

# Otpornost termokromnih otisaka prema abraziji

---

Šprem, Lana

Undergraduate thesis / Završni rad

2014

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Graphic Arts / Sveučilište u Zagrebu, Grafički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:216:773538>

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

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



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Graphic Arts Repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GRAFIČKI FAKULTET

# ZAVRŠNI RAD

Lana Šprem



Sveučilište u Zagrebu  
Grafički fakultet

Smjer: Tehničko-tehnološki

# ZAVRŠNI RAD

OTPORNOST TERMOKROMNIH OTISAKA PREMA ABRAZIJI

Mentor:

doc. dr. sc. Sonja Jamnicki

Student:

Lana Šprem

Zagreb, 2014.

## **ZAHVALE**

Velike zahvale upućujem mentorici doc.dr.sc. Sonji Jamnicki te dr.sc. Raheli Kulčar na stručnoj pomoći i uloženom vremenu tijekom izrade završnog rada.

# S A D R Ź A J

1. UVOD .....	1
1.1. Cilj rada.....	2
2. TEORIJSKI DIO .....	3
2.1. Tiskarske boje .....	3
2.1.1.Sastav tiskarskih boja.....	3
2.1.2.Sušenje tiskarskih boja.....	7
2.2. Površinska svojstva papira .....	7
2.3. Važnost provođenja testa otiranja .....	8
2.4. Kromogene boje .....	9
2.5. Termokromne boje .....	10
2.5.1.Termokromne boje na bazi tekućih kristala.....	13
2.5.2.Termokromne boje na bazi leuko bojila .....	13
2.5.3.Postojanost termokromnih boja .....	16
2.5.4.Tehnike tiska termokromnih boja .....	16
3. EKSPERIMENTALNI DIO.....	18
3.1. Plan rada i metodologija istraživanja .....	18
3.2. Korišteni materijali.....	18
3.3. Korišteni uređaji i metode.....	20
3.4. Rezultati istraživanja.....	26
3.4.1.Rezultati ispitivanja glatkosti papira metodom po Bekk-u.....	26
3.4.2.Otiranje .....	28
3.4.3.Struganje .....	33
4. DISKUSIJA REZULTATA .....	34
5. ZAKLJUČAK .....	36
6. LITERATURA.....	37
7. POPIS SLIKA I TABLICA.....	39

## **SAŽETAK**

U završnom radu provedeno je ispitivanje postojanosti otisaka termokromnih boja prema abraziji. Za dobru otpornost otisaka prema otiranju važan je optimalni izbor tiskarske boje i tiskovne podloge te njihov odgovarajući adhezioni odnos. Ovakvom vrstom ispitivanja određuje se pogodnost tiskovne podloge prema odabranoj boji. U eksperimentalnom dijelu rada, izvršilo se laboratorijsko otiskivanje jedne offsetne termokromne boje na nekoliko papirnih tiskovnih podloga koje se razlikuju u svojstvima i obradi površine (premazani i nepremazani papiri). Potom su se termokromni otisci izložili definiranom otiranju (engl. Rub test) i struganju (engl. Scratch test). U ispitivanjima je korišten tribometar Hanatek RT4 Rub and Abrasion tester, kod kojeg se koristi sustav rotacije disk na disk. Kako bi se istražio utjecaj tiskovne podloge na stupanj otiranja boje, najprije su bila izvršena ispitivanja glatkosti korištenih tiskovnih podloga. Nakon provedbe testa otiranja, stupanj prijenosa boje na podlogu za otiranje procijenio se vizualnom metodom. Također su utvrđene kolorimetrijske promjene nastale na pojedinim otiscima nakon njihovog izlaganja otiranju. Budući da se termokromne boje često koriste u oblikovanju pametne ambalaže gdje dolaze u funkciji temperaturnih indikatora, rezultati istraživanja dali su smjernice na postojanost tih boja prema abrazivnom trošenju koje se često javlja upravo kod ambalažnih otisaka. Termokromna boja ispitana u ovom radu pokazala se najstabilnijom na nepremazanim, upojnim tiskovnim podlogama.

## **KLJUČNE RIJEČI**

termokromna boja, otpornost otisaka, otiranje, struganje, promjene obojenja

# 1 UVOD

Tisak je dio grafičkog proizvodnog procesa u kojem se na tiskovnu formu nanosi boja i stavlja u kontakt s podlogom na kojoj se želi napraviti otisak. Kontakt tiskovne forme i podloge može biti direktan, neposredan ili indirektan, posredan. Pritom se, djelovanjem sile, boja s tiskovne forme prenosi na tiskovnu podlogu. Poznato je mnogo tiskovnih procesa i vrsta tiska. Zbog toga što svaki proces ima određene specifičnosti koje moramo poštivati, posebna vrsta tiska ima prilagođenu tiskovnu formu, podlogu i boju. Iako unutar svake tehnike tiska postoje značajne razlike u svojstvima boja, tiskovnih podloga, vrsti tiskovnih formi ili brzini tiska, od proizvođača tiskarskih boja traži se standardna boja za određene tehnike tiska. Tiskare tako moraju prilagoditi svoje poslovne modele novoj, prevladavajućoj dinamici. Sve češća je potražnja tiska materijala za kraći period, što iziskuje manje naklade, brže izmjene vizuala, a time i veću količinu korištenih tiskarskih boja. U tako kratkom roku je ponekad jako teško pronaći optimalnu kombinaciju tiskarske boje i papira, a nije realno tražiti “standardnu boju” za različite tiskovne podloge. U sklopu tiskara svojstva tiskarskih boja se ispituju prije i tijekom tiska, a ispitivanja gotovih suhih otisaka obavljaju se ovisno o njihovoj uporabi koja im definira svojstva. Gotovi otisci trebaju imati zadovoljavajuću otpornost na otiranje, savijanje i ljepljenje. Također trebaju dobro prianjati uz tiskovnu podlogu, biti fleksibilni, kemijski stabilni, svjetlostalni, otporni na toplinu, lakiranje, laminiranje i drugo. Neovisno o kvaliteti tiska za vrijeme transporta, proizvodnog procesa ili samog korištenja dolazi do otiranja otisaka što narušava izgled i kvalitetu grafičkog proizvoda. Sušenje otisaka je usko povezano s otiranjem. Ako boja suši penetracijom, koja se javlja prilikom otiskivanja na svakoj upojnoj površini, može doći do prebrzog upijanja veziva u podlogu te zaostajanja pigmenta na površini. Takav otisak se lako otire. Ako vezivo presporo upija u podlogu, takva boja suši predugo i nije pogodna za tisak. Voskovi i ulja, kao dodaci tiskarskim bojama mogu uvelike smanjiti otiranje otisaka, ako su dodani u pravilnom omjeru. Boja visoke kvalitete dobiva se isključivo pravilnim doziranjem aditiva te se reprodukcija optimalne kvalitete ostvaruje u kombinaciji s odgovarajućom tiskovnom podlogom [1-3].

## 1.1 Cilj rada

Ispitivanja provedena unutar ovog završnog rada imala su za cilj odrediti otpornost otisaka termokromnih boja prema otiranju i struganju.

Termokromne boje predstavljaju relativno nova rješenja u oblikovanju tzv. pametne ambalaže. Budući da su koloranti u termokromnim bojama mikrokapsulirani, ne preporuča se izlaganje takvih otisaka oštrim mehaničkim uvjetima. No, kako su ambalažni otisci za vrijeme svog transporta izloženi određenom stupnju trljanja i otiranja, istraživanje provedeno u ovom radu imalo je za cilj ispitati postojanost jedne offsetne termokromne boje prema abraziji.

Za ispitivanje otpornosti otisaka prema otiranju i struganju korišten je primjenjeni tribometar, uređaj pomoću kojeg se određuje otpornost suhog otiska na skidanje sloja boje uslijed trenja koje nastaje trljanjem ispitivanog otiska i nekog drugog materijala. Kako je za dobru otpornost otisaka prema otiranju važan optimalan izbor tiskarske boje i tiskovne podloge provedbom ispitivanja glatkosti izvršena je karakterizacija površinskih svojstava korištenih papira.

Stupanj prijenosa boje na podlogu za otiranje utvrđen je vizualnom metodom. Također su ispitane kolorimetrijske promjene nastale na pojedinim otiscima nakon njihovog izlaganja otiranju. Na kraju istraživanja provedena je diskusija rezultata prethodno prikazanih u tablicama te je donesen zaključak.



## 2 TEORIJSKI DIO

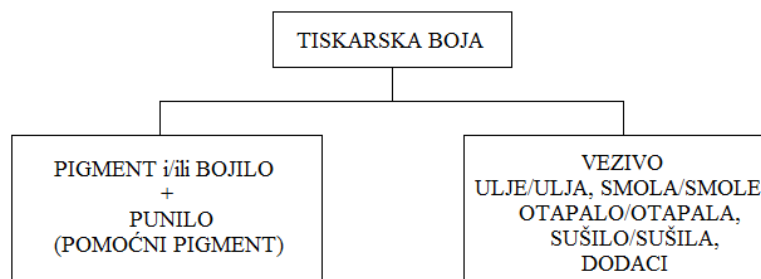
### 2.1 Tiskarske boje

Pod tiskarskom bojom podrazumijevamo supstancu koja posjeduje određeno obojenje i ima sposobnost da se u toku procesa tiska veže za podlogu na koju se otiskuje. Tiskarske boje su složeni koloidni i/ili molekularni disperzni sustavi, a sastavljene su od pigmenata i/ili bojila, punila (pomoćnog pigmenta), veziva (ulja, smola, otapala), sušila (sikativa) te različitih dodataka. Disperzni sistem tiskarske boje sastoji se od čvrste disperzne faze (pigmenta) u tekućem disperznom sredstvu (vezivu), koji ujedno predstavljaju osnovne komponente. Pravilnim odabirom sastojaka dobivaju se boje željenih svojstava i kvalitete, koja ovise o tehnici tiska, konstrukciji tiskarskog stroja, tiskovnoj formi, tiskovnoj podlozi i ostalim uvjetima [4, 5].

#### 2.1.1 Sastav tiskarskih boja

Tiskarske boje sastavljene su od:

- pigmenata i/ili bojila
- punila (pomoćnog pigmenta)
- veziva (ulja, smola, otapala)
- sušila (sikativa)
- različitih dodataka



Slika 1. Shematski prikaz sastava tiskarskih boja

**Pigmenti** (*engl. pigment*) su krute, kemijski čiste tvari koje pomiješane s prikladnim vezivom daju obojenje boji, a po prirodi su netopivi u vezivu, ali se u njemu moraju dobro dispergirati i dobro njime močiti. Pigmenti su u vezivu dispergirani u finom usitnjenju sve do nanometarskih čestica. Pigmenti s vezivom čine koloidne disperzije. Pigmenti su osnovni, sastavni dio tiskarske boje, vidljiv oku pri tisku. Budući da pigmenti čine čvrsti dio boje, oni joj daju određenu konzistenciju. Od pigmenata koji se upotrebljavaju za proizvodnju tiskarskih boja traži se definirano obojenje te određena pokritnost. Pored ovih zahtjeva od pigmenata se očekuje što veća svjetlostalnost, otpornost na povišenu temperature i razne kemikalije. Od mnogih svojstava pigmenata, najvažnija je njihova boja, koja ovisi o apsorpciji, odnosno refleksiji vidljivoga dijela spektra. Bijeli pigmenti reflektiraju gotovo sav spektar, crni ga apsorbiraju, a obojeni jedan dio apsorbiraju, a ostali reflektiraju. Možemo reći da pigmenti daju obojenje zbog selektivne apsorpcije i refleksije svjetlosti. Budući da je tiskarska boja disperzni sistem, pigmenti moraju imati svojstvo dobrog dispergiranja u smolno-uljnom vezivu i drugim vezivima koji se koriste za proizvodnju boja. Također, vezivo mora dobro močiti pigmente. Močenje pigmenata s vezivom direktno utječe na kvalitetu tiskarske boje. Pigmenti se najopćenitije dijele prema podrijetlu na prirodne i umjetne (sintetičke) te prema kemijskom sastavu na anorganske (kromova žuta, miori plava, titan-dioksid, molibdat narančasta, kadmijev pigment) i organske (azo pigmenti, soli kiselih boja, soli kompleksa lužnatih boja, ftalocijanini, VAT pigmenti i miješani tipovi) [6].

