

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAFIČKI FAKULTET

ZAVRŠNI RAD

Martin Hrženjak



Grafički fakultet
Sveučilište u Zagrebu

Smjer: Tehničko-tehnološki

ZAVRŠNI RAD

Otpornost UV fleksografskih boja prema struganju

Mentor:

doc.dr.sc. Sonja Jamnicki Hanzer

Student:

Martin Hrženjak

Zagreb, 2021

ZAHVALE

Velike zahvale mentorici doc. dr. sc. Sonji Jamnicki Hanzer na uloženom trudu, vremenu te stručnoj pomoći prilikom izrade završnog rada.

Hrženjak Martin

SAŽETAK

U ovom završnom radu provedeno je ispitivanje otpornosti UV sušećih fleksografskih boja prema struganju. U istraživanju su se koristile tri komercijalne fleksografske boje: magenta, plava i žuta te jedna termokromna zelena boja. Također su otisnute i boje nastale miješanjem zelene termokromne boje i navedenih konvencionalnih boja u omjeru (90%:10%). Otiskivanje je provedeno ručno – pomoću *K Hand Coater* uređaja. Nakon otiskivanja, otisci su se sušili u laboratorijskom UV sušioniku *Akrilprint L*.

Nakon provedenih serija struganja izvedenih na uređaju *Hanatek Rub and Abrasion Tester*, nastala oštećenja na otiscima vizualno su procijenjena. Također je izvršeno i mikroskopiranje uzoraka prije i nakon provedbe testa struganja kako bi se nastala oštećenja slikovno prikazala.

Istraživanje je ukazalo da postoji razlika u otpornosti prema struganju između konvencionalnih i termokromnih UV fleksografskih boja, te se ona očituje u tome da su konvencionalne UV fleksografske boje otpornije na struganje. Miješanje termokromne boje s konvencionalnim bojama nije značajnije utjecalo na povećanje otpornosti termokromnih boja prema struganju. Stoga se ne preporučuje korištenje navedene termokromne boje na ambalaži radi vrlo male otpornosti boje prema struganju i abraziji.

KLJUČNE RIJEČI

termokromna boja, UV sušeće fleksografske boje, otpornost otisaka prema struganju, promjene obojenja

| | |
|---|----|
| 1 UVOD..... | 1 |
| 1.1 Cilj rada | 1 |
| 2. TEORIJSKI DIO..... | 2 |
| 2.1 Tiskarske boje..... | 2 |
| 2.1.1 Sastav tiskarske boje..... | 2 |
| 2.1.2 Sušenje tiskarskih boja..... | 4 |
| 2.2 Fleksografske boje..... | 7 |
| 2.3 Kromogene boje..... | 7 |
| 2.4 Termokromne boje | 8 |
| 2.4.1 Termokromne boje na bazi tekućih kristala | 9 |
| 2.4.2 Termokromne boje na bazi leuko bojila | 9 |
| 3. EKSPERIMENTALNI DIO | 11 |
| 3.1. Plan rada i metodologija istraživanja..... | 11 |
| 3.1 Korišteni materijali..... | 11 |
| 3.2. Korištene metode | 12 |
| 3.2.1. Određivanje debljine..... | 12 |
| 3.2.2. Određivanje glatkosti | 13 |
| 3.2.3. Otiskivanje..... | 14 |
| 3.2.4. Sušenje otisnutih uzoraka | 16 |
| 3.2.5. Test struganja otisaka | 16 |
| 3.2.6. Snimanje otisaka mikroskopom..... | 18 |
| 3.3. Rezultati istraživanja | 19 |
| 3.3.1. Rezultati ispitivanja debljine papira mikrometrom | 19 |
| 3.3.2. Rezultati ispitivanja glatkosti papira metodom po Bekk-u | 19 |
| 3.3.3. | 20 |
| Rezultati ispitivanja struganja otisaka | 20 |
| 4. DISKUSIJA REZULTATA..... | 28 |
| 5. ZAKLJUČAK | 29 |
| 6 LITERATURA..... | 30 |
| 7 POPIS SLIKA I TABLICA..... | 31 |

1 UVOD

Tiskarske boje danas se koriste na cijelom nizu različitih proizvoda, od ambalaže, komercijalnog tiska, zaštitnih dokumenata, keramike i tekstila. Svaki kvalitetan tisak, pogotovo ambalažni, podrazumijeva otiske koji trebaju imati zadovoljavajuću otpornost na otiranje, savijanje i sljepljivanje. Termokromne boje omogućavaju nam kvalitetan otisak, kreativnost te personalizaciju koja je danas sve traženija. Termokromne boje pri određenim temperaturama mijenjaju svoje obojenje te su zbog toga iznimno zanimljive za korištenje, mogu se nalaziti u dva optička stanja, obojenom i neobojenom, te se sastoje od najmanje tri komponente: bojila (koloranta), kolor razvijača i otapala. Dva su tipa termokromnih tiskarskih boja: na bazi tekućih kristala i leukobojila. Boje na bazi leukobojila češće se koriste i svoju primjenu nalaze uglavnom u tisku tzv. pametne ambalaže. Najčešće se koriste kao indikatori svježine i temperature u prehrambenoj industriji (na bocama pića ili ambalaži za hranu), no česta je primjena i u sigurnosnom tisku (na čekovima, ulaznicama i lijekovima), kao i za komercijalne svrhe (promotivni materijali i dekorativne svrhe) [1].

1.1 Cilj rada

U radu će se ispitati otpornost UV sušećih fleksografskih boja prema struganju. Odabrane fleksografske boje nanositi će se na bijeli nepremazani papir, a otiskivanje će biti provedeno ručno - pomoću *K Hand Coater* uređaja. Nakon otiskivanja, otisci će se osušiti u laboratorijskom UV sušioniku *Akrilprint L*. U istraživanju će se upotrijebiti tri komercijalne fleksografske boje: magenta, plava (pantone 072) i žuta te jedna termokromna zelena boja. Također će se otisnuti i boje nastale miješanjem zelene termokromne boje i navedenih konvencionalnih boja u omjeru (90%:10%). Nakon provedenih serija struganja koje će se izvesti na uređaju *Hanatek Rub and Abrasion Tester*, otisci će se vizualno procijeniti od strane dva ispitivača kako bi se na njima utvrdila eventualno nastala oštećenja. Istraživanje će ukazati postoji li razlika u otpornosti prema struganju između konvencionalnih i termokromnih UV fleksografskih boja te da li dodatak konvencionalnih boja termokromnoj boji u malom omjeru, utječe na povećanje otpornosti termokromnih boja prema struganju (abrazivnom trošenju).

2. TEORIJSKI DIO

2.1 Tiskarske boje

Naziv tiskarska boja podrazumijeva tvar koja sadrži određeno obojenje te se u procesima tiska veže za podlogu na koju otiskujemo. U sastav tiskarske boje spadaju pigmenti i/ili bojila, veziva, punila, sušila te razni dodaci poput voskova, ulja, tvari za močenje itd. Zbog različitih tiskovnih postupaka i tehnika primjene tiskarskih boja, one moraju posjedovati određene karakteristike: moraju se moći pravilno transportirati na tiskarskom stroju, zadovoljavajuće se osušiti u određenom vremenskom roku, boja mora dati željeni izgled gotovom proizvodu i ne smije narušavati (oštetiti) podlogu na kojoj se tiska niti, smanjiti predviđeni rok trajanja gotovog proizvoda. Prema konzistenciji tiskarske boje se dijele na pastozne i tekuće, dok se osnovna kvalifikacija dijeli prema vrsti tiska: boje za visoki tisak, boje za plošni tisak, boje za duboki tisak, boje za sitotisak, boje za digitalne tehnike tiska i specijalne boje [2].

