

Mehanička otpornost otisaka na ekološki prihvatljivim tiskovnim podlogama

Majetić, Lucija

Master's thesis / Diplomski rad

2022

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:216:097228>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-10-10**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Graphic Arts Repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAFIČKI FAKULTET

LUCIJA MAJETIĆ

MEHANIČKA OTPORNOST OTISAKA NA
EKOLOŠKI PRIHVATLJIVIM TISKOVNIM
PODLOGAMA

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2022



Sveučilište u Zagrebu
Grafički fakultet

LUCIJA MAJETIĆ

MEHANIČKA OTPORNOST OTISAKA NA
EKOLOŠKI PRIHVATLJIVIM TISKOVNIM
PODLOGAMA

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

doc. dr. sc. Marina Vukoje

Student:

Lucija Majetić

Zagreb, 2022

SAŽETAK

Termokromne tiskarske boje prilikom promjene temperature mijenjaju obojenje. Zahvaljujući toj mogućnosti otisnutom proizvodu daju dodatnu vrijednost pa se često primjenjuju u komercijalne svrhe, sigurnosnom tisku te pametnoj ambalaži. Termokromne boje mogu biti na bazi leuko bojila i tekućih kristala pri čemu se razlikuju prema jednostavnosti primjene, točnosti indikacije temperature i mogućnosti primjene obojenja unutar vidljivog spektra. Termokromne boje mogu se podijeliti na reverzibilne koje mijenjaju svoje obojenje iz jedne boje u drugu ili iz obojenog u obezbojeno stanje, no kada se temperatura vrati u početnu i boja se vraća u prvobitno stanje. Dok se ireverzibilna boja nakon što jednom promijeni stanje promjenom temperature i dalje ostaje ista. Prilikom transporta proizvodi su često u međusobnom kontaktu. U ovom radu ispitat će se kako termokromne boje na različitim podloga reagiraju na otiranje. Pomoću spektrofotometra napraviti će se kolorimetrijska mjerenja te će rezultati biti prikazani u CIELAB prostoru boja. Izračunati će se ukupna razlika boje CIEDE2000 pomoću koje je moguće odrediti promjenu do koje je u boji došlo.

Ključne riječi: termokromne boje, ekološki prihvatljive podloge, održivost, otiranje

Sadržaj

1. UVOD.....	1
1.1. Cilj i hipoteze diplomskog rada	1
2. TEORIJSKI DIO.....	2
2.1. Kromogene boje.....	2
2.2. Termokromne boje	2
2.2.1. Termokromne boje na bazi tekućih kristala.....	3
2.2.2. Termokromne boje na bazi leukoboja	4
2.3. Etikete	5
2.3.1. Papirnate naljepnice lijepljenje ljepilom	7
2.3.2. Samoljepive naljepnice	7
2.4. CIELAB prostor boja.....	11
3. EKSPERIMENTALNI DIO	12
3.1. Papir	12
3.2. Boja.....	13
3.3. Korišteni uređaji i metode.....	14
4. REZULTATI I RASPRAVA.....	17
4.1. Krivulje spektralne refleksije.....	17
4.2. Rezultati kolorimetrijskih mjerenja	30
5. ZAKLJUČAK	34
6. LITERATURA.....	35

1. UVOD

U današnje vrijeme svijet bez ambalaže bio bi nezamisliv, jer se u njoj proizvod skladišti, transportira, ali i prodaje. Ambalaža sadrži bitne informacije o proizvodu, proizvođaču, načinu skladištenja i primjene, o roku trajanja proizvoda i slično. Proizvodnja i potrošnja ambalaže u svijetu je u porastu, ali sve više se počinje osvješćivati ekološka funkcija. Kako bi se što više smanjio štetan učinak na okoliš, ambalaža se sve više izrađuje od recikliranog materijala, promovira se ambalaža proizvedena iz jednog materijala i ona koju je lako reciklirati. S tom svrhom razvijaju se ekološki prihvatljive podloge.

Zahvaljujući mogućnosti termokromnih boja da pri promjeni temperature mijenjaju obojenje otisnutom proizvodu daju dodatnu vrijednost pa se često primjenjuju u komercijalne svrhe, sigurnosnom tisku te pametnoj ambalaži. Razlikujemo termokromne na bazi tekućih kristala te na bazi leukobojila. Termokromne boje na bazi leukobojila češće se koriste radi jednostavnijeg rukovanja, veće izdržljivosti te niže cijene. Boje na bazi leukobojila sastavljene su od bojila, razvijaača i otapala. Ispod aktivacijske temperature su u obojenom stanju dok u neobojeno prelaze iznad aktivacijske temperature. [2]

1.1. Cilj i hipoteze diplomskog rada

Cilj diplomskog rada je istraživanjem utvrditi kako različite tiskovne podloge na bazi recikliranih vlakana utječu na mehaničku stabilnost UV sušećih ofsetnih otisaka napravljenih termokromnim i konvencionalnim tiskarskim bojama. Cilj rada je i utvrditi kakvu mehaničku otpornost pokazuju otisci načinjeni od mješavica termokromnih i klasičnih UV boja. Pretpostavka jest da će termokromni otisci pokazati manju mehaničku otpornost prema otiranju u odnosu na one s konvencionalnim tiskarskim bojama. Također pretpostavka je da će otisci na neupojnim podlogama pokazati manju mehaničku otpornost od onih na upojnim podlogama.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. Kromogene boje

Proces u kojem dolazi do reverzibilne ili ireverzibilne promjene boje naziva se kromizam. Reverzibilne boje mijenjaju obojenje samo prilikom trajanja podražaja, dok ireverzibilne boje promjene temperature mijenjaju obojenje koje zadržavaju i nakon prestanka djelovanja podražaja. Kromogene boje mijenjaju obojenje prilikom utjecaja određenog vanjskog podražaja. Ovisno o vrsti vanjskog podražaja kromogene boje možemo podijeliti na:

- termokromne boje (promjena obojenja pod utjecajem promjene temperature)
- fotokromne boje (promjena obojenja pod utjecajem svjetla)
- elektrokromne boje (promjena obojenja pod utjecajem promjene električnog polja u blizini)
- halokromne boje (promjena obojenja pod utjecajem promjene pH vrijednosti)
- piezokromne boje (promjena obojenja pod utjecajem pritiska)
- biokromne boje (promjena obojenja pod utjecajem biokemijske reakcije)

Najčešće korištene su termokromne i fotokromne boje. Kromogene materijale u tiskarskim bojama je potrebno zaštititi mikrokapsulama koje su veće od konvencionalnih pigmenata. Kromogene boje koriste se za izradu vremenskih i temperaturnih indikatora te indikatora svježine. Kromogene boje u kombinaciji s RFID tehnologijom koriste se za izradu etiketa koje sadrže puno podataka o proizvodu, njegovom skladištenju, transportu i roku trajanja. [1]

2.2. Termokromne boje

Termokromne boje su kromogene boje koje mijenjaju obojenje prilikom promjene temperature. Zahvaljujući toj sposobnosti termokromne boje nailaze primjenu na pametnoj ambalaži, sigurnosnom tisku, promotivnim i marketinškim materijalima. U početcima termokromni materijali rađeni su na bazi tekućih kristala te je njihovo korištenje i zaštita bilo komplicirano. Pojavom mikrokapsulacije kreću se sve brže razvijati te nastaju termokromne tiskarske boje i papiri. Ubrzo su otkrivene i druge

molekule koje imaju sposobnost obojenja, a jedna od njih su leuko bojila. Svoju praktičnu primjenu termokromne boje zaživjele su u prehrambenoj industriji kao indikatori temperature i svježine, stoga se koriste na bocama za pivo, vina, vodu pri čemu upućuju na idealnu temperaturu za konzumiranje. Koriste se i kao indikatori upozorenja na dječjim bočicama, za indicaciju svježine na namirnicama. Koriste se i u sigurnosnom tisku, kako bi se jednostavno i brzo utvrdili podaci ali i kako bi se sakrile određene informacije. Termokromni materijali primjenu su našli i za komercijalne svrhe pa ih se često može uočiti na šalicama, promotivnim letcima, ukrasnim tapetama, nakitu i slično. Dva su tipa termokromnih boja, na bazi tekućih kristala i na bazi leukobojila koje se češće koriste radi jednostavnijeg rukovanja, veće izdržljivosti i niže cijene. [2]

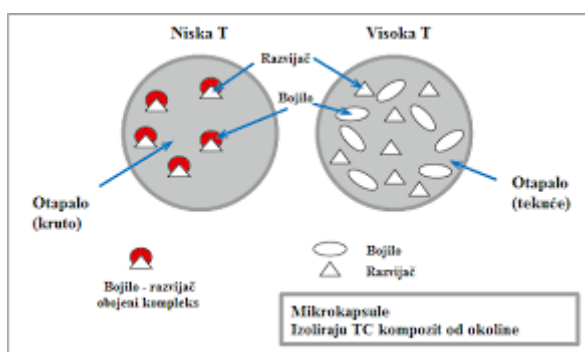
2.2.1. Termokromne boje na bazi tekućih kristala

Tekući kristali su tvari koje se mogu naći u stanju između tekućine i krutog kristala, molekule im se mogu međusobno izvijati ali zadržavaju geometrijski red. Zagrijavanjem se narušava njihova geometrija i tako dolazi do promjene u valnim dužinama reflektiranog svjetla pa zbog toga mijenjaju boju. Promjena obojenja kreće od crvene boje koja prelazi u narančastu, žutu, zelenu te plavu boju.