**Bojila** (*engl. dye, dyestuff*) su krute organske tvari koje daju obojenje tiskarskim bojama. Za razliku od pigmenata bojila se uglavnom potpuno otapaju u otapalu (vezivu) s kojima tvore molekularne disperzije. Upravo zbog disperzije na molekularnoj razini (zbog finog disperziteta) bojila su sjajna, vrlo izdašna i transparentna. Prema podrijetlu bojila se dijele na prirodna i umjetna (dobivaju se sintezom iz aromatskih ugljikovodika i srodnih spojeva iz katrana kamenog ugljena). Glavni nedostatak bojila je njihova mala molekularna masa. Zbog transparentnosti nemaju pokritnu moć anorganskih pigmenata i mnogih sintetičkih organskih pigmenata. Zbog male gustoće bojila u molekularnim otopinama potrebno je otiskivati vrlo debelim slojevima, kako bi se dobila zadovoljavajuća gustoća obojenja otiska [6].

**Punila** (*engl. extenders*) tiskarskih boja (pomoćni pigmenti) su krute anorganske tvari (kemijski čiste tvari) prirodnog ili umjetnog (veća upotreba) podrijetla. Punila djelomično zamjenjuju skupe pigmente te smanjuju cijenu tiskarskih boja i mijenjaju reološka svojstva tiskarskih boja. Punila u pravilu ne mijenjaju ton tiskarske boje, ali mogu smanjiti intenzitet obojenja. Punila su važan sastavni dio tiskarskih boja. Punila su fino zrnati bijeli anorganski

prašci. Kao i pigmenti, punila su netopiva u vezivima. Zajedno s vezivima punila daju transparentnu disperziju. Srednja veličina čestica punila iznosi od 0,01 do 1,0  $\mu\text{m}$ . Površina čestica punila može se naknadnom kemijskom obradom promijeniti, a na taj način mijenja se i moćenje punila s različitim vezivima. Punila moraju biti otporna prema vezivima, ne smiju s vezivima ni nakon dužeg vremena kemijski reagirati jer inače dolazi do stvaranja sapuna, a s tim u vezi i do jakih promjena u reološkim svojstvima boje. Najpoznatija punila su barijev sulfat, milovka ili talk, kaolin, magnezijev karbonat, aluminijski hidroksid, kalcijev karbonat, glina i silicijev dioksid [7].

**Vezivo** je tekuća komponenta tiskarskih boja koja služi da čestice pigmenata veže u masu odgovarajuće konzistencije te da boji osigura neophodna kemijsko-fizikalna svojstva. Vezivo ima zadatak da čestice pigmenata izolira jedne od drugih i da ih drži u jednoličnoj disperziji sve do dolaska boje na tiskovnu podlogu. Vezivo osigurava put boje od bojanika do tiskovne forme i dalje do tiskovne podloge. Vezivo mora imati točno definiranu ljepljivost kojom se osigurava vezivanje boje na površini tiskovne podloge. Veziva moraju biti bistra i potpuno kemijski inertna (ne smiju utjecati na čistoću i ton boje niti kemijski reagirati s bilo kojom sastavnicom TB). Veziva moraju imati sposobnost i definiranu brzinu sušenja i to tek kada je boja na tiskovnoj podlozi. Veziva u svom sastavu ne smiju sadržavati lako hlapljiva organska otapala neugodnog mirisa i štetnog utjecaja na ljudski organizam. Vezivo po sastavu može biti: viskozna tekuća tvar (različita ulja), otopina dobivena otapanjem krute smole u ulju (guste boje), otopina dobivena otapanjem krute smole u organskom otapalu (rijetke boje), vodena emulzija dobivena emulgiranjem krute smole s vodom.

Veziva za tiskarske boje možemo podijeliti u osnovne četiri skupine: **nesušiva veziva** (izrađena na temelju nesusivih ulja), **sušiva veziva** (izrađena na temelju sušivih ulja), **kompozicijska veziva** (mješavina sušivih i nesusivih ulja i raznih smola) te **hlapljiva veziva** (izrađena na temelju smola otopljenih u organskim otapalima).

**Nesusišiva veziva** uglavnom se sastoje od mineralnih ulja i raznih smola koje vezivu daju neophodnu ljepljivost. Upotrebljavaju se za pripremu svih boja koje se koriste za tisak na upojnim tiskovnim podlogama na kojima se sušenje zasniva na upijanju (penetraciji) veziva i dijela boje u podlogu. Jedno od najvažnijih mineralnih ulja u industriji tiskarskih boja su teška strojna ulja. Ta se ulja nalaze u jeftinim grafičkim bojama i imaju dobra tiskarska svojstva koja pospješuju "sjedanje" boje na tiskovnu podlogu.

Laneno ulje glavni je predstavnik **sušivih veziva**. To je biljno ulje koje se dobiva prešanjem ili ekstrakcijom sjemenki lana. Ima sposobnost vezivanja kisika iz zraka (oksidacija) prilikom

čega se na površini otisnute boje stvara tanki suhi film (kožica). Prilikom sušenja pored oksidacije može nastupiti i polimerizacija pri čemu uslijed povećavanja molekula nastupa očvršćavanje veziva. Litografski firnis je ugušćeno laneno ulje, a dobije se kuhanjem lanenog ulja bez prisustva zraka. Ovisno o temperaturi i dužini kuhanja dobivaju se firmisi različitih gustoća.

**Kompozicijska veziva** su smjese smola te sušivih i nesušivih ulja. Primjena je kod boja za offsetni tisak. Ova veziva daju osušeni hrapav film na površini otiska pa time omogućavaju dobar prijem sljedeće boje i koriste se za izradu šarenih boja. Boje izrađene samo na temelju lanenih uljnih veziva pri sušenju stvaraju previše glatki film/kožicu koja ne prima korektno sljedeću boju, dok kompozicijska veziva, nakon sušenja ostavljaju baršunastu površinu pogodnu za primanje sljedeće boje.

**Hlapljiva veziva** izrađena su uglavnom iz smola i lako hlapivih organskih otapala [8].

**Sušila** (sikativi) su tvari koje se dodaju tiskarskoj boji u cilju poboljšanja njene sušivosti. Sušila ubrzavaju sušenje tiskarskih boja koje se suše oksipolimerizacijom. Sušila su po kemijskom sastavu organski spojevi, najčešće oleati, rezinati i naftenati kobalta (Co), mangana (Mn) i olova (Pb). Kod svih sikativa na sušenje djeluju kationi, dok o anionima ovisi topivost sikativa u vezivu boje. Sušila su efikasna samo kad se upotrebljavaju u bojama koje sadrže ulja ili veziva koja oksidiraju i koja time na površini otiska tvore suhi film. Sušila se međusobno razlikuju po brzini i načinu sušenja [8].

**Dodaci tiskarskim bojama** poboljšavaju određena svojstva boja ili otklanjaju nepoželjne pojave u tisku. Dodaci se trebaju lako povezati (inkorporirati) s vezivom ili gotovom tiskarskom bojom. Dodaci tiskarskih boja su voskovi, ulja i masti, antioksidansi, tvari za močenje, mirisi itd. Optimalnim dodatkom voska, ulja ili masti može se dobro „skratiti“ boja, tj. može joj se smanjiti ljepljivost, smanjiti sljepljivanje otisaka te povećati otpornost otisaka na otiranje. Antioksidansi se dodaju tiskarskoj boji jer brzo apsorbiraju kisik i time usporavaju oksidaciju sušivih ulja te na taj način inhibiraju sušenje boje u ambalaži ili na valjcima tiskarskog stroja. Tvari za močenje pospješuju dispergiranje pigmenata u vezivu i inhibiraju zgrušavanje (aglomeraciju) pigmenata ako ih se dodaje u optimalnoj količini. Mirisi u tiskarskoj boji uklanjaju neugodne mirise ulja, sušila i sličnog. Miris u boju dodaje proizvođač ili grafičar neposredno prije otiskivanja. Dodatak mirisa, međutim, nipošto ne bi smio promijeniti reološka svojstva tiskarskih boja [8].

### **2.1.2 Sušenje tiskarskih boja**

Za kvalitetan otisak, u svim tehnikama tiska i na svim tiskovnim podlogama, izuzetno je važno sušenje boje. Dobar otisak između ostalog je onaj otisak gdje je postignuta dobra povezanost tiskarske boje s podlogom na koju se tiska. Otisak mora biti otporan prema otiranju, brisanju i pritisku, a to je u direktnoj vezi sa sušenjem boje. Adekvatno sušenje utječe i na pravilan rad strojeva za tisak jer se boja ne smije sušiti na valjcima za vrijeme tiska ili u periodima kratkog mirovanja stroja. Pojam sušenje uključuje sve procese koji se odvijaju nakon prijenosa boje na tiskovnu podlogu, omogućavajući čvrstu vezu boje s podlogom te odgovarajuću doradu i uporabu samog grafičkog proizvoda. U konvencionalnim tehnikama tiska otiskuje se s tekućom bojom na tiskovnu podlogu nakon čega se boja treba osušiti u što kraćem vremenskom roku, odnosno iz tekućeg prijeći u kruto agregatno stanje. Sušenje otisnutog sloja boje općenito dijelimo u dvije faze: početno sušenje (prihvatanje) boje (*engl. set*) kojim otisak postaje „suh na dodir“ te završno otvrdnjavanje (*engl. dry*) kojim otisak postaje potpuno suh. Sušenje boje popraćeno je brojnim kemijskim i fizikalnim procesima koji ovise o svojstvima veziva. Razlikujemo sušenje koje nastaje oksidacijom (oksidacijom) veziva, sušenje prodiranjem (upijanjem) veziva u tiskovnu podlogu, sušenje hlapljenjem (isparavanjem) otapala i sušenje taloženjem. To su ujedno 4 glavna mehanizma pomoću kojih se suše tiskarske boje iako se u praksi boje suše kombinacijom navedenih mehanizama. Brzina sušenja ovisna je o svojstvu sušivosti boje (vrsta i sastav veziva), svojstvima upojnosti podloge na koju se tiska (neupojna, slabo upojna, upojna), debljini otisnutog sloja boje, konzistenciji boje, doziranju boje na stroju, vlažnosti i temperaturi (mikroklimi) radioničke atmosfere, visini kupa u kojem je otisnuta naklada izložena sušenju. Temperatura je vrlo važan čimbenik, općenito, viša temperatura pogoduje sušenju iz sljedećih razloga: ubrzava proces polimerizacije, smanjuje viskozitet boje čime pospješuje prodiranje te ubrzava hlapljenje otapala [9].