2.1.1 Sastav tiskarske boje

Tiskarske boje sastavljene su od:

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

PIGMENT (engl. pigment) je kruta, kemijski čista tvar (netopivi fini prah) koji pomiješan s prikladnim vezivom tiskarskoj boji daje obojenje, netopivi u vodi i/ili vezivima u kojima se raspršuju (dispergiraju) i s kojima se trebaju dobro močiti. Pigmenti su u vezivu dispergirani u finom usitnjenju sve do nanometarskih čestica. Pigmenti s vezivom tvore koloidne disperzije. Pigmenti su osnovni, sastavni dio tiskarske boje, možemo ih uočiti golim okom. Najvažnije svojstvo pigmenata 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. Budući da pigmenti čine čvrsti (kruti) dio boje - oni joj daju određenu konzistenciju. Nakon boje, važno svojstvo jest njihovo dobro dispergiranje u smolno – uljnom vezivu te ostalim vezivima koja se koriste u proizvodnji boja dok istovremeno vezivo mora dobro kvasiti pigmente. Ovo svojstvo direktno utječe na kvalitetu tiskarske boje jer se močenjem prekidaju kohezivne sile između pigmentnih čestica čime se omogućuje kvalitetno dispergiranje. Pigmenti se prema podrijetlu dijele na prirodne i umjetne (sintetičke), dok se prema kemijskom sastavu dijele na anorganske i organske. Što se boje i strukture tiče, dijele se na akromatske (crne i bijele) i kromatske (obojeni ili šareni) te amorfne (nepravilna struktura) i kristalne (pravilna kristalna rešetka). Možemo ih također kategorizirati i prema namjeni na optičke (oni koji daju obojenje) te na pigmente sa specijalnim svojstvima (magnetski i fluorescentni) [2].

BOJILA (engl. dye, dyestuff) su krute organske tvari koje daju obojenje tiskarskim bojama. Bojila se otapaju u vezivu (otapalu/otapalima) s kojima tvore molekularne disperzije. Prema podrijetlu bojila se dijele na prirodna i umjetna bojila. Prirodna bojila biljnog ili životinjskog podrijetla danas se ne koriste jer su ih zamijenila kvalitetnija i po sastavu konzistentnija umjetna bojila koja se dobivaju se najčešće sintezom od aromatskih ugljikovodika i srodnih spojeva iz katrana kamenog ugljena. Zbog male gustoće bojila u molekularnim otopinama potrebno je otiskivati vrlo debelim slojevima, kako bi se dobila zadovoljavajuća gustoća obojenja otiska. Tiskarske boje danas uglavnom sadrže pigmente. Bojila se koriste za neke flekso boje i za specijalne boje [2].

PUNILA (engl. extenders) su bijeli transparentni ili polu-transparentni pigmenti koji djelomično zamjenjuju skupe pigmente kako bi smanjili njihov udio i na taj način snizili cijenu tiskarskih boja. Po sastavu su to krute anorganske tvari koje mogu biti prirodnog ili umjetnog podrijetla. Punila u pravilu ne bi trebala utjecati na ton tiskarske boje, no mogu negativno utjecati na intenzitet obojenja, tj. smanjiti intenzitet obojenja. Također, smanjuju opacitet kolornih pigmenata te poboljšavaju mogućnost dispergiranja unutar veziva tiskarske boje. Punila su netopiva u vodi i/ili vezivima u kojima se raspršuju i s kojima se trebaju dobro močiti. Vodene disperzije punila neprozirne dok su uljne disperzije prozirne. Nadalje prozornost uljne disperzije ovisi o indeksu loma punila i indeksu loma ulja/veziva tj. što je indeks loma punila bliži iznosu indeksa loma ulja/veziva disperzija je prozirnija [2].

VEZIVA (engl. vehicle/binder) je tekuća komponenta koja tiskarskoj boji daje plastičnost, viskozitet i tečenje i tako omogućuje prijenos boje iz bojanika do tiskovne forme te na kraju

do tiskovne podloge. Primaran zadatak veziva jest da čestice pigmenata izolira jedne od drugih te da ih drži u jednoličnoj disperziji sve do kontakta boje s tiskovnom podlogom. Neke od glavnih karakteristika veziva su da moraju imati definiranu ljepljivost kojom se osigurava vezivanje boje na površini tiskovne podloge, moraju biti bistra, potpuno kemijski inertna, imati sposobnost i definiranu brzinu sušenja i to tek kada je boja na tiskovnoj podlozi te ne smiju sadržavati lako hlapljiva organska otapala neugodnog mirisa i štetnog utjecaja na ljudski organizam. Po sastavu veziva mogu 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) i vodena emulzija dobivena emulgiranjem krute smole s vodom [2].

SUŠILA (engl. siccativ) su organski spojevi koji se dodaju tiskarskoj boji kako bi se ubrzala njena sušivost. Sikativi ubrzavaju sušenje tiskarskih boja koje se suše oksipolimerizacijom (boje koje sadrže ulja ili veziva koja oksidiraju). Nadalje sušila su po kemijskom sastavu najčešće oleati, rezinati i naftenati kobalta (Co), mangana (Mn) i olova (Pb). Učinkovitost sušenja ovisit će o vrsti i količini sušila (preveliki dodatak sušila može uzrokovati suprotan učinak), temperaturi i udjelu vlage [2].

DODACI (aditivi) tiskarskim bojama su tvari koje se lako povezuju s vezivom i poboljšavaju određena svojstva ili otklanjaju nepoželjne pojave tiskarske boje. Pod dodacima ubrajamo voskove, ulja, masti, antioksidanse, tvari za močenje itd. Dodatkom masti, ulja ili voska tiskarskoj boji se smanjuje ljepljivost te joj se povećava otpornost na otiranje. Tiskarskoj boji se pomoću antioksidansa usporava oksidacija sušivih ulja jer brzo apsorbiraju kisik i na taj način usporavaju sušenje boje u ambalaži ili na valjcima tiskarskog stroja. Dodavajući tvari za močenje, u optimalnoj količini, pospješuje se dispergiranje pigmenata u vezivu. Tvari za močenje smanjuju površinsku napetost između pigmenata i veziva te smanjuju količinu mehaničkog rada potrebnu za dispergiranje [2].

2.1.2 Sušenje tiskarskih boja

Sušenje boje izuzetno je važan proces jer se njime postiže kvalitetan otisak (čvrsta veza između tiskarske boje i podloge na koju se tiska). Sam pojam sušenja se odnosi na sve procese koji se odvijaju nakon prijenosa boje na tiskovnu podlogu, oni omogućavaju čvrstu vezu boje s podlogom te odgovarajuću doradu i uporabu samog grafičkog proizvoda [2].

a) Mehanizam sušenja oksipolimerizacijom

Ovaj način sušenja karakterističan je za tiskarske boje čije vezivo sadrži sušiva ili polusušiva ulja. Ulje apsorbira kisik iz zraka te se nakon toga polimerizira u kruti film na površini otisaka. Takvi osušeni otisci imaju finu glatku i zatvorenu površinu. Budući da je oksipolimerizacija relativno spor mehanizam sušenja u usporedbi s ostalim tehnikama sušenja, ona se danas koristi se samo za specijalne slučajeve (npr. tisak s offsetnim bojama ili bojama za visoki tisak na neupojnim podlogama). Dva problema koja se mogu javiti tijekom sušenja oksipolimerizacijom su neugodni mirisi koji se oslobađaju kao nusprodukti kemijskih reakcija sušenja, što je posebno osjetljivo kod tiska ambalaže za prehrambene proizvode (negativan utjecaj na organoleptička svojstva proizvoda) te se također može dogoditi da velika relativna vlažnost i neadekvatan pH papira ($\text{pH} < 7$) značajno uspore sušenje boja temeljenih na sušivim uljima [2].

b) Mehanizam sušenja penetracijom (prodiranjem)

Sušenje penetracijom tj. prodiranjem je najjednostavniji način sušenja jer ne uključuje nikakvu kemijsku promjenu veziva. Javlja se prilikom otiskivanja na svakoj upojnoj podlozi te se dijeli na primarnu i sekundarnu penetraciju. Primarna penetracija traje od 10 do 20 min i obuhvaća mehanizam brzog prodiranja veziva u pore tiskovne podloge dok manji dio veziva ostaje na površini i veže pigment. Sekundarna penetracija može trajati do nekoliko mjeseci, a razlog tome jest prodiranje veziva u kapilarne šupljine tiskovne podloge (celulozna vlakna). Sekundarna penetracija ne utječe na konačnu kvalitetu otiska i radi toga nije bitna za sam proces tiska. Ukoliko se boje tiskaju na odgovarajućoj podlozi ovaj mehanizam sušenja suši jako brzo, no ta brzina ovisi o tečljivosti tiskarske boje, močenju vlakanaca bojom te upojnosti tiskovne podloge. Boje koje se suše isključivo ovim mehanizmom su roto boje, cold set boje za offsetne rotacije i neke jeftine boje za duboki tisak [2].