Tekući kristali mogu kontinuirano mijenjati spektar boja u određenom temperaturnom rasponu što ih razlikuje od leukobojila. Raspon temperature u kojem tekući kristali reflektiraju vidljivo svjetlo naziva se širina pojasa. Tekući kristali porastom temperature prolaze kroz svoju širinu pojasa reflektirajući vidljivo svjetlo od dužih do kraćih valnih duljina dok ne dopiju do temperaturne točke prekida koja se još naziva i kritična temperatura, temperatura plave točke ili gornji temperaturni limit. Kada tekući kristali prijeđu kritičnu temperaturu postaju transparenti. Kako bi se postigao što bolji vizualni efekat boje trebalo bi ju promatrati nasuprot crne podloge. Njihova primjena je rjeđa od leukobojila te se koriste kod posebnih eksperimenata i proizvoda u kojima je bitna i najmanja promjena u temperaturi. [2]

2.2.2. Termokromne boje na bazi leukobojila

Termokromne boje na bazi leukobojila sastoje se od najmanje tri komponente: bojila, razvijaa i otapala. Kako bi se postigao što bolji termokromni efekt komponente moraju biti u točno određenim omjerima i mikrokapsulirane. Termokromne boje na bazi leukobojila ispod aktivacijske temperature su u obojenom stanju, dok u neobojeno prelaze iznad aktivacijske temperature. Reverzibilna promjena boje događa se reakcijom između bojila i razvijaa te usporednom reakcijom otapala i razvijaa. Dosežanjem aktivacijske temperature organsko otapalo prelazi u tekuće stanje, dok je pri nižim temperaturama u krutom stanju. Prelaskom u tekuće stanje otapalo uzrokuje raspad kompleksa bojila i razvijaa zbog čega interakcija otapala i razvijaa postaje sve jača, a boja prelazi iz obojenog u neobojeno stanje. Boja se vraća u prvobitno stanje hlađenjem tako što se otapalo stvrdne pa razvijaa i bojilo opet tvore obojeni kompleks. Temperatura aktivacije je kod boja na bazi leukobojila ona temperatura pri kojoj se otapa otapalo. Kako bi se osigurao visok kontrast boje između obojenog i obojenog stanja, prihvatljiva stabilnost boje u oba stanja i brz odaziv na temperaturu, kompleks leuko bojilo-razvijaa-otapalo mora biti optimiziran. Cjelokupni sustav potreba za stvaranje obojenja nalazi se u svakoj mikrokapsuli koja mora biti otporna na standardno miješanje i proces primjene. Mikrokapsule su veličine od 3 – 5 µm te nisu inertne i netopive kao što je to slučaj s konvencionalni pigmentima.



Slika 1. Shematski prikaz kompleksa leukobojilo-razvijaa-otapalo

(Izvor: <https://zir.nsk.hr/islandora/object/pmf%3A300/datastream/PDF/view>)

Na tržištu je moguće pronaći ireverzibilne i reverzibilne boje na bazi leukobojila čija se aktivacijska temperatura kreće od -15 °C do 65°C. Boje na bazi leukobojila se mogu podijeliti u tri kategorije s obzirom na aktivacijsku temperaturu, na vruće (~43°C), na

temperaturu blisku ljudskom tijelu ($\sim 31^{\circ}\text{C}$) i na hladno ($\sim 10^{\circ}\text{C}$). Miješanjem leukobojila i procesnih tiskarskih boja postiže se mogućnost mijenjanja boje iz jednu u drugu. Miješanjem termokromnih pigmenata s različitim temperaturama topljenja dobiva se da jedna komponenta blijedi i postaje bezbojna otapanjem dok se boja mijenja u drugu komponentu koja sadrži pigment veće temperature topljenja. Boje na bazi leukobojila snažnija su i jeftinija od onih na bazi tekućih kristala. Koriste se kod proizvoda koji ne zahtijevaju veliku temperaturnu preciznost pa se koriste kod ambalaže za hladne napite i kavu, gdje je potrošaču bitno znati da li je napitak vruć ili hladan (slika 3.) [4]



Slika 2. Primjeri primjene termokromnih boja na bazi leukobojila

(Izvor:<https://eprints.grf.unizg.hr/2848/1/Doktorski%20rad%20Stri%c5%bei%c4%87%20Jakovljevi%c4%87%20Maja.pdf>)

2.3. Etikete

Upotreba etikete u obliku kojem su danas prepoznatljive može se pratiti od ranih 1700-ih. Tada su se koristile za identifikaciju proizvoda poput lijekova i tkanina. Razvojem obrazovanja i masovnog opismenjavanja 1800-ih u vrijeme evolucije masovne proizvodnje hrane i pića u bocama i limenkama dovodi do razvoja etiketa. Postalo je nužno staviti opisne informacije o proizvodu i informacije o robnoj marki. Korištenje stroja za izradu papira i izum litografije omogućili su ekonomičnu proizvodnju velikih količina papira iste kvalitete koji se otiskivao. Proizvođačima je omogućeno da sami pakiraju i označavaju svoje proizvode umjesto da ih pojedinačno izvažu i zamotaju trgovci namirnicama. U početku naljepnice su se tiskale na običnom papiru i rezale giljotinom na pravokutan oblik prije nanošenja mokrog ljepila. Zatim su izrađeni strojevi koji nanašaju mokro ljepilo na stražnju stranu naljepnice i koje se zatim nalijepe na bocu ili limenku. Do 1970-ih dominirale su etikete nanosene mokrim ljepilom za staklene boce

i limenke te gumirane papirnate naljepnice za označavanje adresa. Samoljepive naljepnice izumljene su sredinom 1930-ih, a kasnije se razvijaju te koriste kao dodana vrijednost pri označavanju kozmetike, lijekova i slično. Od tada brojni čimbenici utjecali su na svijet etiketa:

- Brz rast i pojava računalno generiranih i tiskanih naljepnica,
- Naljepnice s bar kodom i varijabilnim informacijama,
- Velik rast korištenja plastičnih spremnika,
- Relativno nizam rast korištenja staklenih boca i limenki,
- Novi zahtjevi za naljepnice protiv krađe, zaštite od neovlaštenog otvaranja i krivotvorenja,
- Novi zahtjevi za promotivne naljepnice, naljepnice za brošure i letke.

Pojavljuje se i inovacije pametnih naljepnica koje mogu pratiti proizvode, promjene temperature, pokazivati svježinu hranu, pružati antimikrobne i antibakterijske funkcije te pružati smjernice o najboljoj temperaturi za konzumaciju. Razvojem elektrofotografije i ink-jet tehnologije omogućila se i proizvodnja na zahtjev, personalizacija odnosno sve više verzija i varijacija etiketa, dok vremenski rok postaje sve kraći što utječe na dobavljače papira za naljepnice. Veliki utjecaj na proizvodnju i upotrebu etiketa imaju globalni pritisci na okoliš, održivost i otpad, što donosi promjene u materijalima, osvješćuje recikliranje i mogućnosti recikliranja, korištenje alternativnih vlakana, nepolimernih folija.

Svaka tehnologija ima svoje prednosti i nedostatke ovisno o potrebama i vrsti primjene. Neki od čimbenika koji utječu na odabir etiketa:

- Trošak materijala za etiketu,
- Trošak ispisa (broj boja, opcije u liniji i slično),
- Vizualni izgled,
- Trajnost,
- Fleksibilnost proizvodnje,
- Ekološka razmatranja (mogućnost recikliranja, povrata, uklanjanja i odlaganja otpada),
- Potrebne količine (male, srednje ili velike naklade),

- Vrijeme zastoja (postavljanje, čišćenje, uklanjanje krivo postavljenih etiketa),
- Potrebna svojstva etiketa (otpornost na kemikalije ili vodu, otpornost na mokro djelovanje, primjena na visokim ili niskim temperaturama),
- Potrebe za informacijama na naljepnici,
- Sigurnosne značajke.

2.3.1. Papirnate naljepnice lijepljenje ljepilom

Primjena papirnatih naljepnica lijepljenih mokrim ljepilom na staklene boce i limenke bila je jedna od prvih metoda. Usprkos brzom razvoju samoljepivih etiketa, koriste se u velikoj količini i danas. Mogu biti pojedinačne koje se koriste za pivo, alkoholna pića i vinske boce ili mogu biti omotne naljepnice koje se koriste na konzervirano hrani i bezalkoholnim pićima. Tiskaju se na običnom, metaliziranom ili kaširanom papiru, offsetnim ili fleksotiskom. Često se lakiraju kako bi pružale površinsku zaštitu tijekom lijepljenja, rukovanja i distribucije.

2.3.2. Samoljepive naljepnice

Samoljepive naljepnice, zvane i kao naljepnice osjetljive na pritisak, razvio je Stan Avery u SAD-u 1935. godine dok tridesetak godina kasnije postaju široko prihvaćene. Nudi najveći raspon materijala za vanjski sloj i ljepila od ostalih metoda. Najčešće korišteni materijali za izradu samoljepivih etiketa su:

- nepremazani papir i kartoni,
- strojno premazani, dvostruko premazani, visoko sjajni papiri i kartoni,
- polipropilen (PP),
- poliester (PET ili PETE),
- polietilen (PE) i polietilen visoke gustoće (HDPE),
- metalna folija,
- metalizirani papir i karton,
- metalizirani film,
- polivinil klorid (PVC),
- sintetički papir.