## **2.2 Površinska svojstva papira**

Papir je porozni materijal izrađen od celuloznih vlaknaca i njihovih fragmenata koji se međusobno isprepleću tako da tvore mrežastu strukturu. Osim celuloznih vlaknaca papir najčešće sadrži punila, keljiva i dodatke koji mu mogu poboljšati svojstva [10]. Površinska

svojstva papira kao što su primjerice upojnost, glatkost i hrapavost nemaju prevelikog utjecaja na nesmetano odvijanje tiska (*engl. Runnability*), ali uvelike utječu na konačnu kvalitetu otiska (*engl. Printability*) [11].

Pod glatkošću neke površine podrazumijevamo približavanje te površine idealnoj ravnini. Devijacija od idealne ravnine je hrapavost. Glatkost ovisi o rasporedu vlaknaca na površini, količini i finoći punila, stupnju mljevenja i načinu glačanja papira. Na površini papira razlikujemo mikro i makro neravnine. Mikro neravnine nastaju zbog nejednolikosti neravnina vlaknaca i čestica punila koje leže na površini lista. Makro neravnine nastaju stvaranjem valova ili nakupljanjem vlaknaca na površini papira. Istraživanja su pokazala da manje gladak, mekši papir daje bolji otisak od papira koji je glađi, ali tvrd [12].

Otiranje je problem koji se najčešće javlja kod papira s relativno grubom strukturom, kojima je površina znatno abrazivnija u usporedbi s površinom glatko premazanih papira. Ako su otisnute površine u kontaktu te se trljaju pod pritiskom, može doći i do čupanja boje s podloge.

Sjajno premazani papiri odlikuju se visokim sjajem i glatkom, ravnom površinom. Njihovi premazi se sastoje od finih pigmenata koji im omogućavaju glatku površinu niske abrazivnosti. Mat premazani papiri kao i nepremazani papiri općenito, posjeduju mat površinu malog sjaja. Njihovi premazi se sastoje od grubih čestica pigmenata, nepravilnog oblika koje raspršuju zrake svjetlosti u svim smjerovima. Površina tih papira je znatno abrazivnija, grublje strukture što rezultira jačim otiranjem tiskarske boje koja je u trenutku dodirivanja dviju tiskovnih podloga, jedini sloj između njih. Za vrijeme i nakon procesa tiska otisnuta tiskovna podloga dolazi u kontakt s mnogim površinama, najčešće drugim tiskovnim podlogama prilikom čega je izložena određenom stupnju abrazivnog trošenja. U tom trenutku otpornost tiskarske boje i papira prema otiranju dolazi do izražaja. Površina mat papira zbog svoje nepravilne, grube površine pune izbočina i udubljenja izrazito je sklona oštećenjima [13, 14].

### **2.3 Važnost provođenja testa otiranja**

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. Međutim, dobra otpornost prema otiranju danas se traži od gotovo svakog otisnutog grafičkog proizvoda uključujući i dnevne tiskovine [15].

Testovi otiranja provode se u svrhu pokazatelja ponašanja otisaka u različitim uvjetima i okolnostima rukovanja otisnutim materijalom.

Otisnuti materijal, a s njim u kombinaciji i tiskarska boja trebala bi posjedovati određenu otpornost prema abrazivnom trošenju. Do problema s otiranjem najčešće dolazi zbog toga što ne postoji standardna boja koja bi se mogla otisnuti na svim vrstama papira, odnosno tiskovnim podlogama. Zbog toga tiskar mora odabrati posebno formuliranu boju dobre otpornosti prema otiranju ili pak onu za koju je već ustanovljeno da ima dobru otpornost prema otiranju u kombinaciji s odabranom tiskovnom podlogom.

Kako bi se bojama povećala otpornost prema otiranju, najčešće im se u formulaciju dodaju voskovi ili pak sušiva ulja poput lanenog ulja.

Međutim, ako primjerice dodamo premalu količinu voska vrlo je vjerojatno da boja neće imati dobru otpornost prema otiranju dok će preveliki dodatak voska najvjerojatnije tiskarsku boju previše omekšati što se također negativno manifestira u tisku.

Na otiranje također može utjecati i vrsta, količina i veličina čestica pudera kojima se otisci pudraju u završnoj fazi tiskarskog procesa radi sprečavanja sljepljivanja otisnutih araka. Preporuča se izbjegavanje korištenja velikih i grubih čestica pudera.

Kako bi otisci imali dobru otpornost prema otiranju, boja se mora do kraja osušiti. 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 [16].

## **2.4 Kromogene boje**

Kromizam je proces pri kojem dolazi do reverzibilne ili ireverzibilne promjene boje nekog spoja. Kromogeni materijali su vrlo učinkoviti i uporabljivi, dajući mogućnost brze vizualne ocjene te ne zahtijevaju dodatnu opremu za kontrolu i provjeru. U većini slučajeva kromizam se temelji na promjeni elektronskog stanja u molekuli. Poznati su prirodni i sintetički dobiveni kromogeni materijali [17].

Kromogene tiskarske boje su one boje koje mijenjaju obojenje, odnosno ton boje pod nekim vanjskim utjecajem. Sve izraženiju primjenu imaju u području tzv. „pametne ambalaže“, ali i

u području sigurnosnog tiska te se pretpostavlja kako će njihova primjena i dalje rasti. Kromogeni materijali, od kojih se takve boje sastoje, mijenjaju obojenje prilikom vanjskog podražaja. Prema tome, kromogene tiskarske boje možemo podijeliti s obzirom na podržaje na koje reagiraju, a neke od njih su: termokromne boje (mijenjaju obojenje pod utjecajem promjene temperature), fotokromne boje (mijenjaju obojenje pod utjecajem svjetla), elektrokromne boje (mijenjaju obojenje pod utjecajem promjene električnog polja u blizini), halokromne boje (mijenjaju obojenje pod utjecajem promjene pH vrijednosti), piezokromne boje (mijenjaju obojenje pod utjecajem pritiska), biokromne boje (mijenjaju obojenje pod utjecajem biokemijske reakcije). Od ovih navedenih vrsta, po učestalosti primjene najdominantnije su fotokromne i termokromne boje. Osim podjele s obzirom na podražaj koji uzrokuje promjenu, kromogene se boje mogu podijeliti i s obzirom na trajanje same promjene, pa se prema tom kriteriju one dijele na reverzibilne i ireverzibilne boje. Reverzibilne boje mijenjaju obojenje samo za vrijeme trajanja podražaja (uzroka promjene), dok ireverzibilne boje zadržavaju promijenjeno obojenje i nakon što podražaj prestane djelovati.

Za primjenu takvih boja u tisku, kromogene je materijale uglavnom potrebno zaštititi mikrokapsulama koje su i do 10 puta veće od konvencionalnih pigmenata u tiskarskim bojama. Za razliku od pigmenata, mikrokapsule su u potpunosti netopive i inertne što ima dodatan utjecaj na trajnost boje i otiska. Kao što je već spomenuto, kromogene se boje koriste u tzv. „pametnoj ambalaži“ i to za izradu vremensko-temperaturnih indikatora (TTI- „time and temperature indicators“) i indikatora svježine (FI- „freshness indicators“). Također se mogu koristiti i u kombinaciji s RFID tehnologijom (Radio frekventna identifikacijska tehnologija) za izradu složenijih etiketa, kao nositelja velikog broja podataka o prizvodu, njegovom skladištenju, transportu i roku trajanja [18].

## **2.5 Termokromne boje**

Termokromne boje spadaju u skupinu kromogenih tiskarskih boja i mijenjaju obojenje prilikom izlaganja određenim temperaturama. Ta promjena je klasificirana kao dio termokromizma, što je bilo koja promjena u boji uslijed izloženosti određenoj temperaturi.

Boje koje mijenjaju obojenje pod određenim okolnostima sve više pronalaze primjenu u granama kao što su zaštitni tisak, zaštita brenda, pametnoj ambalaži, marketingu i tisku



noviteta. Počevši sa novitetima kao što su bili tzv. prsteni raspoloženja u ne tako davnim 70-ima, postepeno se sve više proizvoda pojavljivalo na tržištu kod kojih je termokromna boja činila funkcionalni dio samoga proizvoda.

Pametna ambalaža koja bi bila opremljena indikatorima izrađenih od ireverzibilnih termokromnih boja bi mogla dokazati održavanje potrebnih temperaturnih uvjeta tijekom skladištenja ili transporta osjetljivih dobara kao što su temperaturno osjetljivi lijekovi ili zamrznuta hrana. Takva vrsta boja zanimljiva je i umjetnicima i dizajnerima, koji u njoj vide inspiraciju za kreiranje kreativnih dizajnerskih rješenja s mogućnostima interakcije i više funkcionalnosti.

Termokromne boje mogu biti reverzibilne (promjena boje je višekratna) i ireverzibilne (promjena boje je jednokratna i trajna). Ireverzibilne boje mogu u početku biti nebojene ili obojene, a kada ih izložimo visokim temperaturama intenzivno se oboje ili prijeđu u neku drugu boju. Kada prijeđu u drugo stanje, pri hlađenju se više ne mogu vratiti u prvobitno stanje. Obično je sustav takav da se boja počne razvijati na 65°C i u potpunosti se razvije na 90°C, iako više temperature boji daju još jači intenzitet. Najčešća primjena ireverzibilnih boja je u medicinske svrhe kao indikator da je proizvod bio pravilno steriliziran te kao indikator svježine na ambalaži namirnica koje imaju kratki vijek trajanja.

Termokromni materijali mijenjaju boju pod utjecajem temperature. U laboratorijima su se počeli pojavljivati 60-ih godina 20. stoljeća te su bili bazirani na tekućim kristalima. Korištenje i zaštita termokromnih materijala bila je komplicirana, no kada je došlo do mikrokapsulacije termokromni materijali su se brzo počeli razvijati. Pojavile su se termokromne tiskarske boje, papiri i bojila. To je prouzročilo zanimanje za termokromizam te su ubrzo bile otkrivene i druge skupine molekula koje imaju sposobnost obojenja. Među njima su bila najpopularnija leuko bojila.

Najveći komercijalni uspjeh termokromne boje su doživjele 70-ih godina s tzv. prstenom raspoloženja (*engl. mood ring*) te su tako sve više i više nove primjene dolazile na tržište u kojem su termokromne boje postale funkcionalni dio proizvoda. Jedan primjer takvog proizvoda su testeri na baterijama koji se sastoje od otisnute strukture slojeva. Jedan sloj bazira se na električno provodnoj boji, a drugi na termokromnoj tiskarskoj boji. Danas su termokromni materijali svoju praktičnu primjenu pronašli u prehrambenoj industriji kao indikatori svježine i temperature. Tako 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, a na kartonima mlijeka apliciraju se indikatori koji pokazuju da li je

mlijeko bilo prikladno skladišteno u hladnjaku. U području sigurnosnih dokumenata koriste se kako bi se jednostavno i brzo utvrdio identitet te kako bi se sakrile informacije.