c) Mehanizam brzog sušenja (eng. Quicksetting)

Mehanizam brzog sušenja je složeni mehanizam koji se sastoji od penetracije i oksipolimerizacije. Boje sastavljene od vrlo viskozne otopine krute smole u sušivom ulju te mineralnog ulja male viskoznosti u kojem je dispergirana smolasta komponenta se suše pomoću ovog mehanizma. Karakteristično za ovaj mehanizam je to da dolazi do brzog početnog sušenja jer mineralno ulje selektivno prodire u tiskovnu podlogu a smolasta

komponenta s pigmentom ostaje na površini tiskovne podloge gdje oksipolimerizira. Ljepljivost otisaka se povećava do maksimuma pri razdvajanju komponenata, a kako bi, radi toga, spriječili sljepljivanje araka i stvaranje kontraotisaka, koriste se prašci protiv sljepljivanja ili se sušenje ubrzava IR zračenjem [2].

d) Mehanizam sušenja isparavanjem (hlapljenjem)

Mehanizmom sušenja isparavanjem suše se tiskarske boje čije je vezivo priređeno otapanjem smole/smola ili sličnih tvari u organskom otapalu. Primarno to su boje za flekso tisak, duboki tisak te također boje za sitotisak i „heat set“ roto offsetne boje. Boje za prije navedene tehnike tiska sadrže otapala koja za vrijeme tiska isparavaju i na tiskovnoj podlozi se stvara kruta boja [2].

e) Mehanizam sušenja UV zračenjem

Mehanizam sušenja UV zračenjem djeluje na sljedeći način, naime šalju se ultraljubičasti valovi prema UV sušećim bojama koje su u tekućem stanju sve do trenutka izlaganja zračenju te tada započinje vrlo brza lančana reakcija i boje se suše trenutačno. Za razliku od konvencionalnih boja, ove specijalne boje (UV-sušeće boje) sastoje se od pigmenata, oligomera (tzv. reaktivne smole), monomera (razrjeđivača), fotoinicijatora (započinju fotopolimerizaciju) i aditiva. Fotoinicijatori su izuzetno osjetljivi na UV zračenje koje im mijenja kemijsko strukturalne veze te se formiraju grupe slobodnih radikala. Vrlo bitna stavka kod ovog mehanizma jest da se ono postiže samo ako propustimo otisnutu površinu ispod UV lampe koja emitira UV energiju. Kada UV zračenje dođe u kontakt s otisnutom površinom, ono izaziva brzu kemijsku reakciju tijekom koje se različiti kemijski spojevi (monomeri i oligomeri) u UV boji međusobno povezuju. Ovaj proces međusobnog povezivanja komponenata UV boja pod djelovanjem UV zračenja naziva se fotopolimerizacija. Neke od prednosti ovog mehanizma sušenja su: suhi otisci na izlagačem stolu mogu se odmah doradivati, stabilnost same boje je izvrsna, nije potrebno koristiti prašak protiv sljepljivanja, nema emisije hlapivih otapala kao u fleksotisku, dubokom tisku i sitotisku, UV sušionici su znatno manjih dimenzija od klasičnih toplinskih sušionika [2, 3].

2.2 Fleksografske boje

Fleksotisak je tehnika direktnog visokog tiska koja nam omogućava tisak na veliki broj materijala. Boje koje se koriste za fleksotisak mogu biti na bazi otapala, na bazi vode te mogu biti UV sušee boje. Zbog elastičnosti tiskovne forme otisci imaju malu linijaturu rastera, te malu viskoznost boje i nisku koncentraciju pigmenta koji garantiraju neveliku gustoću obojenja na otisku. Jedinica za otiskivanje u fleksotisku funkcionira na sljedeći način, sustav za boju prenosi fini i ravnomjeran film boje na površinu tiskovne forme. Za ovaj proces potrebne su boje niske viskoznosti radi brzog prijenosa čime se postiže velika brzina tiska na neupojnim materijalima poput filmova i folija. UV sušee boje za fleksotisak imaju viskoznost oko 1.0 paskalsekundi (Pas). Boja se prenosi na površinu tiskovne forme pomoću aniloks valjka. Aniloks valjak je ključan element u prijenosu boje te postizanju kvalitetnog flekso otiska, služi za doziranje tankog i ujednačenog nanosa tiskarske boje na tiskovnu formu. Aniloks valjak uglavnom može biti gravirani keramički ili kromirani metalni valjak, a sama dubina i oblik graviranja određuje količinu boje koju prenosimo na tiskovnu formu dok na rezoluciju tiska utječe preciznost samog graviranja. UV sušee flekso boje pokazuju pozitivan trend kada je u pitanju popularnost korištenja. Razlog tome je činjenica da ne sadrže otapala, čime se, za vrijeme tiska, reducira emisija štetnih hlapivih organskih spojeva. Također, daju visoku kvalitetu tiska na fleksibilnim i drugim podlogama, pružaju veliku otpornost prema kemikalijama te imaju veliku brzinu ispisa. UV sušee flekso boje trenutno se najviše koriste za otiskivanje prehrambene ambalaže (npr. ambalaže za šećer, juhe, začine, mlijeko, kartoni za pakiranje sokova, pakiranje hrane za kućne ljubimce, kutije za cigarete itd.) [2, 4].

2.3 Kromogene boje

Kromizam je proces pri kojem dolazi do reverzibilne ili ireverzibilne promjene nekog spoja, a to se događa radi promjene elektronskog stanja u molekuli. Kromogene boje mijenjaju obojenje kao odgovor na vanjske podražaje. Postoje više vrsta kromogenih boja te se klasificiraju prema vrsti podražaja koje uzrokuju na: termokromne boje – mijenjaju obojenje pod utjecajem temperature, fotokromne boje – mijenjaju obojenje pod utjecajem svjetla, elektrokromne boje – mijenjaju obojenje promjenom električnog polja, piezokromne boje – mijenjaju obojenje pod utjecajem različite jačine pritiska, halokromne boje – mijenjaju obojenje pod utjecajem različite pH vrijednosti, biokromne boje – mijenjaju obojenje pod

utjecajem biokemijske reakcije. Najpopularnije boje na tržištu jesu fotokromne i termokromne. Uz podjelu na podražaj imamo i podjelu prema trajanju promjene te se tada kromogene boje dijele na reverzibilne i ireverzibilne boje odnosno na boje koje mijenjaju ton za vrijeme trajanja uzorka promjene te na one koje zadržavaju promijenjeni ton boje i nakon prestanka djelovanja uzroka promjene boje. Za primjenu u tiskarskim bojama, kromogene materijale potrebno je zaštititi mikrokapsulama koje su i do 10 puta veće od konvencionalnih pigmenata u tiskarskim bojama. Kromogene se boje mogu koristiti za izradu vremensko-temperaturnih indikatora (TTI- „time and temperature indicators“) i indikatora svježine (FI- „freshness indicators“). Također se upotrebljavaju 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. [5]

2.4 Termokromne boje

Termokromne boje mijenjaju obojenje prilikom izlaganja otisaka na određene temperature, ta promjena je klasificirana kao dio termokromizma (promjena u boji uslijed izloženosti određenoj temperaturi). Termokromne boje prema trajnosti mogu biti ireverzibilne kod kojih je promjena boje jednokratna i trajna te reverzibilne kod kojih je promjena boje višekratna i povratna. Ireverzibilne boje mogu u početku biti neobojene ili obojene, a kada ih izložimo visokim temperaturama intenzivno mijenjaju obojenje te se pri hlađenju više ne mogu vratiti u početno stanje. Takve se boje koriste u prehrambenoj i medicinskoj industriji gdje promjena na određenoj temperaturi može označavati da proizvod nije siguran za konzumaciju. Granična temperatura pri kojoj dolazi do promjene obojenja naziva se temperatura aktivacije (T_A). Termokromizam se može pojaviti u različitim tipovima materijala, kao što su termoplasti, duroplasti, gelovi, tiskarske boje te različiti premazi pa se upravo zbog tog svojstva može primijeniti u različitim industrijama. Neki od primjera upotrebe termokromnih boja jesu: služe kao indikatori svježine na bocama piva, vina, vode i sl. , koriste se za laku i jednostavnu identifikaciju kao sredstvo protiv krivotvorenja dokumenata, promotivni letci, plakati, nakit itd. Termokromne tiskarske boje možemo podijeliti na dva tipa ovisno o korištenim kolorantima, pa one mogu biti: na bazi tekućih kristala i leuko bojila [6, 7].



