovne podloge	Pritisak: 13.8 kPa; 20 otiranja		
	Plava	Zelena	Vinsko crvena
Premazani papir (A1)	5	2	1
Premazani papir (A2)	5	2	2
Nepremazani papir (B1)	1	1	1
Nepremazani papir (B2)	1	1	1

b) Kolorimetrijske promjene na otiscima

b) Colorimetric changes on prints

U Tablici 5 prikazane su razlike u boji prema formuli CIEDE2000 nastale kao posljedica otiranja. Na svakom otisnutom uzorku provedena su po tri mjerenja na različitim pozicijama, pa su rezultati prikazani kao njihova aritmetička sredina.

Tablica 5 Rezultati ispitivanja otpornosti suhog otiska prema otiranju (CIEDE2000 razlika boje)
Table 5 Results of determination of dry prints' rub resistance (CIEDE2000 color difference)

Vrsta tiskovne podloge	Pritisak: 3.5 kPa; 40 otiranja		
	Plava	Zelena	Vinsko crvena
Premazani papir (A1)	6.4	0.84	0.99
Premazani papir (A2)	6.9	1.62	0.95
Nepremazani papir (B1)	1.4	1.20	0.99
Nepremazani papir (B2)	1.9	1.15	0.76
Vrsta tiskovne podloge	Pritisak: 6.9 kPa; 40 otiranja		
	Plava	Zelena	Vinsko crvena
Premazani papir (A1)	10.7	1.49	0.89
Premazani papir (A2)	20.9	1.67	1.26
Nepremazani papir (B1)	2.7	0.99	1.69
Nepremazani papir (B2)	1.7	0.78	0.58
Vrsta tiskovne podloge	Pritisak: 13.8 kPa; 20 otiranja		
	Plava	Zelena	Vinsko crvena
Premazani papir (A1)	13.3	0.49	1.10
Premazani papir (A2)	22.6	1.29	1.39
Nepremazani papir (B1)	1.1	1.00	1.81
Nepremazani papir (B2)	0.8	0.92	1.08

Na temelju dobivenih rezultata kolorimetrijske razlike boje CIEDE2000 moguće je odrediti razinu oštećenja otisaka, prilikom čega se možemo voditi smjernicama iz Tablice 6 [12].

Tablica 6 Subjektivni dojam razlike u boji na temelju vrijednosti CIEDE2000
Table 6 Subjective assessment metric based on CIEDE2000 Color difference

Vrijednost CIEDE2000 razlike boja	Opis
< 1	Prosječno ljudsko oko ne vidi razliku
1-2	Vrlo mala razlika, može ju primijetiti samo iskusno oko
2-3.5	Umjerena razlika
3.5-5	Očita razlika
> 5	Velika razlika

1.3. Diskusija rezultata

1.3. Discussion of results

Pri mjerenju otpornosti otisaka na otiranje javljaju se veća, ili manja oštećenja otiska. Mehaničkim trošenjem otiska slabe adhezijske sile između boje i tiskovne podloge. Ako su sile koje se javljaju pri adhezijskom trošenju jače od kohezijskih sila, doći će do prijelaza boje,

čestica pigmenta s jedne tarne plohe na drugu pri relativnom gibanju. Ovdje veliku ulogu imaju adhezivna svojstva tiskovne podloge i boje, ali i svojstva same tiskovne podloge [13].

Iz rezultata vizualne procjene otiranja (Tablica 4) može se uočiti kako su otisci plave termokromne boje otisnuti na premazanim papirima (A1 i A2) pokazali najmanju otpornost prema otiranju od ostalih otisnutih boja. Kod ove je boje, čak i pri najmanjem pritisku pod kojim je izvršeno otiranje, zabilježeno vidljivo otiranje, dok se s povećanjem pritiska, stupanj otiranja proporcionalno povećavao, pa je pri tlaku od 6,9 kPa zabilježeno izraženo, a pri tlaku od 13,8 kPa vrlo izraženo otiranje. No, za razliku od toga, na nepremazanim papirima, plava termokromna boja pokazala se vrlo otpornom na otiranje pri svim radnim uvjetima pod kojima je test proveden. Što se tiče otisaka zelene i vinsko crvene boje, obje su pokazale dobru otpornost prema otiranju pri pritiscima od 3.5 i 6.9 kPa na većini papira, no s povećanjem pritiska između tarnih ploha na 13.8. kPa, kod većine otisaka otisnutih na premazanim papirima (A1 i A2) uočeno je blago otiranje, dok su pri svim testnim uvjetima, boje otisnute na nepremazanim papirima (B1 i B2) pokazale zadovoljavajuću otpornost prema otiranju.