U komercijalne svrhe pronađene su mnogobrojne mogućnosti primjene, od dekorativnih šalica, promotivnih letaka, ukrasnih zidnih tapeta pa sve do nakita.

Termokromizam je svoju primjenu pronašao i u tekstilnoj industriji, no tekstil proizveden od termokromnih vlakanaca još se nije pojavio na tržištu. Termokromizam se najpovoljnije aplicira na tekstil tehnikom sitotiska, korištenjem termokromnih boja. Pametni materijali od velikog su interesa i za umjetnike i dizajnere koji su inspirirani mogućnostima za razvoj novih smjerova kreativnog dizajna. Termokromni materijali omogućuju im stvaranje jedinstvenog dizajna velikih mogućnosti. Termokromizam se može pojaviti u različitim klasama polimera: termoplastima, duroplastima, gelovima, tiskarskim bojama, bojilima i svim tipovima premaza. Sam polimer s ugrađenim termokromnim aditivom može izazvati termokromni efekt. S fizikalnog stajališta porijeklo termokromnog efekta može biti raznoliko. Može se pojaviti kao karakteristika promjene u refleksiji svjetlosti, apsorpciji i/ili raspršenju s temperaturom.



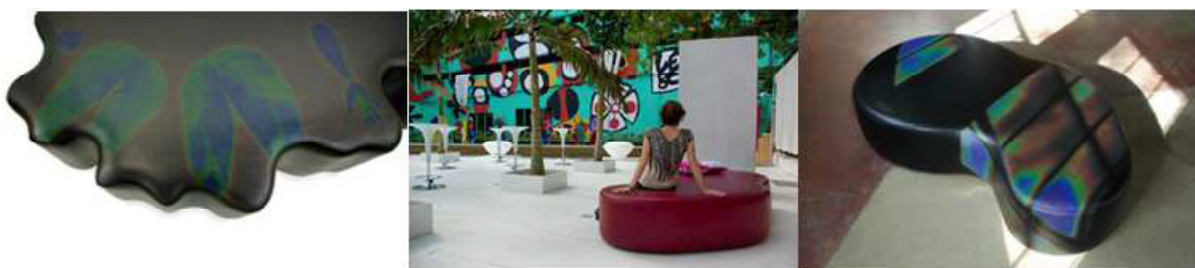
*Slika 2. Primjene termokromnih boja*

Termokromne tiskarske boje postaju sve važnije za razne primjene u grafičkoj industriji, kao što su pametna ambalaža, sigurnosni tisak i marketinški promotivni materijali kod kojih je sve traženija jedinstvena vrijednost produkta. Budući da se ove boje mogu nalaziti u dva optička stanja, obojenom i neobojenom, neki ih nazivaju i dinamičkim bojama.

Tiskarske boje s višom aktivacijskom temperaturom daju stabilnije i intenzivnije boje. Termokromne boje mogu imati različite temperature aktivacije ( $T_A$ ) prilikom kojih mijenjaju obojenje, primjerice:  $10^\circ\text{C}$  (hladno),  $33^\circ\text{C}$  (tjelesna temperatura) i  $45^\circ\text{C}$  (toplo). Na tržištu je dostupno nekoliko vrsta termokromnih boja, a neke od njih su boje na bazi otapala, boje na bazi vode i UV boje te se uglavnom koriste za sitotisak, offset i fleksotisak. Dva osnovna tipa termokromnih tiskarskih boja su boje na bazi leuko bojila (najčešće se koriste) te boje na bazi tekućih kristala [17].

### 2.5.1 Termokromne boje na bazi tekućih kristala

Termokromne boje na bazi tekućih kristala mogu biti otisnute na raznim materijalima, a za što bolji vizualni efekt boje preporuča se promatranje nasuprot crnoj pozadini. Kristali su krutine čije su molekule u nemogućnosti gibanja, no molekule tekućih kristala mogu se međusobno kretati. Do toga dovodi lagano zagrijavanje kojim započinje narušavanje geometrije te se pojavljuju promjene u valnim dužinama reflektiranog svjetla i kristali mijenjaju boju. Tekući kristali obično omogućuju kontinuirano mijenjanje spektra boja u određenom rasponu temperature, a hlađenjem se kristali vraćaju u svoju prvobitnu boju [17].

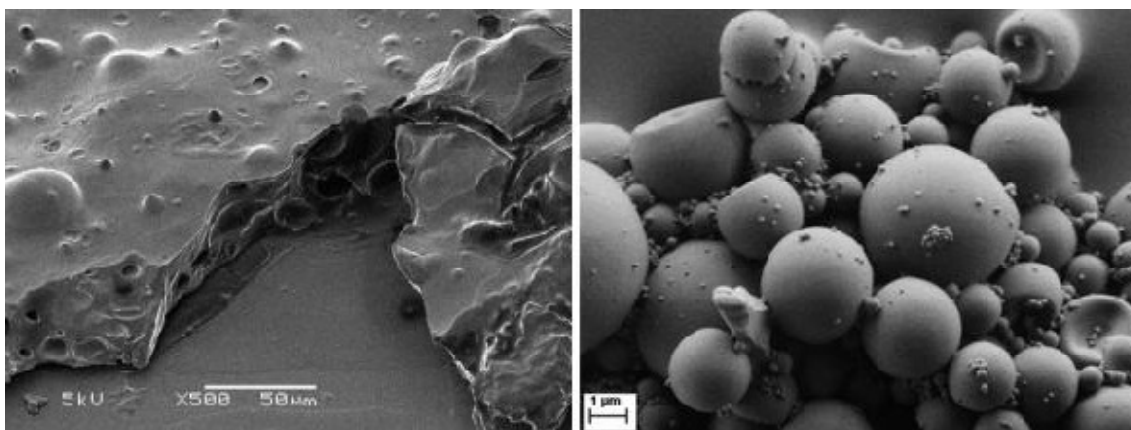


Slika 3. Primjena termokromnih boja na bazi tekućih kristala u dizajnu garniture za sjedenje

### 2.5.2 Termokromne boje na bazi leuko bojila

Reverzibilni termokromni organski materijali najčešće se sastoje od najmanje tri komponentne, a to su bojila (koloranti), kolor razvijajući i otapalo. Za postizanje željenog efekta te su komponente pomiješane u definiranim omjerima i obično su ukapsulirane u svrhu zaštite. Promjena boje pojavljuje se kroz dvije reakcije, odnosno između bojila i razvijajuća te između otapala i razvijajuća. Prva od ove dvije interakcije prevladava pri nižim temperaturama na kojima se otapalo nalazi u krutom stanju, tvoreći obojenje u kompleksu bojila i razvijajuća. Povećanjem temperature, otapalo prelazi u tekući oblik i uzrokuje raspad kompleksa bojila i razvijajuća, što sustav pretvara u bezbojno stanje. Prilikom ponovnog hlađenja, otapalo se stvrdne, a razvijajući i bojilo se vrata u prvobitno stanje. Kod ireverzibilnih boja na bazi leuko bojila, nema vraćanja u prvobitno stanje. Druga interakcija između razvijajuća i otapala smatra se najbitnijom za postizanje termokromnih karakteristika s organskim materijalima. 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  $-15^{\circ}\text{C}$  do  $65^{\circ}\text{C}$ .

Neke leuko tiskarske boje se mogu mijenjati iz jedne u drugu boju, a to se postiže bojama koje su kombinacija leuko bojila i procesnih tiskarskih boja. Također, moguće je korištenje mješavine termokromnih pigmenata različitih temperatura topljenja, gdje jedna komponenta mješavine blijedi postajući bezbojna otapanjem, a boja se mijenja u onu preostalu komponentu koja ima pigment više temperature topljenja. Budući da leuko bojila apsorbiraju svjetlo, moraju biti otisnute na što svjetlijoj podlozi, najbolje na bijeloj [17].



Slika 4. SEM snimka termokromne boje na bazi tekućih kristala (lijevo) i leuko bojila (desno)

Tablica 1. Vrste termokromnih boja s obzirom na tehniku tiska i prikladne tiskovne podloge [26]

Vrste termokromnih boja	Prikladne tiskovne podloge	Karakteristike
Epoksi boje za sitotisak	Staklo i keramika; također se može tiskati na plastici i metalu (aluminij, nehrđajući čelik)	Jednom osušena, boja pokazuje veliku otpornost na abraziju i deterdžente. Pri tisku na staklo, boja u većini slučajeva stvara otisak otporan na sredstva za pranje posuđa.
Boje za tampon tisak	Prikladne tiskovne podloge uključuju plastične materijale (ABS, poliamidi, polikarbonati, prethodno obrađeni polietilen- PE i polipropilen- PP), papir, karton, staklo i keramiku	Na brojnim tiskovnim podlogama ove boje imaju prihvatljivu otpornost na abraziju ukoliko je sušenje provedeno optimalnim uvjetima.
Offsetne boje za tisak na arke	Upojni papir i kartoni (ljepenke)	Aplikacije kao što su etikete, naljepnice, karte i ostalo
Boje za sitotisak temeljene na otapalima	Velik raspon tiskovnih podloga uključujući plastiku	Boja pokazuje dobru otpornost na otiranje

	(obrađeni polietilen i obrađeni polipropilen, polikarbonat), premazani papir i karton (ljepenka)	
Uv sušeće fleksografske boje	Velik raspon tiskovnih podloga uključujući plastiku (TC polietilen i TC polipropilen), papir, premazani papir i karton (ljepenka)	Prikladan za tisak <i>in-line</i> na velikom rasponu tiskovnih podloga za aplikacije kao što su etikete, naljepnice, karte, kartone/ljepenke, omogućuju da je boja potupno suha nakon izlaganja UV svjetlu
Uv sušeće sitotiskarske boje	Velik raspon tiskovnih podloga uključujući papir, plastiku (polietilen, TC polipropilen), premazani papir i karton (ljepenka)	Pokazuje dobru otpornost na otiranje; ako se traži visok stupanj otpornosti tada se preporuča lakiranje ili laminiranje otisaka zaštitnim slojem
Boja za fleksotisak bazirana na vodi	Upojni papir i karton (ljepenka)	Prikladna za tisak <i>in-line</i> na papir, karton i ljepenuku za aplikacije kao što su etikete, naljepnice, karte i panele; pokazuje dobru otpornost na otiranje na upojnim podlogama; lak ili laminate treba upotrijebiti ako se zahtijeva visok stupanj otpornosti ili ako će proizvod nakon tiskanja biti izložen u vlažnim uvjetima
Boja na bazi vode za bakrotisak	Upojni papiri i karton (ljepenka)	Za aplikacije kao što su etikete, naljepnice, karte i kartone
Tekstilna boja za sitotisak bazirana na vodi	Tekstilne podloge	Po tiskanju posjeduju mat efekt; boja pokazuje visoku postojanost prema suhim i mokrim uvjetima, kao i otpornost na ručno pranje ako je osušena prema preporukama; ne smije se izlagati strojnom pranju
Sitotiskarska boja bazirana na vodi	Upojni papir i i karton (ljepenka)	Za aplikacije kao što su etikete, naljepnice, karte i kartone; otisci posjeduju mat efekt

### **2.5.3 Postojanost termokromnih boja**

Budući da su termokromni pigmenti mikrokapsulirani, ne toleriraju se oštri mehanički uvjeti. Na funkcionalnost termokromnih boja mogu nepovoljno utjecati UV zračenje, temperatura iznad otprilike 200 - 230 °C i agresivna otapala. Budući da su termokromne boje bitno osjetljivije na vrlo visoke temperature, proizvodi koji sadržavaju takve materijale moraju biti zaštićeni od neželjenog zagrijavanja. Njihova slaba postojanost na UV zračenje ograničava proizvode da budu na dulje vrijeme izloženi vanjskim uvjetima. Problematika primjene termokromnih bojila uvelike je vezana uz otpornost na svjetlo. U usporedbi s konvencionalnim bojama, termokromne boje imaju vrlo slabu postojanost na UV zračenje. Tako da se danas većinom koriste samo za primjene koje neće biti izložene direktno sunčevom svjetlu. Osim toga, veliku važnost igra i sam materijal na koji se otiskuje. Važno je da podloga na koju se otiskuje ima iste karakteristike kao i sama osnova boje. To znači da bi podloga na koju se otiskuje trebala imati neutralan pH. Najveći problemi vezani su uz papir. Mnogo papira koji se danas proizvode imaju relativno nizak pH i mogu utjecati na mikrokapsulu. Nizak pH može uzrokovati ozbiljno propadanje kapsule u samo nekoliko tjedana. Zbog toga je važno uzeti u obzir ovaj kemijski aspekt i koristiti papir s neutralnom pH vrijednosti kada god je to moguće [17].