Slika 1. Primjena termokromne boje [8]

2.4.1 Termokromne boje na bazi tekućih kristala

Termokromne boje na bazi tekućih kristala mogu biti otisnute na raznim materijalima, a kako bi dobili najbolji vizualni efekt boje, obično se tiskaju na tamne (npr. crno obojane) tiskovne podloge. Molekule tekućih kristala mogu se međusobno izvijati i kretati zadržavajući istodobno geometrijski red, dovođenjem topline narušava se geometrijski red te se događaju promjene u valnim dužinama reflektiranog svjetla i kristali mijenjaju boju (npr. promjena obojenja započinje crvenom bojom, koja porastom temperature prelazi u narančastu, žutu, zelenu, plavu i potom ljubičasto plavu boju). Postupkom hlađenja molekule se vraćaju u svoje prvobitne položaje te se tako i obojenje vraća u početnu boju. Tekući kristali se koriste rjeđe nego leuko bojila jer zahtijevaju visoko specijaliziranu tehniku rukovanja i otiskivanja [6, 9].

2.4.2 Termokromne boje na bazi leuko bojila

Reverzibilni termokromni organski materijali na bazi leuko bojila najčešće se sastoje od najmanje tri komponentne, a to su: bojila (koloranti), kolor razvijajući i otapala. Za postizanje željenog efekta te su komponente pomiješane u točno određenim omjerima. Promjena boje pojavljuje se kroz dvije reakcije, prva je ona između bojila i razvijajuća te druga između otapala i razvijajuća. Prva reakcija se odvija pri nižim temperaturama na kojima se otapalo nalazi u krutom stanju te povećanjem temperature prelazi u tekuće stanje. Otapalo u tekućem stanju uzrokuje raspad kompleksa bojila i razvijajuća što sustav pretvara u bezbojno stanje. Druga reakcija smatra se najvažnijom za postizanje termokromnog efekta. Temperatura na

kojoj se odvija proces obojenja i obezbojenja ovisi o temperaturi na kojoj se otapa otapalo, a naziva se temperatura aktivacije (T_A). Termokromne tiskarske boje na bazi leuko bojila dostupne su s različitim aktivacijskim temperaturama, od -15°C do 65°C , međutim većina aplikacija je ograničena na tri standardna temperaturna područja: hladno ($\sim 10^{\circ}\text{C}$), temperaturu ljudskog tijela ($\sim 31^{\circ}\text{C}$) i vruće ($\sim 43^{\circ}\text{C}$). Neke leuko tiskarske boje mogu se mijenjati iz jedne u drugu boju, što se postiže kombinacijom leuko bojila i procesnih tiskarskih boja. Leuko bojila apsorbiraju svjetlost te za postizanje najboljeg vizualnog efekta potrebno ih je otisnuti na što svjetlijoj podlozi. Leuko tiskarske boje mogu se otiskivati na različitim materijalima (baterije, testeri i sl.) [6,9]

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. Plan rada i metodologija istraživanja

Unutar ovog rada ispitana je otpornost UV sušućih fleksografskih boja prema struganju. Svi uzorci su prije ispitivanja klimatizirani na standardne uvjete prema ISO 187 na $23\pm 1^\circ\text{C}$ i $50\pm 2\%$ relativne vlažnosti zraka. U istraživanju su se upotrijebile tri komercijalne UV sušeće fleksografske boje: magenta, plava (pantone 072) i žuta te jedna termokromna zelena boja s temperaturom aktivacije od 25°C . Za ispitivanje su također korištene boje nastale miješanjem zelene termokromne boje i navedenih konvencionalnih boja u omjeru (90%:10%). Odabrane fleksografske boje nanosile su se na bijeli nepremazani papir, a otiskivanje je provedeno ručno - pomoću K Hand Coater uređaja. Za tiskovnu podlogu odabran je Navigator papir gramature 160 g/m^2 . Prije otiskivanja, Navigator papiru je određena debljina (ISO 534) i glatkost površine metodom po Bekk-u (ISO 5627).

Test ispitivanja otpornosti otisaka prema struganju (engl. scratch test) proveden je na uređaju Hanatek kod kojeg se koristi sustav rotacije disk na disk, gdje se na donji, veći disk stavlja otisak otisnutom stranom prema gore, dok se na manjem, gornjem disku nalazi abrazivna spužvica kojom se struže po otisku. Ispitivanje je provedeno uz prethodno definiran pritisak i broj okretaja.

Nakon završenog ispitivanja uzorci su vizualno procijenjeni na stupanj struganja od strane dva ispitivača. Također su se napravile mikroskopske snimke (povećanja od 8x) površine otisaka prije i nakon provedenih serija struganja kako bi se prikazala oštećenja nastala na otiscima.

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

3.1 Korišteni materijali

Za ispitivanje su odabrane su tri komercijalno dostupne konvencionalne UV sušeće fleksografske boje: plava (PANTONE® Blue 072), procesne žuta i magenta. Radi se o bojama namijenjenim tisku etiketa i naljepnica koje su prikladne za primjenu na papirnim, kartonskim i polimernim podlogama. Za ispitivanje je također odabrana jedna komercijalno dostupna termokromna UV sušeća fleksografska boja bazirana na leukobojilima s temperaturom aktivacije (T_A) od 25°C . Navedena boja je ispod T_A obojena u zeleno obojenje,

dok zagrijavanjem iznad temperature od 25°C prelazi u bezbojno stanje. Radi se o reverzibilnoj boji, što znači da se obojenje vraća hlađenjem uzorka ispod T_A . Osim po karakteristikama prelaska iz obojenog u bezbojno stanje, ova boja razlikuje se od konvencionalnih boja prema veličini koloranata (mikroenkapsulirani sustav bojila-otapal razvijaa) od kojih je otprilike 99%, prema podacima proizvođača, veličine ispod 10 μm . Od termokromne boje i navedenih konvencionalnih boja pripremljene su još tri boje, nastale njihovim miješanjem u omjerima (90%:10%). Takve boje (zeleno-plava; zeleno-žuta; magenta-zelena) zagrijavanjem iznad T_A (25°C) prelazile su iz nastalog novog obojenja u konvencionalnu boju koja je miješana s termokromnom bojom (zeleno-plava u plavo, zeleno-žuta u žuto i magenta-zelena u magenta obojenje).



Slika 2. Prikaz promjene obojenja zelene termokromne boje kada se otisak dodirne rukama

Kao tiskovna podloga za otiskivanje svih boja odabran je bijeli nepremazani Navigator papir gramature 160 g/m^2 . Debljina i površinska glatkost tiskovne podloge određene su naknadno (što će biti prikazano u nastavku istraživanja).

3.2. Korištene metode

3.2.1. Određivanje debljine

Debljina papira predstavlja udaljenost između dviju paralelnih strana papira, a određuje se na preciznom mikrometru prema standardu ISO 534: *Paper and board - Determination of thickness, density and specific volume*. Rezultati se izražavaju u mm s preciznošću od 0.001 mm. Prije ispitivanja, uzorci papira klimatiziraju se na standardne uvjete prema ISO 187: $23\pm 1^\circ\text{C}$ i $50\pm 2\%$ RVZ. Debljina je određena na 10 uzoraka papira, pri čemu je mjerenje

izvršeno na svakom pojedinačnom uzorku, a rezultati su izraženi u milimetrima (mm), kao aritmetička sredina pojedinih mjerenja zaokružena na cijeli broj.