Debljina naljepnica može varirati do oko 40-50 μm do 80, 90, 100 ili više mikrona ovisno o potrebama i primjeni. Radi se i na razvoju samoljepivih filmova za naljepnice debljine 30 i čak do 20 μm koje mogu zahtijevati promjene u rukovanju strojevima i kontrolom napetosti te promjenama u štancanju. [5]

Podloga štiti ljepilo tijekom transporta, skladištenja i apliciranja. Tijekom nanošenja podloga se skida, a premaz na bazi silikona omogućava brzo i jednostavno uklanjanje. Za izradu podloga najčešće se koristi glasin i PET. Glasin je super kalandrirani, glatki papir, koji čini više od 70% podloge na europskom tržištu etiketa. Prenosi glasinu što je FSC certificiran, bez fosila, može se reciklirati, ima odličnu izvedbu na strojevima za apliciranje, daje dobru podlogu za štancanje malih etiketa te daje mogućnost opcije tiska na poledinu etikete. Druga najčešće korištena podloga je izrađena od PET-a za kojim potražnja raste. Rast je vođen trendom brzog apliciranja, u kojem je on najbolji odabir. Prednosti su mu iduće: tanji je i lakši od glasinu, omogućuje dulje kolute etiketa tako stvarajući učinkovitost u transportu i skladištenju te su niže emisije ugljičnog dioksida. Osim toga ima visoku čvrstoću i otpornost na vlagu, dosljednu izvedbu pri velikim brzinama, glatku površinu koja ne smanjuje jasnoću prozirnih etiketa, tanji je i lakši za veću operativnu i ekološku učinkovitost te se može reciklirati.

Iako podloge čine mali dio u ambalaži, mogu imati veliki utjecaj na održivost. Procjenjuje se da podloge čine više od 35% od milijun tona otpada od etiketa koji se napravi svake godine. [13]

Apliciranje samoljepivih etiketa odvija se na strojevima u kojima se podloga odvaja i etiketa se lijepi na bocu odnosno na namijenjeni proizvod. Izravan prijenos etiketa s kolute omogućuje točno pozicioniranje i može se lako mijenjati. Bilo koja kombinacija jedna, dvije ili tri etikete (kod aplikatora s tri glave) može se promijeniti u bilo kojem trenutku što pruža veliku fleksibilnost. Samoljepive etikete često su korištene u kozmetičkoj, farmaceutskoj i prehrambenoj industriji, a pronalaze sve veću primjenu za vina, žestoka pića, pivo te posebna pića.

2.3.3. Ljepila za etikete

Lijepilo se nalazi između materijala naljepnice i proizvoda na koji se nanosi, stoga je važno da je kompatibilno s oba materijala. Postoje određeni kriteriji učinkovitosti koje ljepila moraju ispunjavati: primjena na niskoj temperaturi, primjena na mokroj boci, mogućnost uklanjanja, uranjanja u vodu, mogućnost recikliranja i slično. Razlikuju se tri vrste ljepila, na bazi vode, otapala i vruća ljepila.

Vruća ljepila su termoplastični materijali od 100% krutine, koji se zagrijevaju na temperature iznad točke taljenja i nanose na podlogu u rastaljenom stanju. Ona ne zahtijevaju sušenje te su od boljih izbora kod brzih linija za apliciranje etiketa. Ključan kriterij u korištenju vrućih ljepila je temperatura koja utječe na viskoznost i debljinu ljepljivog filma, što utječe na brzinu stvrdnjavanja jer što je deblji sloj ljepila nanesen duže je vrijeme stvrdnjavanja. [5]

Ljepila na bazi vode sastoje se od spojeva koji se mogu otopiti ili raspršiti u vodi kako bi postali ljepljivi te suše isparavanjem ili prodiranjem u podlogu etikete. Barem jedna površina mora biti upijajuća kako bi se stvorila jaka veza. Ljepila su dostupna u različitim kemijskim sastavima te ih se može razvrstati u skupine.

- Ljepila na bazi škroba – jedna su od prvih korištenih. Izrađena su od prirodnih polimera topivih u vodi, a ovisno o primjeni koriste se hladni ili topli.
- Kazeinska ljepila – jedna su od poznatijih za etikete koje se nanose mokrim ljepilo. Brzo se suše, dobro prijanjaju na hladne i mokre boce te se mogu lako ukloniti kada se koriste za povratne boce.
- Akrilna ljepila na bazi vode – kod samoljepivih etiketa koje zahtijevaju otpornost na širenje plamena.
- Polikloropren – koristi se za neke samoljepive etikete a razvijen je kao zamjena za prirodnu gumu. Ima odličnu žilavost, kemijsku otpornost te otpornost na vremenske utjecaje, toplinu, ulje i kemikalije.

Ljepila na bazi otapala poznata su po brzom razvoju čvrstih veza, dobroj otpornosti na toplinu. Prijanjaju na širok raspon podloga te imaju širok raspon proizvodnih uvjeta kao što su niske temperature i visoka vlažnost. Ipak više se koriste ljepila na bazi vode i vruća ljepila radi svoje ekonomičnosti i zbog ekoloških razloga.

Ljepila su ključan element u procesu nanošenja naljepnica te kao takva moraju imati slijedeća svojstva:

- Moraju namočiti površinu naljepnice
- Moraju imati dobru početnu ljepljivost dok se naljepnica aplicira na površinu proizvoda
- Početno spajanje mora se održati sve dok se ljepilo u potpunosti ne stvrdne te ne smije doći do podizanja rubova ili stvaranja mjehurića
- Moraju zadovoljiti sve potrebne kriterije za krajnju upotrebu – kontakt s hranom, otpornost na kemikalije, vodu, više i niže temperature. [5]

2.4. CIELAB prostor boja

CIE je kratica za međunarodnu komisiju za osvjetljenje (fra. Commission internationale de l'éclairage) koja je glavna organizacija za svjetlo, osvjetljenje, boje i prostore boja.

CIELAB trodimenzionalni je prostor boja zasnovan na teoriji suprotnih boja (crveno-zeleno, žuto-plavo) te najbliži vizualnoj percepciji. Trodimenzionalni prostor sastoji se od 3 osi kojima su boje opisane, dvije kromatske i jedna akromatska. Parametar L^* označava svjetlinu i predstavlja akromatsku os, a mjeri se od 0 do 100 po vertikalnoj osi pri čemu je vrijednost 0 za crnu, a 100 za bijelu. Kromatske osi predstavljaju parametri a^* i b^* , a^* se odnosi na brojčanu vrijednost spektralno reflektiranog svjetla u relaciji crvena – zelena, dok je b^* u relaciji žuta – plava.

Kolorimetrijska razlika (ΔE^*) razlika je između dvije boje u CIE sustavu, a definirana je kao euklidska razlika između koordinata za referentni i uspoređivani položaj. Kolorimetrijska razlika izračunava se prema slijedećoj formuli:

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (1)$$

Kolorimetrijska razlika pokazuje odstupanje reprodukcije od originala odnosno opisuje kvalitetu reprodukcije. Ocjenjivanje odstupanja boje može se provesti na osnovi kolorimetrijske razlike prema kriterijima u tablici 1.

Tablica 1. Ocjenjivanje odstupanja na osnovi kolorimetrijske razlike [6]

$\Delta E < 0,2$	razlika u boji nije vidljiva
$\Delta E = (0,2-1)$	razlika se primjećuje, vrlo mala razlika
$\Delta E = (1-3)$	razlika u boji je vidljiva, mala razlika
$\Delta E = (3-5)$	razlika u boji je dobro vidljiva, očita razlika
$\Delta E > 5$	razlika u boji je vrlo dobro vidljiva, očigledna odstupanja

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. Papir

Za potrebe ispitivanja korišteno je 6 različitih tiskovnih podloga pri čemu su tri podloge rađene od ekoloških materijala Citrus, Barley i Grape (Fassion) , dok su ostalih 3 od klasičnih podloga koje se primjenjuju u izradi naljepnica PE White, Chrome i Thermal Top (Fassion).

Citrus je papir za naljepnice izrađen od 3 sloja. Prvi sloj čini nepremazani, mat, glatki bezdrvni papir koji u sastavu ima 15% nusprodukta iz proizvodnje soka. Ostatak papira izrađen je 40% od recikliranog vlakna i 45% čiste drvene pulpe. Drugi sloj čini trajno lijepilo na bazi akrila. Podloga mu je izrađena od FSC certificiranog papira. Najbolji rezultati postižu se ofsetnim tiskom i fleksotiskom. Papir se koristi za označavanje visokokvalitetnih proizvoda s prirodnim izgledom poput vina, žestokih pića i hrane. S obzirom na činjenicu da je papir izrađen od citrusa odličan je odabir za aplikaciju na voćne sokove i likere. [6]

Za razliku od Citrus-a, Barley je papir za naljepnice koji u sastavu ima 15% ječmenog taloga. Ostatak papira je kao i Citrus izrađen od je 40% od recikliranog vlakna i 45% čiste drvene pulpe. Ljepilo kao i kod Citrus-a, ima visoko početno prijanjanje i dobre performanse na niskim temperaturama na širem spektru podloga. Kako je izrađen od ječma dobar je odabir za aplikaciju na viski i kraft pivo. [7]

Grape je papir za naljepnice koji se od Citrus-a i Barley-a razlikuje u sastavu s 15% otpadaka grožđa. Ljepilo koje se koristi za izradu ovog papira je na bazi gume te ima izvrsno prijanjanje na širi raspon podloga uključujući i blago hrapave podloge. S obzirom na sastav dobra je opcija za aplicirati na vina i sokove. [8]