### **2.5.4 Tehnike tiska termokromnih boja**

Termokromne tiskarske boje s mikrokapsuliranim „pigmentom“ danas se mogu otiskivati svim glavnim tehnikama tiska: offsetom, sitotiskom, fleksotiskom i dubokim tiskom. Osim gotovih pripremljenih tiskarskih boja na izboru su i prah, odnosno pigmenti, ali i disperzije. Kao boje za plastične mase koriste se i one u obliku polimernih zrna. Pokritnost termokromnih boja je slaba pa su potrebni deblji nanosi boje kako bi se dobio bolji rezultat. Jedan nanos boje obično nije dovoljan kako bi se prekrila podloga. Najbolje rezultate najčešće daje sitotisak, zatim duboki tisak, fleksotisak, dok najslabije rezultate daje offsetni tisak. Razlog za to je debljina nanosa koju možemo postići određenom tehnikom tiska. Sitotisak je tehnika tiska kojom se boja protiskuje kroz mrežicu na materijal koji želimo otisnuti. Glavna prednost sitotiska je ta što je tom tehnikom moguće otiskivati na skoro bilo koji materijal i format pa je i područje primjene vrlo široko. Koristi se u komercijalne svrhe kao što su plakati, poster, naljepnice, znakovi, etikete itd. Također, koristi se u ambalaži, za tisak na staklenim i plastičnim kutijama, kao i na papirnatim i plastičnim vrećama. U

industrijskim primjenama otiskuje se na površinu CD-a i DVD-a, na keramičke pločice, prijenosna računala i na komponente tiskane elektronike kao što su RFID oznake. Jedno od glavnih tržišta sitotiska je i tekstilna industrija, a također ovo je i tehnika koju koriste mnogi umjetnici za stvaranje umjetničkih djela.

Kod sitotiska je moguće primjeniti vrlo debeli sloj boje. Normalne vrijednosti su oko 20 - 100  $\mu\text{m}$ , u usporedbi s offsetnim tiskom gdje je debljina nanosa oko 0,5 - 2  $\mu\text{m}$ . Budući da su termokromne tiskarske boje pri specifičnoj temperaturi obojene, a iznad nje obezbojene, moguće ih je kombinirati s drugim termokromnim bojama i/ili s konvencionalnim bojama te na taj način povećati i opseg boja.

Offsetni tisak je glavni predstavnik plošnog tiska. On pripada indirektnom tisku budući da se slika s tiskovne forme na tiskovnu podlogu prenosi offsetnim cilindrom. Zbog toga je potrebno da su čestice pigmenata offsetnih boja manje nego one u sitotiskarskim bojama, jer na taj način imaju i veću mehaničku stabilnost. Kod termokromnih tiskarskih boja situacija je ista, termokromne offsetne boje imaju manje kapsule nego sitotiskarske termokromne boje.

Kod offsetnog tiska, tiskovne i slobodne površine su praktički u istoj ravnini. Tiskovne površine na tiskovnoj ploči su oleofilne i hidrofobne. Slobodne površine na tiskovnoj ploči su hidrofilnog i oleofobnog karaktera. Ovaj efekt se temelji na fizikalnim svojstvima kontaktnih površina. Na takvim uzorcima mogu se izvršiti spektrofotometrijska i denzitometrijska mjerenja boje. Osim toga, može se ispitati i otpornost na mehanička oštećenja, adhezija boje, sjaj, transfer boje na podlogu (u  $\text{g}/\text{m}^2$ ) te postojanost na vanjske utjecaje i kemikalije [17].

### **3 EKSPERIMENTALNI DIO**

#### **3.1 Plan rada i metodologija istraživanja**

Unutar ovog rada ispitana je otpornost termokromnih otisaka na otiranje. Svi uzorci su prije ispitivanja klimatizirani u standardnim uvjetima po ISO standardu ( $23 \pm 1$  °C,  $50 \pm 2\%$  relativne vlažnosti zraka). Otiskivanje se izvršilo na različitim papirnatim tiskovnim podlogama (papiri i polukartoni) kojima su prije samog tiska određena osnovna svojstva poput debljine, gramature i glatkosti, koju smo odredili metodom po Bekk-u.

Test ispitivanja otpornosti otisaka na otiranje proveden je na tribometru Hanatek kod kojeg se koristi sustav rotacije disk na disk, gdje se pod gornji, manji disk stavlja ispitivani otisak, a na donji, veći disk bijeli nepremazani offsetni papir. Ispitivanje je provedeno uz prethodno definiran pritisak i broj okretaja (otiranja). Uzorci su dodatno ispitani i na otpornost prema struganju (*engl. scratch test*).

Nakon završenog ispitivanja uzorci su vizualno procijenjeni pod standardnim dnevnim svjetlom (Iluminant D 65) u za to prilagođenom Macbeth Judge II uređaju koji predstavlja jedinstveni sustav za vrednovanje boja, a pruža pet različitih izvora svjetlosti [19]. Osim vizualne procjene otiranja, na istim otiscima su izvršena i kolorimetrijska mjerenja, prije i nakon njihovog izlaganja otiranju, kako bi se eventualnom promjenom u obojenju preciznije utvrdila oštećenja na otiscima.

Rezultati istraživanja prikazani su u tablicama pomoću kojih je provedena njihova usporedba te je na koncu donesen zaključak istraživanja.

#### **3.2 Korišteni materijali**

Za otiskivanje su odabrana dva sjajno premazana papira i tri nepremazana papira (polukartona). U tablici 2. prikazane su osnovne karakteristike odabranih tiskovnih podloga (gramatura, debljina i specifični volumen).



Tablica 2. Osnovna svojstva tiskovnih podloga

Vrsta tiskovne podloge	Gramatura (g/m <sup>2</sup> )	Debljina (mm)	Specifični volumen (cm <sup>3</sup> /g)
Sjajno premazani papir	115	0,087	0,44
Sjajno premazani polukarton	200	0,173	1,50
Nepremazani papir	140	0,159	1,14
Nepremazani polukarton žuti	240	0,304	1,27
Nepremazani polukarton smeđi	240	0,343	1,43

Tiskarska boja koja se otiskivala na odabrane tiskovne podloge bila je offsetna termokromna boja namijenjena tisku na arke, proizvođača CHAMELEON®. Odabrana termokromna boja je boja na uljnoj bazi s leuko bojilima kao nositeljima obojenja. Ovu boju karakterizira reverzibilna promjena obojenja, pri čemu se otisak nalazi u potpuno obojenom stanju 3°C ispod aktivacijske temperature, a iznad temperature aktivacije prelazi u obezbojeno stanje. Aktivacijska temperature korištene boje iznosila je 27°C.

Na upojnim tiskovnim podlogama ove boje pokazuju relativno dobru stabilnost te otpornost prema otiranju. Kako bi im se dodatno povećala otpornost prema otiranju preporuča se lakiranje otisaka. Ove boje nisu stabilne kod izlaganja vanjskom dnevnom svjetlu. Preporuča ih se koristiti u aplikacijama koje se minimalno izlažu svjetlu da se izbjegne degradacija izazvana UV zračenjem. Ukoliko se otisci izlažu vanjskoj svjetlosti preporuča se premazivanje UV zaštitnim lakom. Rok trajanja ovih termokromnih boja je 12 mjeseci.

Ove termokromne boje nisu pogodne za tisak tzv. „skrivenih informacija“ gdje se apliciraju na već otisnuti „skriveni“ sadržaj (bazni otisak) koji se prikazuje jedino ako se termokromna boja aktivira, tj. obezboji. Razlog tome su relativno tanki nanosi boje koji se postižu u offsetnom tisku. Za takvu vrstu aplikacija preporuča se korištenje sitotiskarskih termokromnih boja kojima se na otisku postižu deblji nanosi. Općenito je preporuka da se ove boje u standardnom offsetnom tisku tiskaju u nekoliko slojeva, kako bi se postigao zadovoljavajući intenzitet obojenja [20].

Tablica 3. Svojstva termokromnih boja

Udio pigmenata (%)	30±1,5
Veličina pigmenata (µm)	95% manje od 6
Udio krute tvari (%)	90±2,0
Otapala	Mineralni razrjeđivač (špirit)
Viskoznost (Pas)	15 - 18

### 3.3 Korišteni uređaji i metode

Ispitivanje glatкости papira prema TAPPI standardu T479 provedeno je na uređaju PTI-Line Bekk (slika 5).



Slika 5. Uređaj PTI-Line Bekk

Uređaj je namijenjen mjerenju glatкости papira i sličnih materijala prema Bekk metodi. Upravljanje uređajem vrlo je jednostavno zahvaljujući zaslonu osjetljivom na dodir. Ispitivanje se provodi tako da se uzorak stavlja na staklenu pločicu iznad koje se nalazi mjerna glava, s ispitivanom stranom prema dolje. Pritiskom na tipku start na uzorak se spušta mjerna glava pritišćući uzorak na staklenu pločicu masom od 10 kg. Potom se, pomoću vakuumske pumpe, isprazni spremnik za zrak do ciljanog tlaka od 50.7 kPa. Ovisno o hrapavosti ispitivanog uzorka, preostali zrak između površine papira i staklene pločice- usisava se u spremnik- sve dok tlak ne padne na 48.0 kPa. Vrijeme potrebno da se usiše potrebni volumen zraka (10 ml) kako bi se postigao tlak u spremniku od 48.0 kPa- mjeri se u

sekundama. Uređaj posjeduje jednu mjernu glavu za ispitivanje glatкости papira i sličnih materijala prema navedenim standardima. Sadrži integrirano računalo i zaslon za grafički prikaz rezultata. Uređaj je automatiziran i može raditi s 3 različita volumena zraka: 10 ml (1/1), 1 ml (1/10), 0.5 ml (1/20). Instrument daje rezultate s točnošću od 0.01 sekundi, a mjerenje se izvodi na mjernom području veličine 10 cm<sup>2</sup>. Ovim se ispitivanjem određuje glatкость površine papira dok se on nalazi pod umjerenim pritiskom. Ispitivanje se izvodi, prema TAPPI standardu T 479, na 5 uzoraka (najmanjih dimenzija 50 x 50 mm) sa svake strane (donje- sitove i gornje- pustene). Broj glatкости prema BEKKu izražava se u sekundama. Što je taj broj veći to je površina papira glađa. Kod nekih papira radijalno strujanje zraka može negativno utjecati na rezultat [21, 22, 23].