Slika 3. Elektronički ručni mikrometar za ispitivanje debljine papira, kartona i ljepenke

Tablica 1. Tehničke značajke mikrometra dostupnog u laboratoriju

| | |
|---------------|-----------|
| Mjerni raspon | 0 – 10 mm |
| Rezolucija | 0,001 mm |

3.2.2. Određivanje glatkosti

Ispitivanje glatkosti papira provedeno je na uređaju PTI-Line Bekk. Ovim ispitivanjem mjeri se vrijeme u sekundama, potrebno da se usiše određeni volumen zraka (10 ml) koji se nalazi između površine papira i jedne ravne, staklene pločice. Mjerenje se izvodi pri definiranoj razlici u tlaku (od 50.7 do 48.0 kPa). Ispitivanje se izvodi prema standardu ISO 5627: *Paper and board - Determination of smoothness (Bekk method)*.

Uzorak papira se prilikom mjerenja nalazi pritisnut na staklenu pločicu masom od 10 kg. Zatim se, pomoću vakuumskih pumpi, isprazni spremnik za zrak do ciljanog tlaka od 50.7 kPa. Potom se u spremnik usisava zrak koji se nalazi između površine papira i staklene pločice, sve dok tlak u spremniku ne padne na 48.0 kPa. Količina usisanog zraka ovisi o glatkosti (hrapavosti) ispitivanog papira. Vrijeme potrebno za usisavanje 10 ml zraka mjeri se u sekundama. Pri tome, veći rezultat (veći broj sekundi) ukazuje na veću glatkost ispitivanog uzorka.



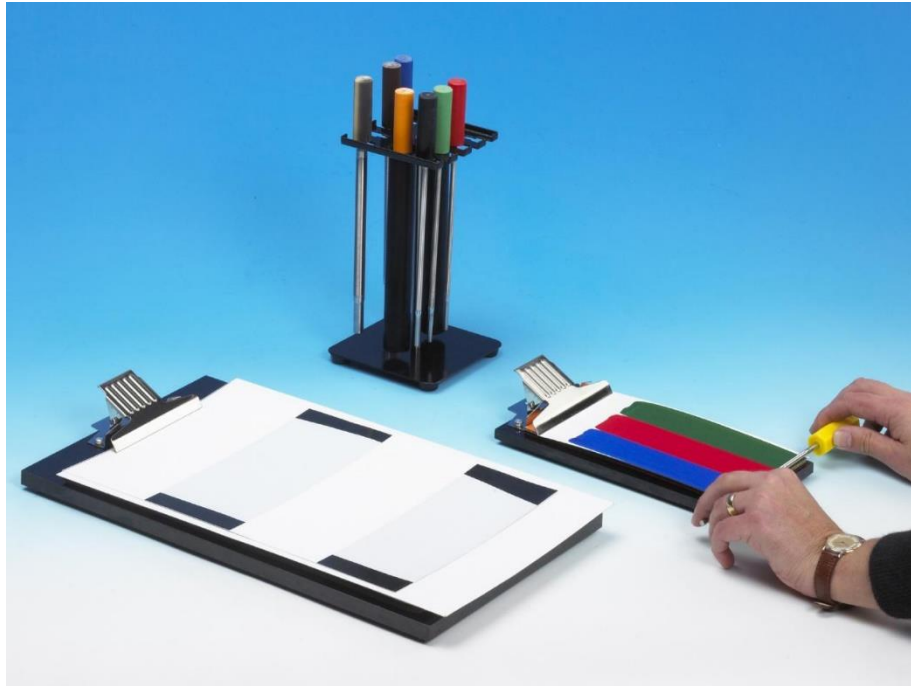
Slika 4. Uređaj PTI-Line Bekk

Tablica 2. 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 |

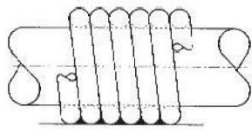
3.2.3. Otiskivanje

Uzorci Navigator papira otisnuti su pomoću K Hand Coater uređaja proizvođača RK PrintCoat Instruments Ltd (Slika 5.). Boja se, pri tom, nanosila u punom tonu, u jednom smjeru, koristeći metalni štap (engl. K bar coating) oko kojeg je namotana metalna žica u svrhu apliciranja željene debljine nanosa boje. Kod ovog uređaja različita debljina namotane metalne žice i gustoća namatanja utječu na debljinu mokrog filma boje koja će se nanositi na podlogu i izražava se različitim brojevima štapova (slika 6.). U ovom ispitivanju korišten je štap br. 1 (žuti *K bar*) koji sadrži tzv. zatvoreni navoj i omogućuje apliciranje filma boje od 6 mikrometara u mokrom stanju.



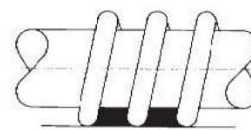
Slika 5. Prikaz nanosa boje pomoću K Hand Coater uređaja [10]

STANDARD K BARS



CLOSE WOUND

| Bar No. | Colour Code | Wire Diameter | | Wet Film Deposit | |
|---------|-------------|---------------|------|------------------|-----|
| | | INS | MM | INS | um |
| 0 | White | 0.002 | 0.05 | 0.00015 | 4 |
| 1 | Yellow | 0.003 | 0.08 | 0.00025 | 6 |
| 2 | Red | 0.006 | 0.15 | 0.0005 | 12 |
| 3 | Green | 0.012 | 0.30 | 0.0010 | 24 |
| 4 | Black | 0.020 | 0.51 | 0.0015 | 40 |
| 5 | Horn | 0.025 | 0.64 | 0.0020 | 50 |
| 6 | Orange | 0.030 | 0.76 | 0.0025 | 60 |
| 7 | Brown | 0.040 | 1.02 | 0.0030 | 80 |
| 8 | Blue | 0.050 | 1.27 | 0.0040 | 100 |
| 9 | Tan | 0.060 | 1.52 | 0.0050 | 120 |



OPEN WOUND

| Bar No. | Wire Diameter | | Wet Film Deposit | |
|---------|---------------|------|------------------|-----|
| | INS | MM | INS | um |
| 150 | 0.010 | 0.25 | 0.006 | 150 |
| 200 | 0.014 | 0.36 | 0.008 | 200 |
| 300 | 0.020 | 0.51 | 0.012 | 300 |
| 400 | 0.030 | 0.76 | 0.016 | 400 |
| 500 | 0.040 | 1.00 | 0.020 | 500 |

Slika 6. Vrste štapova i pripadajuće debljine apliciranog filma boje K Hand Coater uređaja [10]

3.2.4. Sušenje otisnutih uzoraka

Nakon ručnog otiskivanja K Hand Coater uređajem, uzorci su sušeni UV zračenjem u uređaju za sušenje otisaka Akрилprint L (Technigraf, Njemačka). Sustav za sušenje otisaka (Slika 7.) sadrži živo-srebrnu lampu s rasponom UV zračenja od 200-400 nm i energijom od 120 W/cm. Na uređaju je omogućeno podešavanje količine UV zračenja koje pada na uzorak pomoću dva potenciometra. S jednim se podešava jakost lampe između 40-100%, a s drugim brzina pokretne trake od 3-35 m/min. Prilikom sušenja uzoraka intenzitet zračenja bio je podešen na 80%, a brzina kretanja trake na 4 m/min. Kako bi se sušenje fotopolimerizacijom otisnutih boja sigurno izvršilo do kraja, s obzirom na nešto veći nanos boje koji je uvjetovan korištenjem specifičnog K Hand Coater štapa, otiske smo propuštali dva puta kroz uređaj za sušenje.



Slika 7. UV sušionik Akрилprint L (Technigraf, Njemačka)

3.2.5. Test struganja otisaka

Za ispitivanje otpornosti otisaka prema struganju prema standardu BS 3110: *Methods for measuring the rub resistance of print* korišten je uređaj Hanatek RT4 Rub and Abrasion Tester (slika 9). Temeljni dio uređaja čine dva diska različitih polumjera, koji su cijelom površinom u dodiru. Pogonjeni elektromotorom, diskovi rotiraju istim kutnim brzinama.