PE White (PEW) je papir sastavljen od tri sloja. Gornji sloj čini koronom obrađena bijela polietilenska folija na bio osnovi. Sadržaj bio baziranih sastojaka iznosi minimalno 83%. Srednji sloj sastavljen je od ljepila opće namjene na bazi akrila, odlične otpornosti na UV zračenje i na vremenske uvjete, dok je podstava napravljena od FSC certificiranog papira. Većinom se primjenjuje za kućanske proizvode i proizvode za osobnu njegu. [9]

Chrome (CHR) sastavljen je od bijelog jednostrano premazanog bezdrvnog papira, ljepljiva opće namjene na bazi akrila i superkalandriranog glasine papira. Prikladan je odabir za širok raspon industrijskih etiketa gdje je potreban atraktivan polusjaj za višebojni tisak.[10]

Thermal Top (TT) je kao i ostali izrađen od tri sloja. Gornji sloj čini bijeli bezdrveni papir s termoosjetljivim premazom koji pruža dobru otpornost na vlagu, mast, ulje i alkohol. Podloga je izrađena od FSC certificiranog papira, dok je ljepljivo opće namjene na bazi gume s dobrim prijanjanjem za širok izbor podloga te dobrim performansama na nižim temperaturama. [11]

Tablica 1. Karakteristike korištenih papira

Naziv etikete	Kratica	Naličje		Podloga		Laminat
		Gramatura	Debljina	Gramatura	Debljina	Ukupna debljina
Fasson® rCRUSH CITRUS FSC S2030-BG45WH FSC	C	100 g/m ²	130 μm	70 g/m ²	61 μm	210 μm±10%
Fasson® rCRUSH BARLEY FSC S2030-BG45WH FSC	B	90 g/m ²	110 μm	70 g/m ²	61 μm	190 μm±10%
Fasson® rCRUSH GRAPE FSC S2047N-BG45WH IMP FSC	G	90 g/m ²	114 μm	70 g/m ²	61 μm	192 μm±10%
Fasson® PE85 BIOB WHITE S692N-BG40WH FSC	PEW	82 g/m ²	82 μm	59 g/m ²	53 μm	152 μm±10%
Fasson® MC FSC S2000NG-BG40BR	CHR	77 g/m ²	66 μm	54 g/m ²	47 μm	125 μm±10%
Fasson® THERMAL 200GP FSC S2045N-BG40BR	TT	76 g/m ²	82 μm	54 g/m ²	47 μm	141 μm±10%

3.2.Boja

Šest različitih vrsta papira za naljepnice otisnuto je termokromnom bojom, dvjema mješanicama (termokromne i klasične UV boje) i dvjema klasičnim UV bojama. Korištena je plava termokromna boja aktivacijske temperature 29°C, a mješanice su rađene od termokromne i Warm Red UV boje (kako bi se dobila magenta) te termokromne i žute procesne UV boje (kako bi se dobila zelena). Klasične procesne UV boje bile su Warm Red i Yellow.

3.3. Korišteni uređaji i metode

3.3.1. Test otiranja

Za potrebe istraživanja korišten je uređaj tribometar Hanatek RT4 Rub and Abrasion Tester kojim se ispitivala otpornost otisaka prema otiranju. Prilikom ispitivanja suhog otiska dolazi do određenog skidanja boje uslijed trenja. Na diskove postavlja se bijeli offsetni papir i ispitivani otisak. Diskovi koje pogone elektromotori rotiraju istim kutnim brzinama. Postavljanjem utega različite mase na gornji disk regulira se tlak između uzorka i papira. Tlak može iznositi 0.5, 1.0 i 2.0 psi, dok je to u SI sustavu 3.5, 6.9 i 13.8 kPa. Boja s uzorka prilikom trljanja skida se i prenosi na bijeli papir. Fen odnosno cijev s dovodom zraka uklanja čestice prašine koje se nakupljaju na uzorku prilikom ispitivanja. Nakon što se okrene odabrani broj puta (10, 20 ili 40) uređaj se zaustavlja. Za određivanje otpornosti koristi se vizualna procjena uzoraka, pri čemu se evaluacija izvodi prema kriteriju:

- 1 - neprimjetno otiranje otisaka
- 2 - male naznake otiranja otisaka
- 3 - vidljivo otiranje otisaka
- 4 - izraženo otiranje otisaka
- 5 - vrlo izraženo otiranje otisaka [12]



Slika 3. Uređaj Hanatek RT4 Rub and Abrasion Tester

(Izvor: <https://www.rhointinstruments.com/product/rub-tester-abrasion-tester-rt4/>)

Za ovo istraživanje otpornost se ispitivala pod tlakom od 2.0 psi odnosno 13.8 kPa, dok se uređaj postavio na 40 okretaja. Podloga za otiranje je bezdrveni offsetni papir promjera 115 mm, dok su uzorci rezani na promjer 50 mm. Za svako ispitivanje mijenja se offsetni papir i pridružuje ispitanom uzorku. Za svaku boju napravljena su mjerenja za 3 različita uzorka.

Uzorci su podvrgnuti kolorimetrijskim mjerenjima prije i nakon provedbe testa otiranja. Kolorimetrijska mjerenja izvedena su spektrofotometrom Ocean Optics USB +2000 UV-VIS (Slika 5.), s integrirajućom sferom širine 30 mm i geometrijom mjerenja $di:8^\circ$ te računalnim programom Ocean View. Ocean Optics LS-1 tungsten halogen lampa (Slika 5.) korištena je kao izvor svjetlosti koja zrači u području od 360 do 2000 nm. Prije mjerenja uzoraka uređaj je kalibriran te je za svaku boju odrađeno po 3 mjerenja pri temperaturama 20°C , 29°C i 40°C . Mjerene su vrijednosti CIE L^* , a^* , b^* i C^* na temelju kojih se računala ukupna razlika boje CIEDE2000.



Slika 4. Ocean Optics LS-1

(izvor: <https://picclick.com/Ocean-Optics-Spectrometer-LS-1-Tungsten-Halogen-Light-Source-292943243312.html>)



Slika 5. Ocean optics sfera za mjerenje kolorimetrijskih karakteristika

(izvor: https://eprints.grf.unizg.hr/2736/1/Z813_Petri%20Melita.pdf)

Uzorci su zagrijavani uređajem za promjenu temperature EK WaterBlocks koji se sastoji od metalne pločice, upravljačke ploče i tekućine koja se zagrijava ili hladi te cirkulira kroz sustav. Uzorak se stavlja na metalnu pločicu koja ravnomjerno raspoređuje temperaturu te omogućava mjerenje bez promjene temperature.



Slika 6. Uređaj za zagrijavanje/hlađenje uzoraka

(izvor: https://eprints.grf.unizg.hr/2736/1/Z813_Petri%20Melita.pdf)

4. REZULTATI I RASPRAVA

4.1. Krivulje spektralne refleksije

U procesu tiska, otisak se formiraju taloženjem boje na podlogu, npr. list papira. Općenito je pretpostavka da je boja koju opaža promatrač u potpunosti određena spektrom svjetlosti koju prima promatračevo oko. Ovaj spektar je produkt spektra izvora svjetlosti sa spektralnom funkcijom karakterističnom za otisak, tj. njegov spektar refleksije ili propusnosti. Boja je percepcija ljudskog oka reflektiranog zračenja u vidljivom području elektromagnetskog spektra (400–700 nm). Potječe od promjena elektromagnetske energije u elektronskim orbitalama, uzrokovanih apsorpcijom fotona, u prijelaznim elementima sadržanim u kristalnoj strukturi minerala. Jedan od najobjektivnijih načina mjerenja boje je korištenje spektrofotometrije s difuznom refleksijom. Svjetlo reflektirano od materijala skuplja se u integracijsku sferu, normalizira na svjetlo izvora refleksije i kalibrira mjerenjem čistog bijelog standarda (100% refleksija) i crne kutije (nulta refleksija) preko cijelog spektra valne duljine vidljivog svjetla.

Otisci na šest različitih podloga mjereni su prije i nakon otiranja, pri temperaturama od 20°C, 29°C i 40°C na kojima su očitavane krivulje spektralne refleksije. Slike 8 - 29 prikazuju krivulje spektralne refleksije u rasponu vidljivog dijela spektra od 400 do 800 nm, pri temperaturama od 20°C, 29°C i 40°C.