Tablica 4. Tehničke karakteristike uređaja PTI-Line Bekk

Električni priključak	110 - 230 V / 50 - 60 Hz
Priključak vode	Ne
Komprimirani zrak	400 - 600 kPa
Dimenzije	(v) 27 x (š) 68 x (d) 60 cm

Otiskivanje papira provedeno je na stroju Prufbau Multipurpose Printability Testing System (slika 6).



Slika 6. Uređaj Prufbau Multipurpose Printability Testing System

Uređaj je korišten u svrhu izrade probnih otisaka. Ovaj uređaj služi za probno otiskivanje i ispitivanje interakcije boje i tiskovne podloge pod različitim uvjetima (tlak, temperatura, brzina). Koristi se za otiskivanje na raznim materijalima. Tehničke značajke ovog uređaja su kontrola brzine tiska te kontrola debljine nanosa boje. Za potrebe otiskivanja na valjke za razribavanje s preciznom laboratorijskom pipetom nanosilo se  $1,5 \text{ cm}^3$  boje dok se otiskivanje provelo pri pritisku od 600 N. Nakon svakog otiskivanja na valjke za razribavanje dodalo se  $0,1 \text{ cm}^3$  boje kako bi osigurali isti nanos boje na svim uzorcima. Otisci su se sušili na zraku, a test otiranja proveden je nakon isteka od minimalno 8 dana kako predlaže standard BS 3110 [23].

Za ispitivanje otpornosti otisaka prema otiranju po standardu BS 3110 korišten je uređaj Hanatek RT4 Rub and Abrasion Tester (slika 7).



*Slika 7. Uređaj 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 Hanatek čine dva diska različitih polumjera koji su cijelom površinom u dodiru. Pogonjeni elektromotorom diskovi se 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 otisaka prenosi se na bijeli offsetni papir. Tlak koji djeluje na uzorke iznosi 0.5, 1.0 i 2.0 p.s.i. (*engl. poundpersquareinch*), što u SI sustavu iznosi 3.5, 6.9 i 13.8 kPa. Cijev s

dovodom zraka (fen) skida čestice prašine s uzorka tijekom ispitivanja. Nakon određenog broja okretaja/ otiranja (20, 40) uređaj se zaustavlja.

Uzorke i papire za otiranje nakon otiranja 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.

Istim uređajem možemo ispitati i otpornost prema struganju (*engl. scratch test*), kao i otpornost otisaka, boja i lakova prema različitim otapalima (*engl. solvent test*), sapunima, uljima i slično.

Prilikom ispitivanja otpornosti otisaka prema struganju, standardni gornji disk presvučen spužvastim materijalom zamjenjuje se specijalnim diskom koji na svojoj površini posjeduje znatno abrazivniji materijal- žičanu spužvicu. Tijekom izvođenja testa žičana spužvica struže po otisnutom materijalu, a po završetku se otisak vizualno procjenjuje. Ovakav test provodi se najčešće u svrhu procjene otpornosti lakova i premaza koji se apliciraju na otisnuti materijal prema abrazivnom trošenju kojemu su ambalažni otisci izloženi tijekom transporta [16, 23, 24].

Tablica 5. Tehničke karakteristike Hanatek uređaja

Standardi	BS 3110
Tlak	0.5, 1.0 i 2.0 p.s.i.
Brzina	60 RPM
Težina	10 kg maksimum
Dimenzije	(v) 420 x (š) 350 x (d) 250 mm

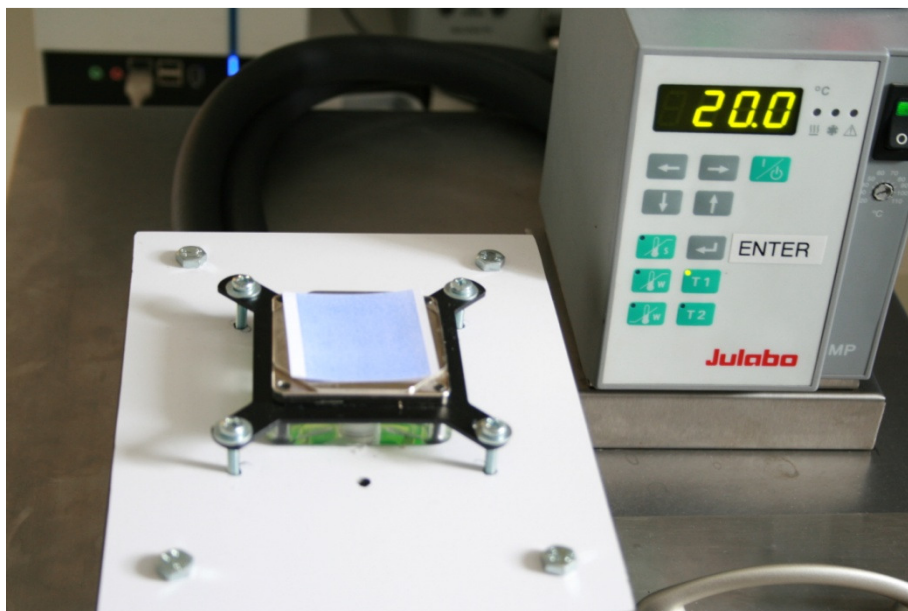
U ovom radu osim standardne vizualne procjene otiranja izvršila su se i spektrofotometrijska mjerenja promjene u obojenju otisaka nakon njihovog izlaganja otiranju. Važno je napomenuti da se prvom metodom prati prijenos tiskarske boje na podlogu za otiranje- bijeli papir, dok drugom metodom pratimo promjene obojenja na samom otisku.

Za mjerenje kolorimetrijskih vrijednosti otisnutih boja koristili smo spektrofotometar Ocean OpticsUSB 2000+ (slika 8). Prilikom mjerenja uzorak je bio prislonjen na metalnu pločicu

koja je osiguravala konstantnu temperaturu uzorka ( $20^{\circ}\text{C}$ ) za cijelo vrijeme mjerenja kako ne bi došlo do promjena u obojenju. Uređaj s metalnom pločicom radi na principu grijanja i hlađenja s termostatskim cirkulatorom (slika 9). Otisnuti uzorci mjereni su prije i nakon izlaganja otiranju [25].



*Slika 8. Mjerenje kolorimetrijskih promjena pomoću spektrofotometra Ocean OpticsUSB 2000+*



*Slika 9. Metalna pločica uređaja s termostatskim cirkulatorom na koji je prislonjen otisnuti uzorak kako bi se kolorimetrijsko mjerenje izvršilo na kontroliranoj konstantnoj temperaturi*



*Slika 10. Mjerenje kolorimetrijskih promjena pomoću spektrofotometra Ocean Optics USB 2000+*

Pomoću spektrofotometra Ocean Optics USB2000+ izmjerene su CIELAB vrijednosti na otisnutim uzorcima, a dobivenim rezultatima omogućeno je izračunavanje vrijednosti CIEDE 2000 prema formuli:

$$\Delta E = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'}{K_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C'}{K_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H'}{K_H S_H}\right)^2 + R_T \left(\frac{\Delta C'}{K_C S_C}\right) \left(\frac{\Delta H'}{K_H S_H}\right)}$$

Mjerenja su napravljena u CIELAB prostoru boja uz vrstu rasvjete D65 i 10° standardnog promatrača.

### 3.4 Rezultati istraživanja

#### 3.4.1 Rezultati ispitivanja glatkosti papira metodom po Bekk-u

U tablicama su prikazani rezultati ispitivanja glatkosti papira metodom po Bekku, za obje strane papira (A, B). Za otiskivanje je odabrana strana na kojoj je izmjerena manja glatkost radi preporuke proizvođača da se ove boje trebaju tiskati na upojnim tiskovnim podlogama.

Tablica 6. Rezultati ispitivanja glatkosti sjajno premazanog papira metodom prema Bekku

BEKK	GLATKOST [s]	
$\bar{x}$	1062,2	1059,4
$\sigma$	90,5	17,1
	A	B

$\bar{x}$ - aritmetička sredina deset uzastopnih mjerenja

$\sigma$ - standardna devijacija

Tablica 7. Rezultati ispitivanja glatkosti sjajno premazanog polukartona metodom prema Bekku

BEKK	GLATKOST [s]	
$\bar{x}$	326,8	188,8
$\sigma$	17,7	9,5
	A	B

$\bar{x}$ - aritmetička sredina deset uzastopnih mjerenja

$\sigma$ - standardna devijacija



Tablica 8. Rezultati ispitivanja glatkosti nepremazanog papira metodom prema Bekku

BEKK	GLATKOST [s]	
$\bar{x}$	14,2	10,4
$\sigma$	0,8	0,3
	A	B

$\bar{x}$ - aritmetička sredina deset uzastopnih mjerenja

$\sigma$ - standardna devijacija

Tablica 9. Rezultati ispitivanja glatkosti nepremazanog žutog polukartona metodom prema Bekku

BEKK	GLATKOST [s]	
$\bar{x}$	12,3	11,5
$\sigma$	0,4	0,9
	A	B

$\bar{x}$ - aritmetička sredina deset uzastopnih mjerenja

$\sigma$ - standardna devijacija

Tablica 10. Rezultati ispitivanja glatkosti nepremazanog smeđeg polukartona metodom prema Bekku

BEKK	GLATKOST [s]	
$\bar{x}$	3,8	3,8
$\sigma$	0,1	0,0
	A	B

$\bar{x}$ - aritmetička sredina deset uzastopnih mjerenja

$\sigma$ - standardna devijacija

### 3.4.2 Otiranje

#### a) Rezultati vizualne procjene otpornosti otisaka na otiranje

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 da bi na kraju mogle biti odbačene eventualne pogreške tijekom mjerenja ili odstupanja od ostalih rezultata, 40 otiranja provedeno je pri pritisku od 3,5 kPa i 6,9 kPa, dok je na najvećem pritisku (13,8 kPa) broj otiranja smanjen na pola (20).

U tablici 11. prikazani su rezultati vizualne procjene otiranja pri čemu su ocjene dodijeljene prema kriteriju:

- 1- neprimjetno otiranje otisaka
- 2- male naznake otiranja otisaka
- 3- vidljivo otiranje otisaka
- 4- izraženo otiranje otisaka
- 5- vrlo izraženo otiranje otisaka

Tablica 11. Rezultati ispitivanja otpornosti suhog otiska prema otiranju (vizualna procjena otiranja)

Vrsta tiskovne podloge	3,5 kPa 40 otiranja	6,9 kPa 40 otiranja	13,8 kPa 20 otiranja
Sjajno premazani papir	3	4	5
Sjajno premazani polukarton	3	4	5
Nepremazani papir	1	1	1
Nepremazani polukarton žuti	1	1	1
Nepremazani polukarton smeđi	1	1	1

b) Kolorimetrijske promjene na otiscima nakon izlaganja otiranju

U tablici 12. prikazane su CIE LAB vrijednosti otisnutih uzoraka prije i nakon izlaganja istih otiranju te kolorimetrijske promjene boje CIEDE 2000. Na svakom otisnutom uzorku provedena su mjerenja na 3 različita mjesta te rezultati u tablici prikazuju aritmetičku sredinu 3 mjerenja.