Ispitivanje otpornosti otisaka prema struganju (grebanju) razvijeno je kako bi se simulirala oštećenja do kojih može doći prilikom rukovanja i transporta. Test struganja se izvodi upotrebom posebnog nastavka (Slika 8) koji sadrži abrazivnu spužvicu od žice, koji se stavlja na gornji, manji disk. Otisak se, za vrijeme ispitivanja, nalazi položen na veći donji disk,

pričvršćen metalnim prstenom, pri čemu mu je otisnuta strana okrenuta prema gore. Abrazivna površina žičane spužvice koja je sastavni dio gornjeg diska tijekom cijelog ispitivanja u kontaktu je s otiskom kroz rotaciju i na njega djeluje određenim pritiskom. Tlak koji djeluje na uzorke moguće je podesiti na 0.5, 1.0 i 2.0 p.s.i. (engl. pound per square inch), što u SI sustavu iznosi 3.5, 6.9 i 13.8 kPa, što se regulira postavljanjem utega različite mase na gornji disk. Broj okretaja diskova također je moguće regulirati, a standard BS 3110 preporuča korištenje 50 okretaja po testiranju. Brzina okretaja diskova je konstantna i iznosi 60 okretaja u minuti (tj.1 okretaj u sekundi). Nakon provedenog ispitivanja, na otisnutim uzorcima se vizualno promatra stupanj oštećenja nastao zbog abrazije.



Slika 8. abrazivna spužvica od žice



Slika 9. Uređaj Hanatek Rub and Abrasion Tester

Tablica 3. 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 |

3.2.6. Snimanje otisaka mikroskopom

Otisnuti uzorci su također snimani mikroskopom koristeći Leica EZ4 D Stereo Microscope (Slika 10.) pod povećanjem od 8 x pri čemu je namješteno da trosmjerno LED osvjetljenje pada s gornje (dvije lampice) i donje strane uzorka (jedna lampica). Uzorci se snimaju neposredno prije testa struganja te ponovno nakon provedbe testa kako bi se slikovno zabilježile promjene na otiscima nastale struganjem.



Slika 10. Korišteni mikroskop Leica EZ4 D Stereo Microscope

3.3. Rezultati istraživanja

3.3.1. Rezultati ispitivanja debljine papira mikrometrom

U tablici 4. su prikazani rezultati ispitivanja debljine papira mikrometrom. Ispitano je 10 različitih papira iz iste serije te je određena aritmetička sredina i standardna devijacija.

Tablica 4. Rezultati ispitivanja debljine papira

| MIKROMETAR | DEBLJINA (mm) |
|------------|---------------|
| <i>A</i> | 0,170 |
| σ | 0,003 |

A- aritmetička sredina deset uzastopnih mjerenja

σ - standardna devijacija

3.3.2. Rezultati ispitivanja glatkosti papira metodom po Bekk-u

U tablici 5. su prikazani rezultati ispitivanja glatkosti papira metodom po Bekku, za obje strane papira (A, B). Mjerenje je izvršeno na 5 papira.

Tablica 5. Rezultati ispitivanja glatkosti papira metodom prema Bekku

| BEKK | GLATKOST [s] | |
|----------|--------------|----------|
| <i>A</i> | 76.30 | 78.48 |
| σ | 15.25 | 16.35 |
| | Strana A | Strana B |

A- aritmetička sredina deset uzastopnih mjerenja

σ - standardna devijacija

Budući da se rezultati glatkosti izmjereni na obje strane minimalno razlikuju, možemo zaključiti da ovaj papir ima ukupnu glatkost po Bekku od 77 sekundi.

3.3.3. Rezultati ispitivanja struganja otisaka

Test otpornosti prema struganju proveden je na jednoj termokromnoj (TC) boji, tri miješane boje nastale kombiniranjem TC boje s po jednom konvencionalnom bojom u omjeru 9:1, te na tri čiste konvencionalne boje koje smo rabili za izradu „kombiniranih“ otisaka. Ispitivanje se izvršilo na sva tri različita tlaka te pri 50 okretaja. Ispitivanje se pri svakom testnom uvjetu izvršilo s jednim ponavljanjem kako bi se dobili što realističniji rezultati. Rezultati su prikazani u Tablicama 6-12, 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

a) Termokromna zelena boja

Tablica 6. Rezultati ispitivanja otpornosti prema struganju TC zelene boje

| uzorak | Tlak | | |
|----------------|---------|---------|---------|
| | PSI 0.5 | PSI 1.0 | PSI 2.0 |
| 1 | 2-3 | 5 | 5 |
| 2 | 3 | 4-5 | 5 |
| <i>Prosjek</i> | 3 | 5 | 5 |

U nastavku su prikazane mikroskopske snimke (povećanje od 8x) kojima smo pokušali vizualno prikazati oštećenja koja su se javila na otiscima nakon njihovog izlaganja struganju pri različitim pritiscima.

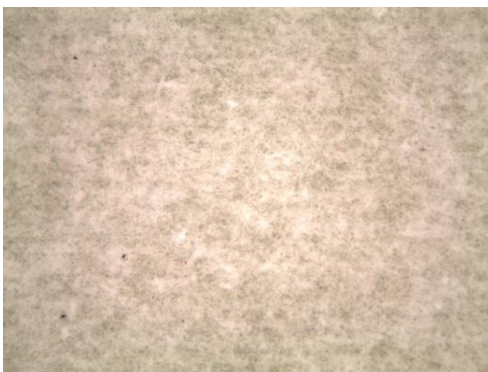
TC zelena boja – original (prije struganja)



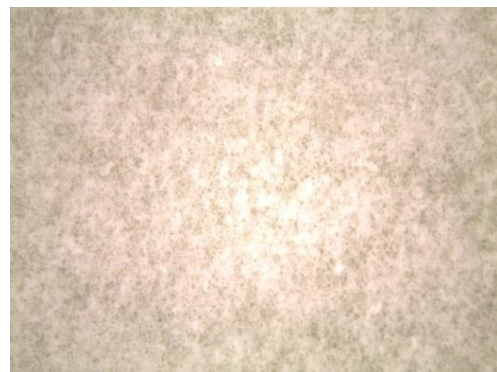
TC zelena boja – struganje pri 0.5 PSI



TC zelena boja – struganje pri 1.0 PSI



TC zelena boja – struganje pri 2.0 PSI



Slika 11. Vizualni prikaz promjena na otiscima nakon provedbe testa struganja

b) Termokromna (TC) zelena + magenta boja

Tablica 7. Rezultati ispitivanja otpornosti prema struganju TC zelene + magenta boje

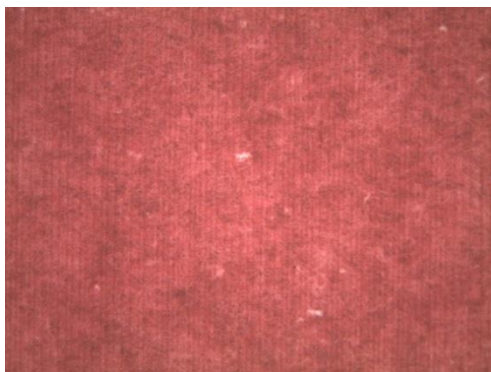
| Uzorak | Tlak | | |
|----------------|---------|---------|---------|
| | PSI 0.5 | PSI 1.0 | PSI 2.0 |
| 1 | 2 | 4 | 5 |
| 2 | 2 | 3-4 | 5 |
| <i>Prosjek</i> | 2 | 4 | 5 |

TC zelena+ magenta boja – original (prije struganja) TC zelena+magenta boja – struganje pri 0.5 PSI



TC zelena+magenta boja – struganje pri 1.0 PSI

TC zelena+magenta boja – struganje pri 2.0 PSI



Slika 12. Vizualni prikaz promjena na otiscima nakon provedbe testa struganja

c) Termokromna zelena + plava boja

Tablica 8. Rezultati ispitivanja otpornosti prema struganju TC zelene + plave boje