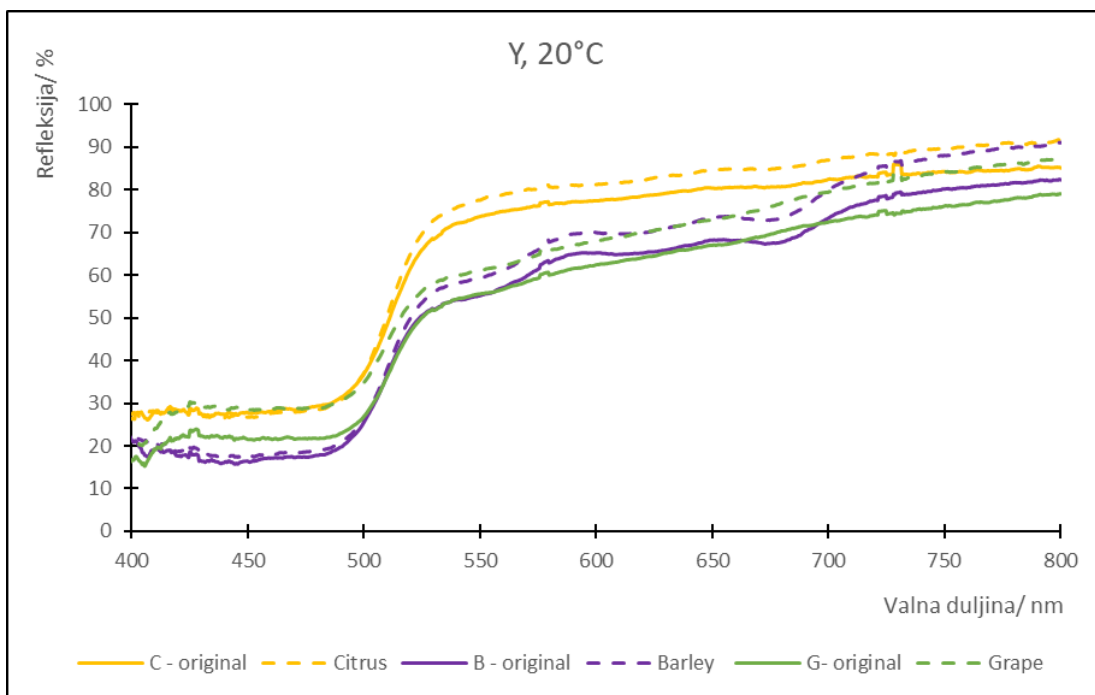
Na slikama 8 i 9 vidljivo je da otisci pokazuju karakteristične krivulje žute boje s refleksijskim maksimumom pri 550 nm. Upojne podloge (C, B i G) (Slika 8) pokazuju nešto niže vrijednosti refleksije u odnosu na neupojne podloge (CHR, TT i PEW) (Slika 9). Otiranjem uzoraka dolazi do povećanja vrijednosti refleksije, vrlo vjerojatno zbog uništavanja površinskog sloja otiska i utjecaja papirne podloge. Slično ponašanje vidljivo je i kod otiska WR (Slike 10 i 11), gdje otisci pokazuju refleksijsku krivulju crvene boje s refleksijskim maksimumom pri 600 nm.

Kod termokromnog otiska TC pri 20°C vidljivija je krivulja spektralne refleksije plave boje s refleksijskim maksimumom pri 550 nm (Slike 12 i 13). Kod neupojnih podloga posebno je izražen i utjecaj tiskovne podloge i posebno u području oko 400-450 nm gdje je vidljiv utjecaj optičkih bjelila u papiru posebno kog uzorka G. Neupojne podloge pokazuju i niže vrijednosti refleksije u odnosu na neupojne podloge, vjerojatno

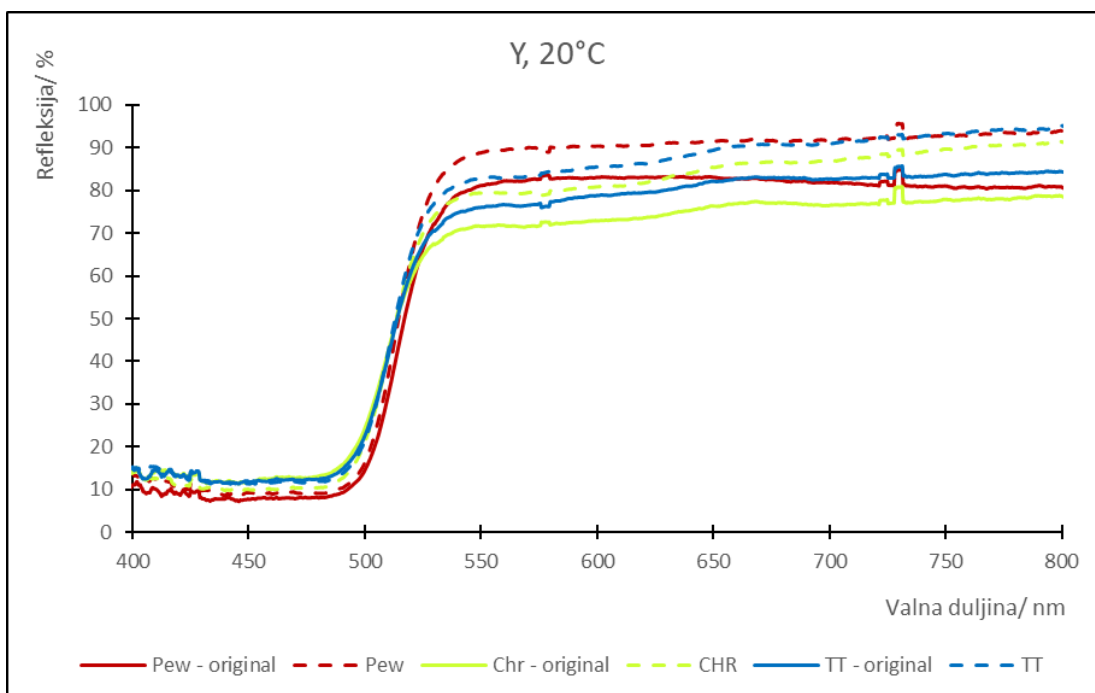
zbog tanjeg sloja boje na površini otiska. Povećanjem temperature na 29°C dolazi do postupnog pomicanja krivulje spektralne refleksije prema višim vrijednostima ukazujući na gubitak plavog obojenja. Otiranjem se vrijednosti refleksije smanjuju u ovom slučaju (Slike 14 i 15). Povećanjem temperature na 40 °C vidljivo je da otisak poprima boju tiskovne podloge i dolazi do potpunog nestanka plave boje, sa nešto nižim vrijednostima refleksije od otiranih uzoraka.

Kod uzoraka otisaka načinjenih miješanjem TC i WR boje, htio se dobiti efekt magente. Otisak na upojnim podlogama nešto je svjetliji u odnosu na otisak na neupojnim podlogama što je vidljivo iz krivulja spektralne refleksije (Slike 18 i 19). Kod upojnih podloga veći je utjecaj podloge, dok kod neupojnih podloga otisak pokazuje krivulju sa refleksijskim maksimumima pri oko 425, 525, 650 nm. Otiranjem dolazi do smanjenja vrijednosti refleksije. S povećanjem temperature krivulja spektralne refleksije mijenja oblik i vidljiv je jedna maksimum pri 600 nm.

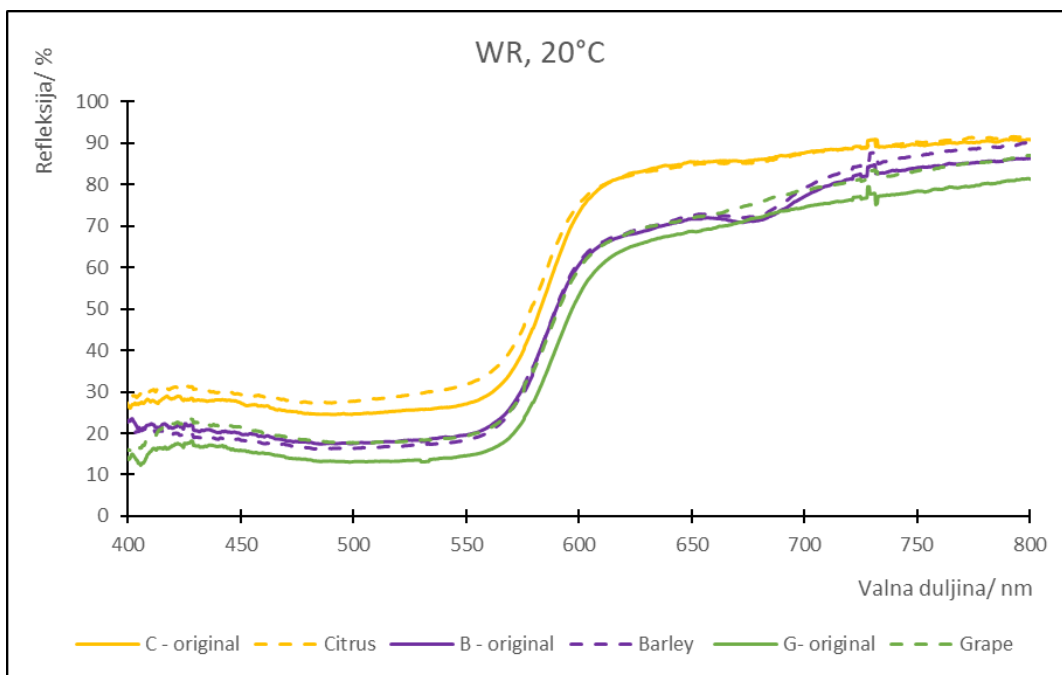
Kod otisaka mješance TC i Y boje, htio se dobiti efekt zelene boje. Otisak na upojnim podlogama nešto je svjetliji u odnosu na otisak na neupojnim podlogama što je vidljivo iz krivulja spektralne refleksije (Slike 24 i 25). Kod upojnih podloga veći je utjecaj podloge, dok kod neupojnih podloga otisak pokazuje krivulju sa refleksijskim maksimumima pri oko 400, 525, 675 nm. Otiranjem dolazi do smanjenja vrijednosti refleksije. S povećanjem temperature krivulja spektralne refleksije mijenja oblik i vidljiv je maksimum pri 550 nm.