Rezultati kolorimetrijskog određivanja promjene boje otiska (Tablica 5) ukazuju da je na otiscima plave termokromne boje, otisnutim na premazanim papirima (A1 i A2), došlo do velike, nedopustive razlike u obojenju kao posljedice otiranja. S povećanjem pritiska među tarnim plohami, penje se i razlika u obojenju CIEDE2000 na vrijednosti iznad 20, što ukazuje na neprihvatljiva oštećenja otisaka. Na nepremazanim papirima (B1 i B2) razlika u obojenju plave termokromne boje uglavnom je vrlo mala (CIEDE2000 <2) i vizualno teško uočljiva što je prihvatljiv rezultat. Što se tiče otisaka zelene i vinsko crvene boje, obje su boje, bez obzira na vrstu tiskovne podloge na koju su otisnute, pri svim radnim pritiscima pod kojim se otiranje izvodilo, pokazale neznatne ili vrlo male promjene u obojenju (CIEDE2000 <1 i <2) što je, također, prihvatljiv rezultat. Time su ove boje pokazale veću otpornost u odnosu na plavu termokromnu boju koja se pokazala izuzetno nestabilnom na premazanim tiskovnim podlogama.

1.4. Zaključak

1.4. Conclusion

Na temelju istraživanja koje je provedeno donesen je sljedeći zaključak.

Najmanju otpornost prema otiranju pokazali su otisci plave termokromne boje otisnuti na premazanim papirima, jer se tiskarska boja s njih se skidala u većoj količini. Kolorimetrijska mjerenja dodatno su potvrdila rezultate vizualne procjene otiranja, ukazavši na iznimno velike, a time i neprihvatljive razlike u obojenju koje nastaju na otiscima nakon njihovog izlaganja otiranju. Vinsko crvena i zelena termokromna boja, s druge strane, pokazale su se znatno otpornijima na otiranje, blago otiranje tih boja primijećeno je jedino uz najveći radni pritisak i to samo na otiscima otisnutim na premazanim papirima. Promjene u obojenju na otiscima tih dviju boja, određene kolorimetrijskim putem, bile su vrlo male i stoga vizualno neuočljive na svim korištenim tiskovnim podlogama.

Zbog svega navedenog možemo preporučiti odabir nepremazanih papira kao optimalne tiskovne podloge za ovu vrstu termokromnih boja, budući da su otisci na takvim papirima pokazali zadovoljavajuću otpornost prema otiranju.

1.6. Literatura

1. WRAP. Final report – Background study. „Thermochromic inks and reducing household food waste“, UK, 2013. Dostupno na <http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Using%20thermochromic%20inks%20to%20reduce%20household%20food%20waste.pdf>
2. Kulčar R., (2010). Kolorimetrijska analiza i parametri stabilnosti UV-termokromnih boja, Doktorski rad, Grafički fakultet
3. Kulčar, Rahela, Marta Klanjšek Gunde, and Nina Knešaurek. "Dynamic colour possibilities and functional properties of thermochromic printing inks." *Acta graphica: znanstveni časopis za tiskarstvo i grafičke komunikacije* 23.1-2 (2012): 25-36
4. Homola, J. (2003): Color-Changing Inks, Brighten your bottom line. Available at <http://www.xslabs.net/color-change/how-stuff-works.htm>
5. Thermo-sensitive-label Slika dostupna na <http://tiskara-reprint.hr/thermo-sensitive-labels/>
6. Lozo B., Bolanča Z. (2002). *Tribološka ispitivanja otisaka s modelnim bojama*, Zbornik radova MATRIB 2002, Ćurković L., Grilec K.(ur.), 107-112, Vela Luka, lipanj2002., Hrvatsko društvo za materijale i tribologiju, Zagreb
7. Bozhkova, T. Ts, et al. *Improvement of physical-mechanical and optical properties of the packaging production through coating with aqueous polymer dispersions in accordance with the environmental protection requirements*. *Bulgarian Chemical Communications* 49 (2017): 169-173
8. Technical brochure from Sappi. *Paper, Ink and Press Chemistry, Exploring key print variables*. Available at: <http://www.na.sappi.com/education/probookshelf/technical-publications> - Sappi /*Technical Publications*, 24. srpnja 2014.
9. „Otiranje tiskarske boje“, časopis REGprint, broj 2, lipanj 2010, dostupno na <http://ambalaza.com/hr/croprint/2010/6/otiranje-tiskarske-boje,148,4420.html>
10. BS 3110:1959 Methods for measuring the rub resistance of print (British Standard), standard by BSI Group, 03/23/1959
11. Luo, M.R., Cui, G. and Rigg, B., 2001. The development of the CIE 2000 colour-difference formula: CIEDE2000. *Color Research & Application: Endorsed by Inter-Society Color Council, The Colour Group (Great Britain), Canadian Society for Color, Color Science Association of Japan, Dutch Society for the Study of Color, The Swedish Colour Centre Foundation, Colour Society of Australia, Centre Français de la Couleur*, 26(5), pp.340-350.
12. Zjakić, Igor. *Upravljanje kvalitetom ofsetnog tiska*. Hrvatska sveučilišna naklada, 2007.
13. Igor Zjakić, Sonja Jamnicki, Irena Bertić. *Utjecaj otiranja na kvalitetu tiska ambalaže*; 12 Savjetovanje o materijalima, tehnologijama, trenju i trošenju MATRIB 7 (2007), 269-279