Tablica 12. Kolorimetrijske promjene na otiscima nakon izlaganja otiranju pri uvjetima od 3,5 kPa i 40 okretaja

Tiskovna podloga	Prije otiranja			Nakon otiranja			CIEDE 2000
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	
Sjajno premazani papir	48,97	5,53	-37,70	55,20	3,20	-31,67	6,3
Sjajno premazani polukarton	55,53	4,97	-38,1	62,93	3,17	-31,20	6,9
Nepremazani papir	63,43	4,80	-34,10	65,10	4,40	-32,90	1,4
Nepremazani polukarton žuti	57,33	-2,23	-7,17	59,27	-2,6	-4,6	2,8
Nepremazani polukarton smeđi	52,93	-0,7	-11,07	54,37	-0,97	-9,23	1,9

Tablica 13. Kolorimetrijske promjene na otiscima nakon izlaganja otiranju pri uvjetima od 6,9 kPa i 40 okretaja

Tiskovna podloga	Prije otiranja			Nakon otiranja			CIEDE 2000
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	
Sjajno premazani papir	49,90	5,40	-38,00	60,67	1,77	-26,43	10,7
Sjajno premazani polukarton	53,87	5,47	-40,93	76,37	1,77	-17,37	20,9
Nepremazani papir	63,73	4,77	-33,87	66,90	4,00	-31,17	2,7
Nepremazani polukarton žuti	57,33	-2,33	-6,47	62,13	-2,50	-1,17	6,2
Nepremazani polukarton smeđi	53,43	-0,83	-10,9	54,67	-0,93	-9,1	1,7

Tablica 14. Kolorimetrijske promjene na otiscima nakon izlaganja otiranju pri uvjetima od 13,8 kPa i 20 okretaja

Tiskovna podloga	Prije otiranja			Nakon otiranja			CIEDE 2000
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	
Sjajno premazani papir	53,97	3,55	-35,40	66,58	0,53	-17,30	13,3
Sjajno premazani polukarton	52,77	5,10	-41,50	77,13	1,69	-16,73	22,6
Nepremazani papir	61,43	4,12	-37,73	62,63	3,95	-36,35	1,1
Nepremazani polukarton žuti	59,40	-3,32	-4,45	61,13	-3,15	-1,80	2,8
Nepremazani polukarton smeđi	53,40	-1,75	-10,25	53,73	-1,77	-9,23	0,8

U tablici 15. prikazani su rezultati ukupne razlike boje ( $\Delta E$ ) određene na temelju kolorimetrijskih rezultata mjerenja.

Tablica 15. Rezultati ispitivanja otpornosti suhog otiska prema otiranju (ukupna razlika boja CIEDE 2000)

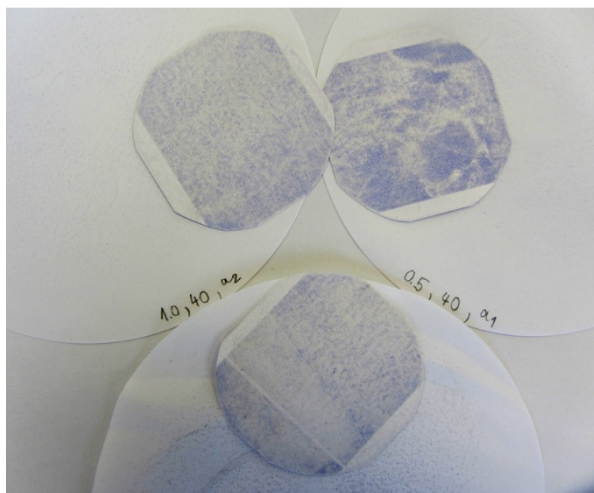
Tiskovna podloga	3,5 kPa 40 otiranja	6,9 kPa 40 otiranja	13,8 kPa 20 otiranja
Sjajno premazani papir	6,4	10,7	13,3
Sjajno premazani polukarton	6,9	20,9	22,6
Nepremazani papir	1,4	2,7	1,1
Nepremazani polukarton žuti	2,8	6,2	2,8
Nepremazani polukarton smeđi	1,9	1,7	0,8

Na temelju dobivenih rezultata ukupne razlike boje CIEDE 2000 moguće je direktno odrediti kvalitetu reprodukcije (odnosno, u našem slučaju razinu oštećenja otisaka), prilikom čega se možemo voditi smjericama iz tablice 16.

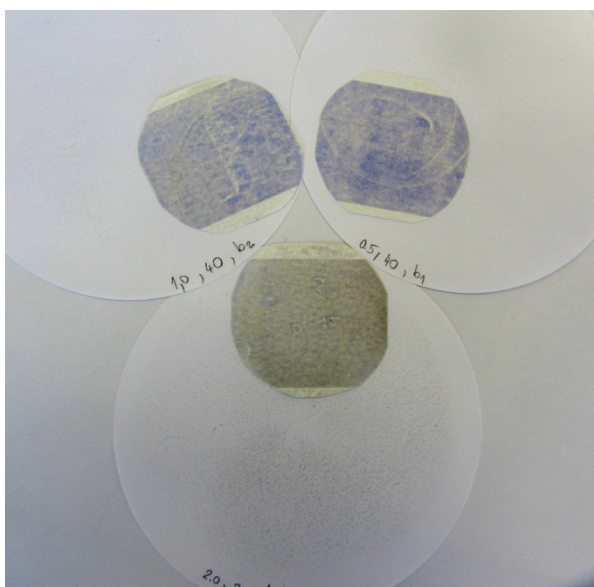
Tablica 16. Kriteriji za ukupnu razliku boje

Razlika u obojenju	Opis
<0,2	razlika se ne primjećuje, nije vidljiva
<0,5	zanemariva razlika (točnost instrumenta)
0,5 – 1	vidljiva, vrlo mala razlika
1 - 3	vidljiva, mala razlika
3 – 6	dobro vidljiva, očita razlika
6 – 12	vrlo dobro vidljiva, iznimno velika razlika
>12	nedopustiva razlika

Na slikama 11. i 12. prikazan je izgled otisaka nakon podvrgavanja otiranju za sjajno premazane papire kod kojih je primijećeno najjače otiranje odnosno oštećenje otisaka.



*Slika 11. Slike otisaka na sjajno premazanom polukartonu nakon otiranja*



*Slika 12. Slike otisaka na sjajno premazanom papiru nakon otiranja*

### 3.4.3 Struganje

Test otpornosti prema struganju proveden je na svim otisnutim uzorcima pri tlaku od 3,5 kPa i 20 okretaja. Rezultati su prikazani u tablici 17. pri čemu su ocjene dodijeljene prema kriteriju:

1- neprimjetno struganje otisaka

2- male naznake struganja otisaka

3- vidljivo struganje otisaka

4- izraženo struganje otisaka

5- vrlo izraženo struganje otisaka

Tablica 17. Rezultati vizualne procjene otpornosti suhih otisaka prema struganju

Vrsta tiskovne podloge	Otpornost prema struganju
Sjajno premazani papir	5
Sjajno premazani polukarton	5
Nepremazani papir	1
Nepremazani polukarton žuti	2
Nepremazani polukarton smeđi	2

## 4 DISKUSIJA REZULTATA

Iz rezultata određivanja glatkosti (Tablica 6-10) može se primijetiti da je najveća glatkost izmjerena kod premazanih papira s tim da je najveća glatkost izmjerena na uzorcima sjajno premazanog papira (1067,6 s), dok je vrijednost glatkosti sjajno premazanog polukartona bila približno tri puta manja (326,8 s). Od nepremazanih uzoraka najmanja je glatkost izmjerena kod smeđeg polukartona (3,8 s), dok su ostala dva papira pokazivala slične rezultate glatkosti (sa srednjom izmjerenom vrijednosti glatkosti od otprilike 12,0 s).

Vizualne procjene otiranja (Tablica 11) ukazuju da je na otiscima otisnutim na sjajno premazane tiskovne podloge uočena najmanja otpornost prema otiranju, odnosno zabilježen je najveći prijenos tiskarske boje na offsetni papir (podlogu za otiranje). Čak i pri najmanjem pritisku pod kojim je izvršeno otiranje, na otisnutim sjajno premazanim uzorcima zabilježeno je vidljivo otiranje otisaka dok se s povećanjem pritiska, otpornost proporcionalno smanjivala pa je pri tlaku od 6,9 kPa zabilježeno izraženo, a pri tlaku od 13,8 kPa vrlo izraženo otiranje otisaka. Na svim otiscima otisnutim na nepremazanim papirima zabilježeno je neprimjetno otiranje otisaka pri svim radnim pritiscima pod kojima se test otiranja provodio.

Iz rezultata kolorimetrijskog određivanja promjene boje otiska nakon izlaganja otiranju (Tablica 15) uočava se da je na otiscima sjajno premazanog papira i sjajno premazanog polukartona razlika u obojenju vrlo dobro vidljiva, odnosno da je došlo do iznimno velike razlike u obojenju. Pri većim pritiscima, od 6,9 kPa i 13,8 kPa, došlo je do nedopustivih razlika (CIEDE 2000=22,6) u obojenju na otiscima sjajnog papira i polukartona. Da je kod otisnutih premazanih tiskovnih podloga uslijed izlaganja otiranju došlo do neprihvatljivih oštećenja na otiscima vidljivo je na fotografijama (slike 11 i 12) koje prikazuju izgled otisaka nakon njihovog izlaganja definiranom otiranju.

Kod otisaka nepremazanog papira pri svim tlakovima, razlika u obojenju je vidljiva i mala, a slična situacija je i s otiscima otisnutim na nepremazanom smeđem polukartonu, gdje se vrijednosti kreću u rasponu 1,5 – 1 što ukazuje na vidljivu, vrlo malu razliku te u rasponu od 1 – 3 što upućuje na vidljivu, malu razliku u obojenju. Otisci otisnuti na nepremazanom žutom polukartonu ukazuju na vidljivu, malu razliku u obojenju pri svim radnim pritiscima osim pri pritisku od 6,9 kPa i 40 otiranja gdje je razlika u obojenju vrlo dobro vidljiva, odnosno iznimno velika.



Vizualne procjene struganja (Tablica 17) ukazuju da je na otiscima otisnutim na sjajno premazanim tiskovnim podlogama uočena najmanja otpornost prema struganju. Kod otisaka otisnutih na nepremazanim papirima zabilježeno je neprimjetno struganje otisaka. Dok su kod otisaka na nepremazanom smeđem i žutom polukartonu zabilježene male naznake struganja otisaka.

## 5 ZAKLJUČAK

Na temelju istraživanja koje je provedeno donesen je sljedeći zaključak.

Od svih ispitanih uzoraka nepremazani papir pokazao se kao optimalna podloga za odabranu termokromnu tiskarsku boju. Pokazao je stabilnost pri ispitivanju otpornosti na otiranje.