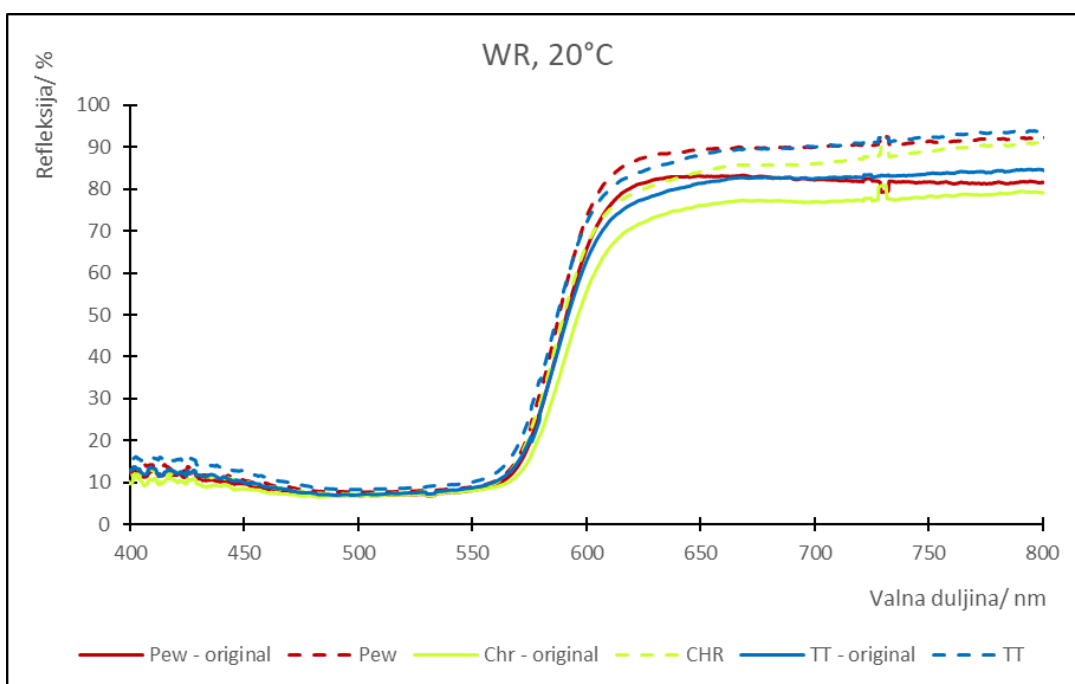
Slika 8. Krivulja spektralne refleksije otiska Y na C, B i G tiskovnoj podlozi, 20°C (pune linije označavaju netretirani uzorak dok isprekidane linije označavaju otirani uzorak)



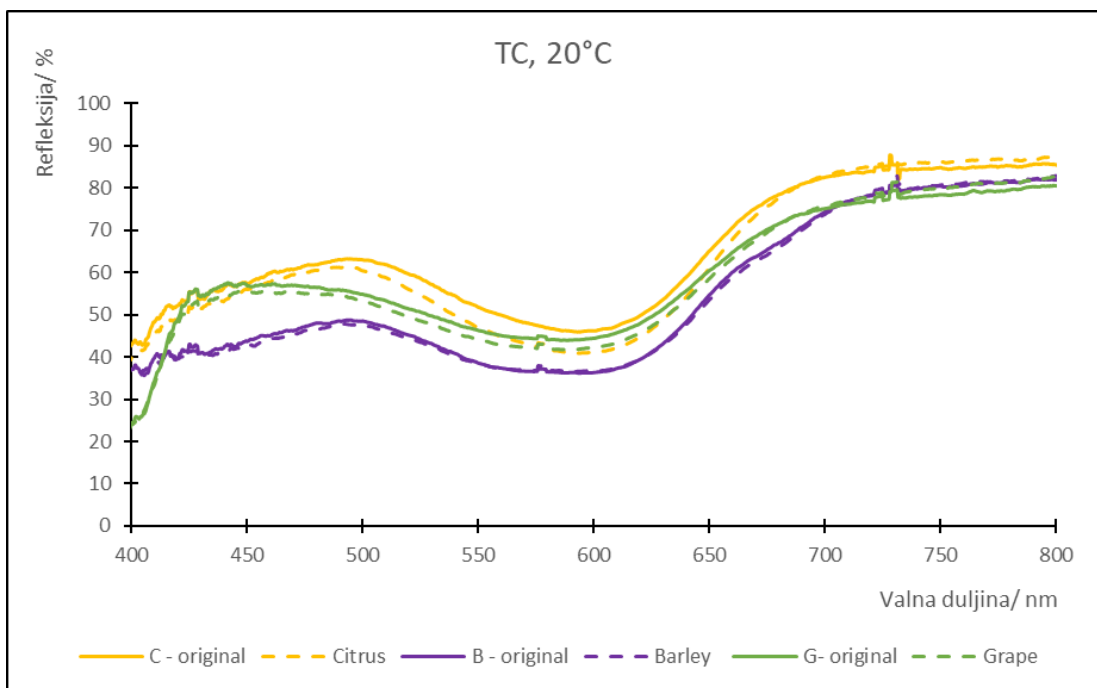
Slika 9. Krivulja spektralne refleksije otiska Y na PEW, CHR i TT tiskovnoj podlozi, 20°C (pune linije označavaju netretirani uzorak dok isprekidane linije označavaju otirani uzorak)



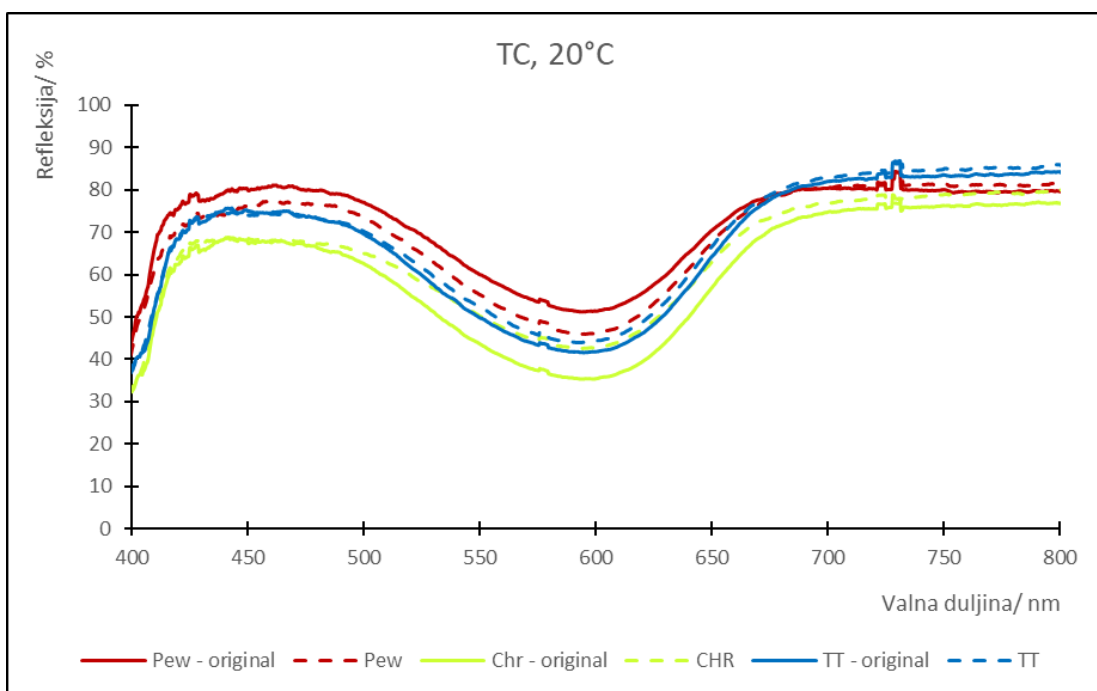
Slika 10. Krivulja spektralne refleksije otiska WR na C, B i G tiskovnoj podlozi, 20°C (pune linije označavaju netretirani uzorak dok isprekidane linije označavaju otirani uzorak)



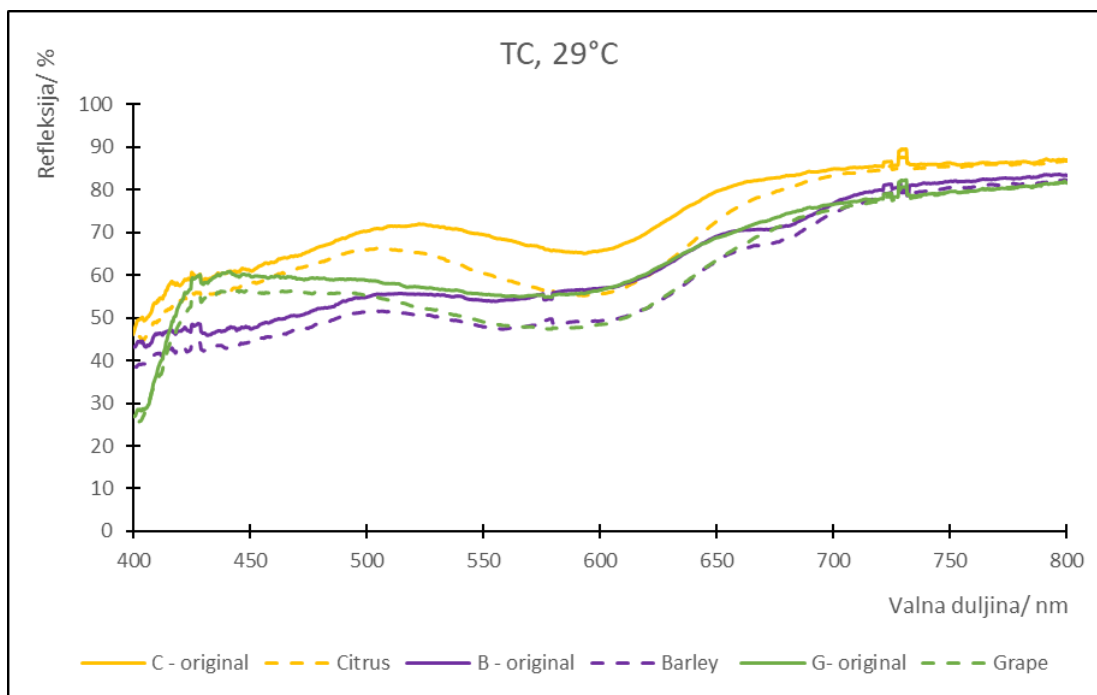
Slika 11. Krivulja spektralne refleksije otiska WR na PEW, CHR i TT tiskovnoj podlozi, 20°C (pune linije označavaju netretirani uzorak dok isprekidane linije označavaju otirani uzorak)