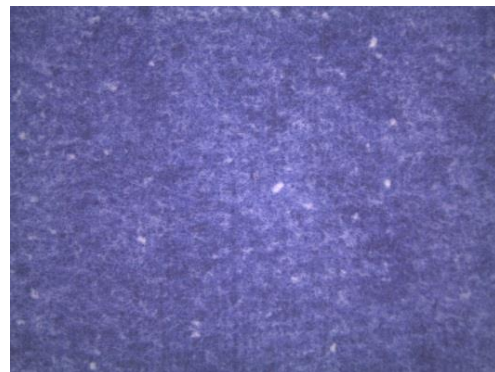
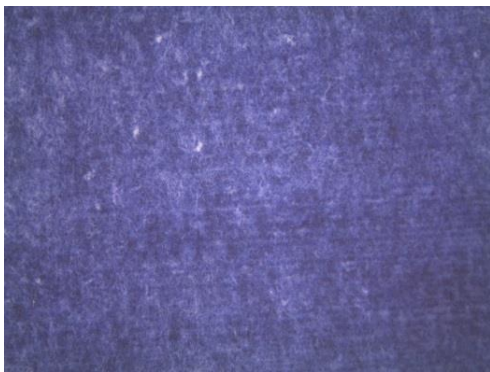
| Uzorak | Tlak | | |
|----------------|---------|---------|---------|
| | PSI 0.5 | PSI 1.0 | PSI 2.0 |
| 1 | 2 | 3 | 5 |
| 2 | 2 | 2-3 | 4-5 |
| <i>Prosjek</i> | 2 | 3 | 5 |

TC zelena+ plava boja – original (prije struganja) TC zelena+plava boja – struganje pri 0.5 PSI



TC zelena+plava boja – struganje pri 1.0 PSI

TC zelena+plava boja – struganje pri 2.0 PSI



Slika 13. Vizualni prikaz promjena na otiscima nakon provedbe testa struganja

d) Termokromna (TC) zelena + žuta boja

Tablica 9. Rezultati ispitivanja otpornosti prema struganju TC zelene + žute boje

| Uzorak | Tlak | | |
|----------------|---------|---------|---------|
| | PSI 0.5 | PSI 1.0 | PSI 2.0 |
| 1 | 2 | 3 | 5 |
| 2 | 2 | 2-3 | 5 |
| <i>Prosjek</i> | 2 | 3 | 5 |

TC zelena+žuta boja – original (prije struganja)



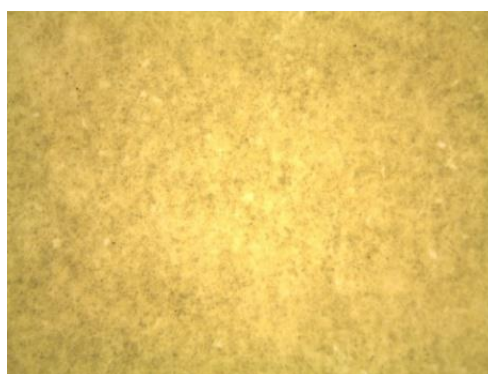
TC zelena+žuta boja – struganje pri 0.5 PSI



TC zelena+žuta boja – struganje pri 1.0 PSI



TC zelena+žuta boja – struganje pri 2.0 PSI



Slika 14. Vizualni prikaz promjena na otiscima nakon provedbe testa struganja

e) konvencionalna žuta boja

U slučaju testiranja otisaka nastalih s konvencionalnim UV sušećim flekso bojama, zbog ograničenog broja uzoraka, otiske smo podvrgnuli testiranju samo pri tlakovima od 1.0 i 2.0 PSI.

Tablica 10. Rezultati ispitivanja otpornosti prema struganju konvencionalne žute boje

| Uzorak | Tlak | | |
|----------------|---------|---------|---------|
| | PSI 0.5 | PSI 1.0 | PSI 2.0 |
| 1 | - | 1 | 1 |
| 2 | - | 1 | 1 |
| <i>Prosjek</i> | - | 1 | 1 |

Žuta boja– original (prije struganja)



Žuta boja – struganje pri 1.0 PSI



Žuta boja – struganje pri 2.0 PSI



Slika 15. Vizualni prikaz promjena na otiscima nakon provedbe testa struganja

e) konvencionalna magenta boja

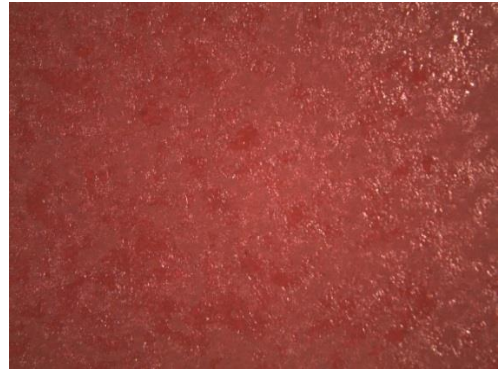
Tablica 11. Rezultati ispitivanja otpornosti prema struganju konvencionalne magenta boje

| Uzorak | Tlak | | |
|----------------|---------|---------|---------|
| | PSI 0.5 | PSI 1.0 | PSI 2.0 |
| 1 | - | 2-3 | 4 |
| 2 | - | 3 | 3-4 |
| <i>Prosjek</i> | - | 3 | 4 |

Magenta boja– original (prije struganja)



Magenta boja – struganje pri 1.0 PSI



Magenta boja – struganje pri 2.0 PSI



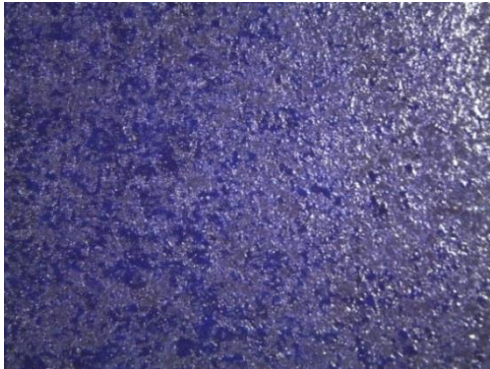
Slika 16. Vizualni prikaz promjena na otiscima nakon provedbe testa struganja

e) konvencionalna plava boja (072 Pantone)

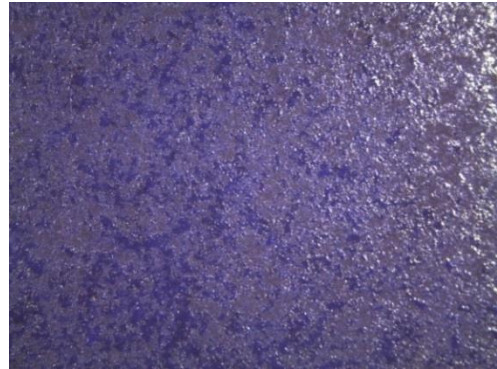
Tablica 12. Rezultati ispitivanja otpornosti prema struganju konvencionalne plave boje

| Uzorak | Tlak | | |
|----------------|---------|---------|---------|
| | PSI 0.5 | PSI 1.0 | PSI 2.0 |
| 1 | - | 1-2 | 2 |
| 2 | - | 2 | 2 |
| <i>Prosjek</i> | - | 2 | 2 |

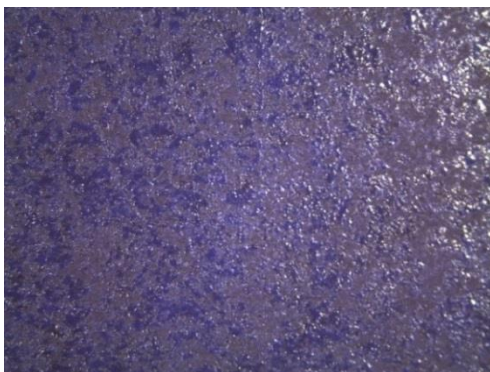
Plava boja – original (prije struganja)