Otisci otisnuti na nepremazanom žutom polukartonu i nepremazanom smeđem polukartonu pokazali su relativno dobru otpornost prema otiranju. Najmanju otpornost prema otiranju pokazali su sjajni papir te sjajno premazani polukarton, tiskarska boja s njih se skidala u većim nakupinama, pri čemu je dolazilo do znatnog oštećenja otisaka. Kolorimetrijska mjerenja dodatno su potvrdila rezultate vizualne procjene otiranja, ukazavši na iznimno velike, a time i neprihvatljive razlike u obojenju koje nastaju na otiscima sjajno premazanih papira i polukartona nakon njihovog izlaganja otiranju.

Rezultati otpornosti otisaka prema struganju pokazali su isti trend kao i kod ispitivanja otpornosti otisaka prema otiranju pri čemu su sjajno premazani papiri dali neprihvatljive rezultate.

Kao ukupni zaključak istraživanja provedenog u ovom radu može se ustanoviti da sjajno premazani papiri nisu poželjne tiskovne podloge za ovu vrstu tiskarskih boja.

## 6 LITERATURA

1. Babić D. (1998.) *Uvod u grafičku tehnologiju*, Grafički centar za ispitivanje i projektiranje, Zagreb
2. Kropar-Vančina V., Jamnicki S., Jurečić D. (2006). *Otpornost dnevnih tiskovina na otiranje*, Zbornik radova od Bolanča Z., Mikota M. (ur.), 233-237, ISBN: 953-96020-6-8, Novi Vinodolski, lipanj 2006, Grafički fakultet, Zagreb
3. Vančina V., Mikota M., (1993). *Materijali u grafičkoj proizvodnji - Boje*, priručnik za vježbe, Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb
4. \*\*\*<http://materijali.grf.unizg.hr/media/tiskarske%20boje%20uvodna%20vjezba%202013.pdf>- grf / *Katedra za materijale u grafičkoj tehnologiji/ Nastavni materijali/ Uvodna vježba iz tiskarskih boja*, 24. srpnja 2013.
5. \*\*\* [http://materijali.grf.unizg.hr/media/TB\\_uvodno%20predavanje.pdf](http://materijali.grf.unizg.hr/media/TB_uvodno%20predavanje.pdf)- grf / *Katedra za materijale u grafičkoj tehnologiji/ Nastavni materijali/ Uvodno predavanje o bojama*, 24. srpnja 2014.
6. \*\*\* [http://materijali.grf.unizg.hr/media/TB\\_koloranti.pdf](http://materijali.grf.unizg.hr/media/TB_koloranti.pdf)- grf / *Katedra za materijale u grafičkoj tehnologiji/ Nastavni materijali/ Koloranti tiskarskih boja*, 24. srpnja 2014.
7. \*\*\*[http://materijali.grf.unizg.hr/media/punila\\_cadje\\_bronce%20\[Compatibility%20Mode\].pdf](http://materijali.grf.unizg.hr/media/punila_cadje_bronce%20[Compatibility%20Mode].pdf) - grf / *Katedra za materijale u grafičkoj tehnologiji/ Nastavni materijali/ Punila, čađe i bronce*, 24. srpnja 2014.
8. \*\*\*[http://materijali.grf.unizg.hr/media/Veziva%20TB%20\[Compatibility%20Mode\].pdf](http://materijali.grf.unizg.hr/media/Veziva%20TB%20[Compatibility%20Mode].pdf)- grf / *Katedra za materijale u grafičkoj tehnologiji/ Nastavni materijali/Veziva*, 24. srpnja 2014.
9. \*\*\*[http://materijali.grf.unizg.hr/media/susenje%20TB%20\[Compatibility%20Mode\].pdf](http://materijali.grf.unizg.hr/media/susenje%20TB%20[Compatibility%20Mode].pdf)- grf / *Katedra za materijale u grafičkoj tehnologiji/ Nastavni materijali/ Sušenje tiskarskih boja*, 24. srpnja 2014.
10. \*\*\*[http://materijali.grf.unizg.hr/media/vjezba%201\\_papir.pdf](http://materijali.grf.unizg.hr/media/vjezba%201_papir.pdf)- grf / *Katedra za materijale u grafičkoj tehnologiji/ Nastavni materijali/ Vježba 1 iz kolegija Papir*, 24. srpnja 2014.
11. \*\*\*<http://materijali.grf.unizg.hr/media/KATEGORIZACIJA%20SVOJSTAVA%20TISKOVNIH%20PODLOGA.pdf>- grf / *Katedra za materijale u grafičkoj tehnologiji/ Nastavni materijali/ Kategorizacija svojstava tiskovnih podloga*, 24. srpnja 2014.
12. \*\*\* <http://materijali.grf.unizg.hr/media/vjezba%20br%202.pdf>- grf / *Katedra za materijale u grafičkoj tehnologiji/ Nastavni materijali/ Vježba 2 iz kolegija Papir*, 24. srpnja 2014.

13. \*\*\* [http://materijali.grf.unizg.hr/media/6.%20vjezba\\_optika.pdf](http://materijali.grf.unizg.hr/media/6.%20vjezba_optika.pdf)- grf / *Katedra za materijale u grafičkoj tehnologiji/ Nastavni materijali/ Optička svojstva papira*, 24. srpnja 2014.
14. \*\*\* <http://www.na.sappi.com/education/probookshelf/technical-publications> - *Sappi /Technical Publications*, 24. srpnja 2014.
15. 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
16. \*\*\* [http://materijali.grf.unizg.hr/media/otiranje\\_vjezba%205.pdf](http://materijali.grf.unizg.hr/media/otiranje_vjezba%205.pdf) - grf / *Katedra za materijale u grafičkoj tehnologiji/ Nastavni materijali/ Otiranje*, 24. srpnja 2014.
17. Kulčar R., (2010). *Kolorimetrijska analiza i parametri stabilnosti UV-termokromnih boja*, Doktorski rad, Grafički fakultet
18. \*\*\* <http://materijali.grf.unizg.hr/media/Kromogene%20tiskarske%20boje.pdf>- grf / *Katedra za materijale u grafičkoj tehnologiji/ Nastavni materijali/ Kromogene tiskarske boje*, 26. srpnja 2014.
19. \*\*\* <http://www.xrite.com/judge-ii> - *Xrite / Products*, 14. srpnja 2014.
20. \*\*\*<http://www.tmchallcrest.com/index.php?action=home> – *TMC Hallcrest*, 14. srpnja 2014.
21. \*\*\*<http://materijali.grf.unizg.hr/media/vjezba%203.pdf>- grf / *Katedra za materijale u grafičkoj tehnologiji/ Nastavni materijali/ Vježba 3 iz kolegija Papir*, 14. srpnja 2014.
22. \*\*\* <http://www.paperonweb.com/paperpro.htm> - *Paper on web/ Physical Properties*, 16. srpnja 2014.
23. \*\*\*[http://www.grf.unizg.hr/wp-content/uploads/2010/09/SMP\\_KatalogOpreme\\_FINAL-WEB\\_v2.pdf](http://www.grf.unizg.hr/wp-content/uploads/2010/09/SMP_KatalogOpreme_FINAL-WEB_v2.pdf) – grf / *Katalog opreme*, 14. srpnja 2014.
24. \*\*\* <http://www.hanatekinstruments.com/Rub-and-Abrasion-Tester.html> - *Hanatek Instruments*, 16. srpnja 2014.
25. \*\*\*[http://fotoproceni.grf.unizg.hr/media/Predavanja%20%20Kvalitivne%20metode%20ispitivanja%20reprodukcije%20boja\\_2014.pdf](http://fotoproceni.grf.unizg.hr/media/Predavanja%20%20Kvalitivne%20metode%20ispitivanja%20reprodukcije%20boja_2014.pdf) – grf / *Katedra za fotografske procese/ Nastavni materijali/ Predavanja iz kvalitativnih metoda ispitivanja reprodukcije boja*, 16. srpnja 2014.
26. \*\*\*<http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Using%20thermochromic%20inks%20to%20reduce%20household%20food%20waste.pdf> – wrap/ *Thermochromic inks and reducing household food waste*, 13. kolovoza 2014.

## **7 POPIS SLIKA I TABLICA**

### **SLIKE**

Slika 1. Shematski prikaz sastava tiskarskih boja (str. 3)

Slika 2. Primjene termokromnih boja (str. 12)

Slika 3. Primjena termokromnih boja na bazi tekućih kristala u dizajnu garniture za sjedenje (str. 13)

Slika 4. SEM snimka termokromne boje na bazi tekućih kristala (lijevo) i leuko bojila (desno) (str 14.)

Slika 5. Uređaj PTI-Line Bekk (str. 20)

Slika 6. Uređaj Prufbau Multipurpose Printability Testing System (str. 21)

Slika 7. Uređaj Hanatek Rub and Abrasion Tester (str. 22)

Slika 8. Mjerenje kolorimetrijskih promjena pomoću spektrofotometra Ocean OpticsUSB 2000+ (str. 24)

Slika 9. Metalna pločica uređaja s termostatskim cirkulatorom na koji je prislonjen otisnuti uzorak kako bi se kolorimetrijsko mjerenje izvršilo na kontroliranoj konstantnoj temperaturi (str. 24)

Slika 10. Mjerenje kolorimetrijskih promjena pomoću spektrofotometra Ocean OpticsUSB 2000+ (str. 25)

Slika 11. Slike otisaka na sjajno premazanom polukartonu nakon otiranja (str. 32)

Slika 12. Slike otisaka na sjajno premazanom papiru nakon otiranja (str. 32)

### **TABLICE**

Tablica 1. Vrste prikladnih boja za printanje prema podlogama za tisak (str. 14)

Tablica 2. Osnovna svojstva tiskovnih podloga (str. 19)

Tablica 3. Svojstva termokromnih boja (str. 20)

Tablica 4. Tehničke karakteristike uređaja PTI-Line Bekk (str. 21)

Tablica 5. Tehničke karakteristike Hanatek uređaja (str. 23)

Tablica 6. Rezultati ispitivanja glatkosti sjajno premazanog papira metodom prema Bekku (str. 26)

Tablica 7. Rezultati ispitivanja glatkosti sjajno premazanog polukartona metodom prema Bekku (str. 26)

Tablica 8. Rezultati ispitivanja glatkosti nepremazanog papira metodom prema Bekku (str. 27)

Tablica 9. Rezultati ispitivanja glatkosti nepremazanog žutog polukartona metodom prema Bekku (str. 27)

Tablica 10. Rezultati ispitivanja glatkosti nepremazanog smeđeg polukartona metodom prema Bekku (str. 27)

Tablica 11. Rezultati ispitivanja otpornosti suhog otiska prema otiranju (vizualna procjena otiranja) (str. 28)

Tablica 12. Kolorimetrijske promjene na otiscima nakon izlaganja otiranju pri uvjetima od 3,5 kPa i 40 okretaja (str. 29)

Tablica 13. Kolorimetrijske promjene na otiscima nakon izlaganja otiranju pri uvjetima od 6,9 kPa i 40 okretaja (str. 30)

Tablica 14. Kolorimetrijske promjene na otiscima nakon izlaganja otiranju pri uvjetima od 13,8 kPa i 20 okretaja (str. 30)

Tablica 15. Rezultati ispitivanja otpornosti suhog otiska prema otiranju (ukupna razlika boja CIEDE 2000) (str. 31)

Tablica 16. Kriteriji za ukupnu razliku boje (str. 31)

Tablica 17. Rezultati vizualne procjene otpornosti suhих otisaka prema struganju (str. 33)