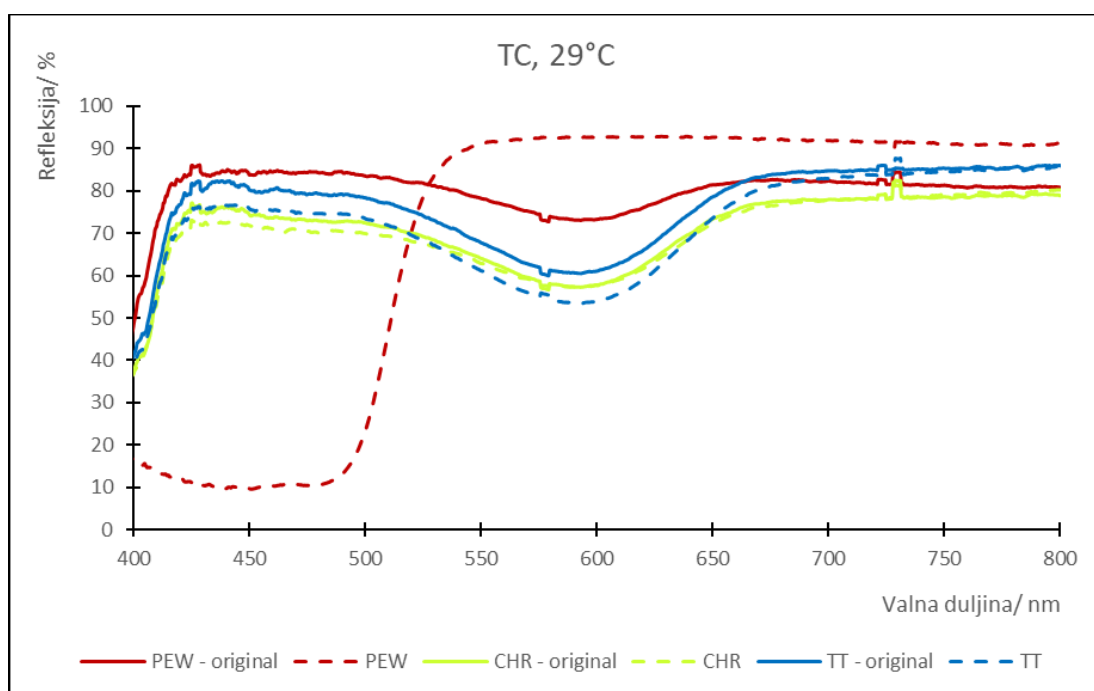
Slika 12. Krivulja spektralne refleksije otiska TC na C, B i G tiskovnoj podlozi, 20°C (pune linije označavaju netretirani uzorak dok isprekidane linije označavaju otirani uzorak)



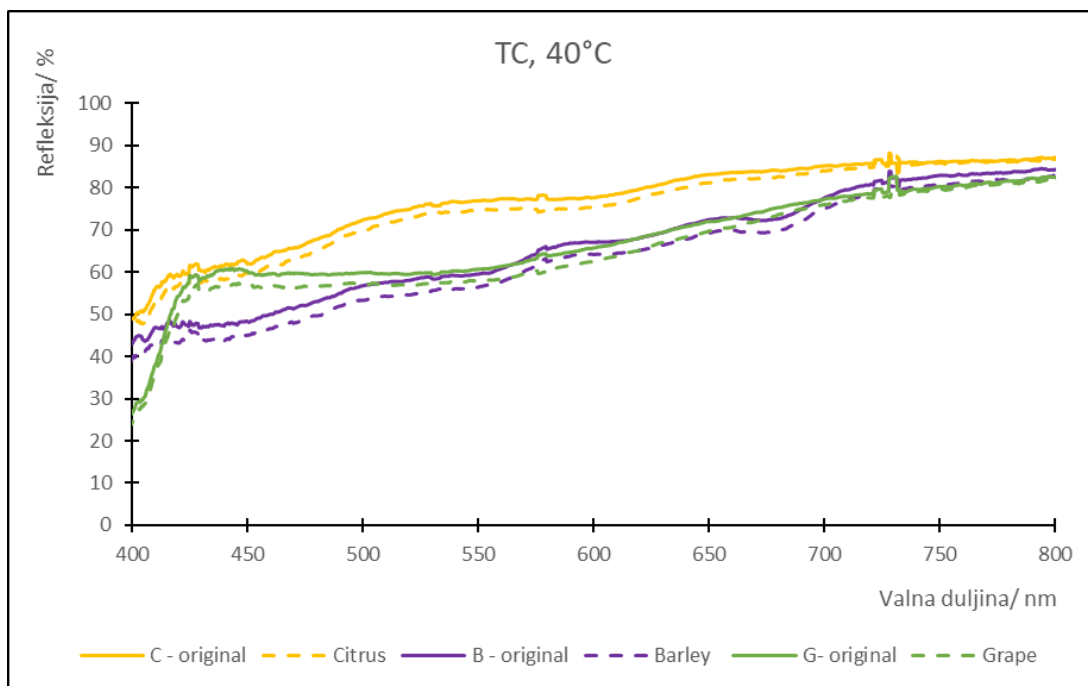
Slika 13. Krivulja spektralne refleksije otiska TC na PEW, CHR i TT tiskovnoj podlozi, 20°C (pune linije označavaju netretirani uzorak dok isprekidane linije označavaju otirani uzorak)



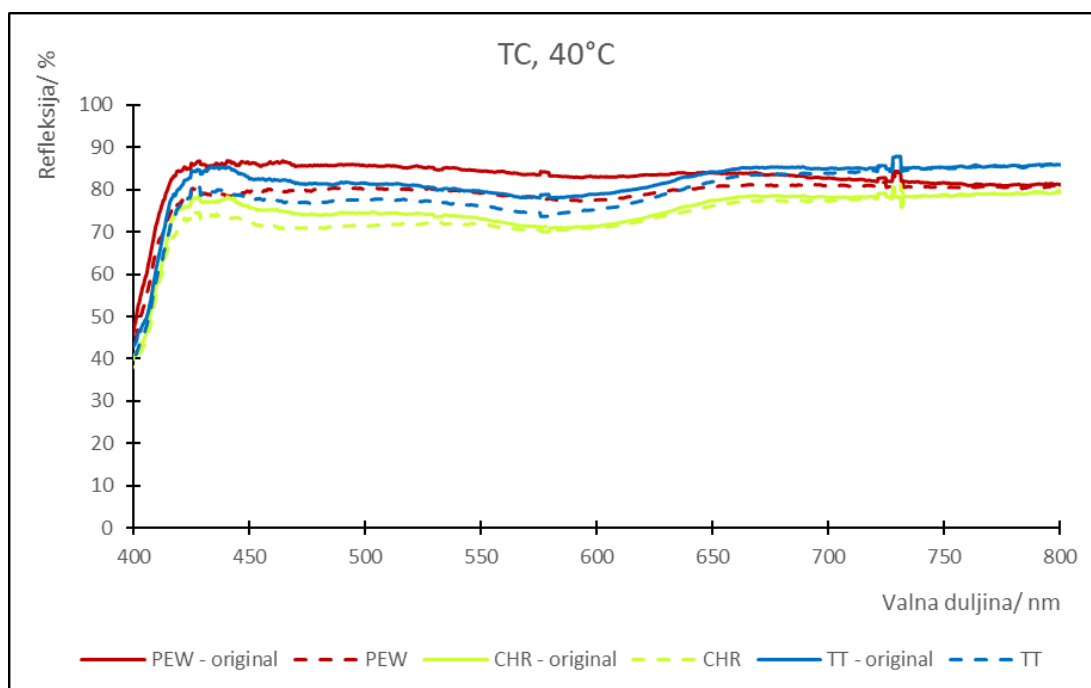
Slika 14. Krivulja spektralne refleksije otiska TC na C, B i G tiskovnoj podlozi, 29°C (pune linije označavaju netretirani uzorak dok isprekidane linije označavaju otirani uzorak)