Plava boja – struganje pri 1.0 PSI



Plava boja – struganje pri 2.0 PSI



Slika 17. Vizualni prikaz promjena na otiscima nakon provedbe testa struganja

4. DISKUSIJA REZULTATA

Vizualne procjene testa otpornosti prema struganju ukazuju da najmanju otpornost prema struganju pokazuju otisci dobiveni s termokromnom zelenom bojom (Tablica 6.). Kod te je boje, čak i pri najmanjem tlaku (0.5 PSI) zabilježeno vidljivo struganje otisaka dok se s povećanjem pritiska, stupanj otiranja značajno povećao, pa je pri višim tlakovima (1.0, 2.0 PSI) zabilježeno vrlo izraženo struganje otisaka. No, za razliku od toga, pri dodavanju 10% udjela konvencionalnih boja termokromnoj zelenoj boji otpornost prema struganju se pri najnižem primijenjenom pritisku poboljšavaju te su kod svih kombinacija boja zabilježene male naznake struganja otisaka (Tablice 7, 8, 9.). S povećanjem pritiska tj. na tlaku od 1.0 PSI najlošiji rezultat je uočen kod kombinacije termokromne zelene + magenta boje kod koje je zabilježeno izraženo struganje otisaka dok je kod termokromne zelene + plave i termokromne zelene + žute zabilježeno vidljivo struganje otisaka. Pri najvećem tlaku (2.0 PSI) kod svih tri kombinacija boja zabilježeno je vrlo izraženo struganje otisaka. U slučaju ispitivanja otpornost prema struganju za konvencionalne boje (žuta, magenta, 072 Pantone plava) koji su provedeni samo pri tlakovima od 1.0 i 2.0 PSI, konvencionalna žuta boja pokazala je najbolju otpornost prema struganju jer je pri oba pritiska zabilježeno neprimjetno struganje otisaka (Tablica 10.). No, za razliku od toga, kod konvencionalne magenta boje zabilježeno je vidljivo struganje otisaka pri tlaku od 1.0 PSI te izraženo struganje otisaka pri tlaku od 2.0 PSI (Tablica 11.). Što se tiče konvencionalne plave boje zabilježene su pri oba tlaka (1.0 i 2.0 PSI) male naznake struganja otisaka (Tablica 12.). Budući da je konvencionalna magenta boja od svih konvencionalnih boja pokazala najlošiju otpornost prema struganju pri tlakovima od 1.0 i 2.0 PSI, ne iznenađuje rezultat vrlo niske otpornosti prema struganju boje koja je nastala miješanjem termokromne zelene i magente pri istim radnim tlakovima.

5. ZAKLJUČAK

Na temelju istraživanja koje je provedeno donesen je sljedeći zaključak. Najmanju otpornost prema struganju pokazala je čista termokromna zelena boja, kod koje je pri svim radnim tlakovima uočeno vidljivo do vrlo izraženo struganje otisaka. Pri miješanju termokromne zelene boje s konvencionalnim bojama, otpornost prema struganju se donekle poboljšava ali ne značajno te pri višim radnim pritiscima i te boje prikazuju minimalnu otpornost. Konvencionalna žuta boja pokazala je najbolju otpornost prema struganju dok su konvencionalne boje magenta i 072 Pantone plava pokazale slabiju otpornost prema struganju. Kao ukupni zaključak istraživanja provedenog u ovom radu može se ustanoviti da čista termokromna boja kao i u kombinaciji s konvencionalnim bojama nije poželjna za izradu ambalažnih otisaka, dok su čiste konvencionalne boje u određenim granicama prihvatljivosti, s izuzetkom magenta boje koja je pokazala najslabiju otpornost prema struganju.

6 LITERATURA

1. Jamnicki Hanzer, S., Šprem L., Perica E. : Otpornost termokromnih ofsetnih boja prema otiranju, Tiskarstvo i dizajn 2019 - Zbornik radova, Žiljak Gršić, Jana (ur.). Zagreb: Fotosoft d.o.o., 2019. str. 75-83, dostupno na:
<https://www.tiskarstvo.net/printing&design2019/ZbornikRadovaTISKARSTVO2019.pdf>
2. Jamnicki Hanzer S., (2021). Nastavni tekst iz kolegija Tiskarske boje, dostupno na:
https://moodle.srce.hr/2020-2021/pluginfile.php/4545973/mod_resource/content/2/Tiskarske%20boje_prvo%20predavanje.pdf
3. Sericolov priručnik za UV sito štampu, Sericol limited 2004., dostupno na:
<https://dokumen.tips/documents/vodic-za-uv-sitostampu.html>
4. UV curing flexographic Inks a formulating concept, David Helsby Rahn AG Zurich, Switzerland., dostupno na: <http://www.radtech.org/proceedings/2008/papers/095.pdf>
5. Kromogene tiskarske boje, dostupno na:
<http://materijali.grf.unizg.hr/media/Kromogene%20tiskarske%20boje.pdf>
6. Kulčar R., (2010). Kolorimetrijska analiza i parametri stabilnosti UV-termokromnih boja, Doktorski rad, Grafički fakultet
7. Homola J., (2003). Color Change Corp.; Color-Changing Inks, Brighten your bottom line, dostupno na: <http://www.xslabs.net/color-change/how-stuffworks.html>
8. Primjena termokromne boje, dostupno na: <https://hr.puntomariner.com/thermochromic-paint-composition-characteristics-application/>
9. Jakovljević Stržić M., (2018). Termokromne tiskarske boje na bazi tekućih kristala, Doktorski rad, Grafički fakultet
10. Hand coater. 2019. RK PrintCoat Instruments Ltd. Dostupno na:
<https://www.rkprint.com/wp-content/uploads/2018/02/New-K-HAND-COATER.pdf>

7 POPIS SLIKA I TABLICA

Slika 1. Primjena termokromne boje

Slika 2. Prikaz promjene obojenja zelene termokromne boje kada se otisak dodirne rukama

Slika 3. Elektronički ručni mikrometar za ispitivanje debljine papira, kartona i ljepenke

Slika 4. Uređaj PTI-Line Bekk

Slika 5: Prikaz nanosa boje pomoću K Hand Coater uređaja

Slika 6: Vrste štapova i pripadajuće debljine apliciranog filma boje K Hand Coater uređaja

Slika 7. UV sušionik Akрилprint L (Technigraf, Njemačka)

Slika 8. abrazivna spužvica od žice

Slika 9. Uređaj Hanatek Rub and Abrasion Tester

Slika 10. Korišteni mikroskop Leica EZ4 D Stereo Microscope

Slika 11. Vizualni prikaz promjena na otiscima nakon provedbe testa struganja

Slika 12. Vizualni prikaz promjena na otiscima nakon provedbe testa struganja

Slika 13. Vizualni prikaz promjena na otiscima nakon provedbe testa struganja

Slika 14. Vizualni prikaz promjena na otiscima nakon provedbe testa struganja

Slika 15. Vizualni prikaz promjena na otiscima nakon provedbe testa struganja

Slika 16. Vizualni prikaz promjena na otiscima nakon provedbe testa struganja

Slika 17. Vizualni prikaz promjena na otiscima nakon provedbe testa struganja

Tablica 1. Tehničke značajke mikrometra dostupnog u laboratoriju

Tablica 2. Tehničke karakteristike uređaja PTI-Line Bekk

Tablica 3. Tehničke karakteristike Hanatek uređaja

Tablica 4. Rezultati ispitivanja debljine papira

Tablica 5. Rezultati ispitivanja glatkosti papira metodom prema Bekku

Tablica 6. Rezultati ispitivanja otpornosti prema struganju TC zelene boje

Tablica 7. Rezultati ispitivanja otpornosti prema struganju TC zelene + magenta boje

Tablica 8. Rezultati ispitivanja otpornosti prema struganju TC zelene + plave boje

Tablica 9. Rezultati ispitivanja otpornosti prema struganju TC zelene + žute boje

Tablica 10. Rezultati ispitivanja otpornosti prema struganju konvencionalne žute boje

Tablica 11. Rezultati ispitivanja otpornosti prema struganju konvencionalne magenta boje

Tablica 12. Rezultati ispitivanja otpornosti prema struganju konvencionalne plave boje