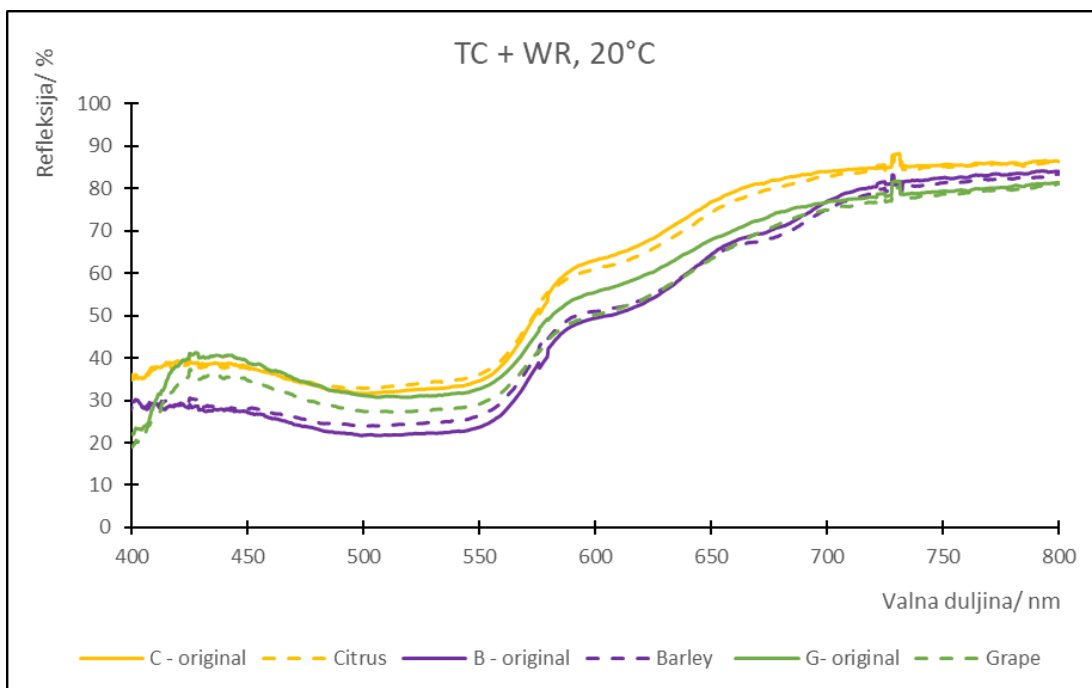
Slika 15. Krivulja spektralne refleksije otiska TC na PEW, CHR i TT tiskovnoj podlozi, 29°C (pune linije označavaju netretirani uzorak dok isprekidane linije označavaju otirani uzorak)



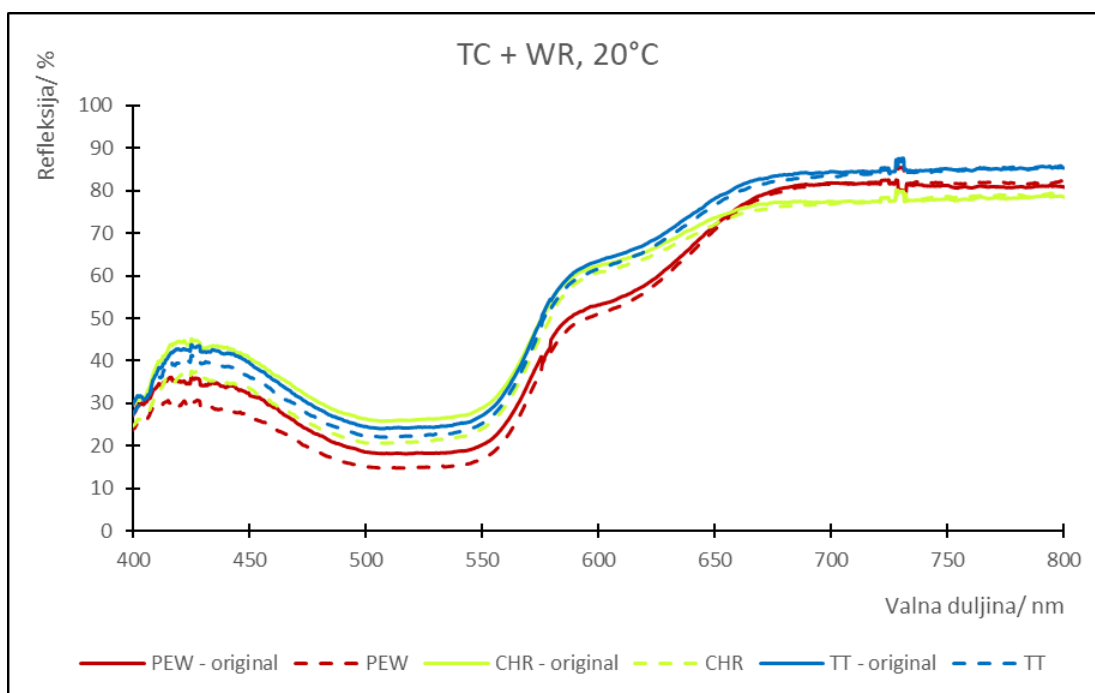
Slika 16. Krivulja spektralne refleksije otiska TC na C, B i G tiskovnoj podlozi, 40°C (pune linije označavaju netretirani uzorak dok isprekidane linije označavaju otirani uzorak)



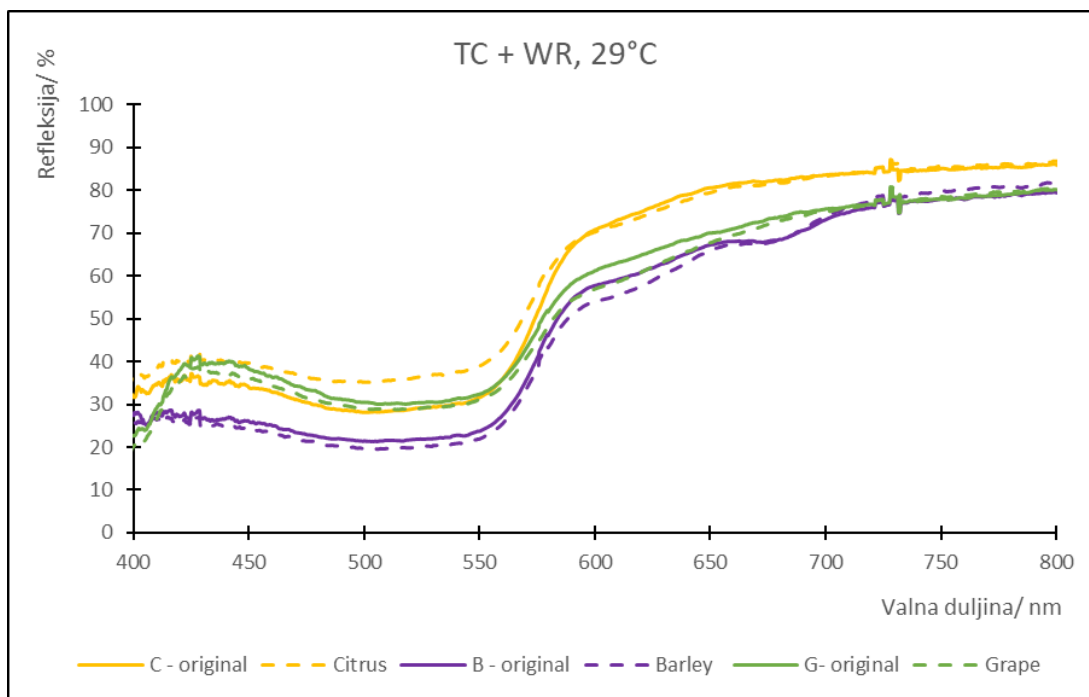
Slika 17. Krivulja spektralne refleksije otiska TC na PEW, CHR i TT tiskovnoj podlozi, 40°C (pune linije označavaju netretirani uzorak dok isprekidane linije označavaju otirani uzorak)



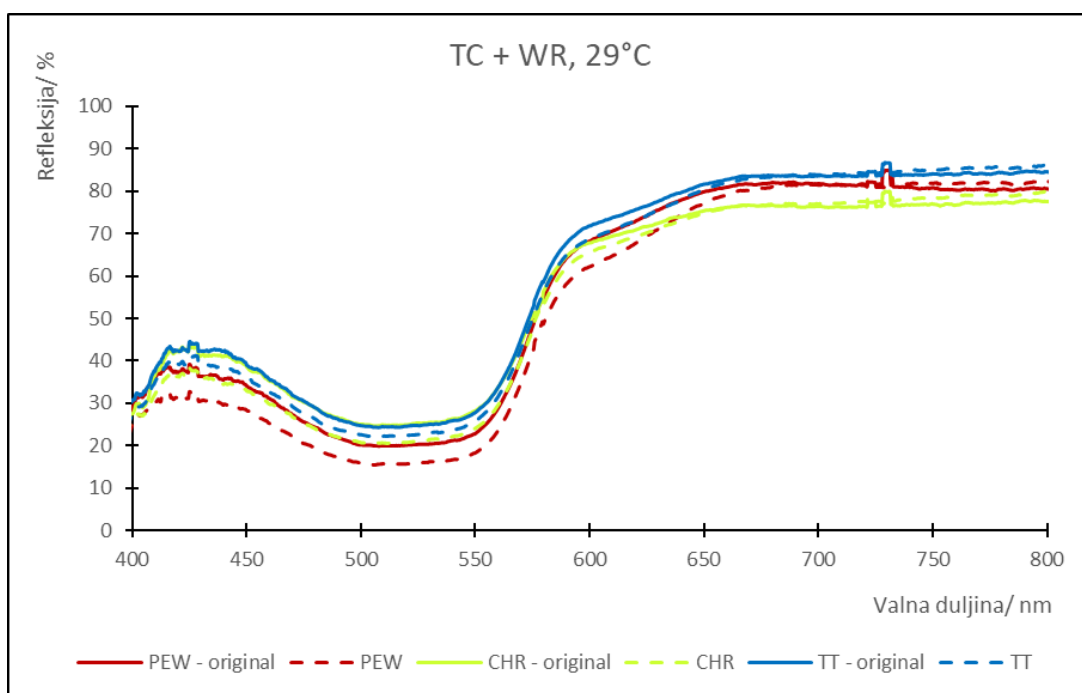
Slika 18. Krivulja spektralne refleksije otiska TC + WR na C, B i G tiskovnoj podlozi, 20°C (pune linije označavaju netretirani uzorak dok isprekidane linije označavaju otirani uzorak)



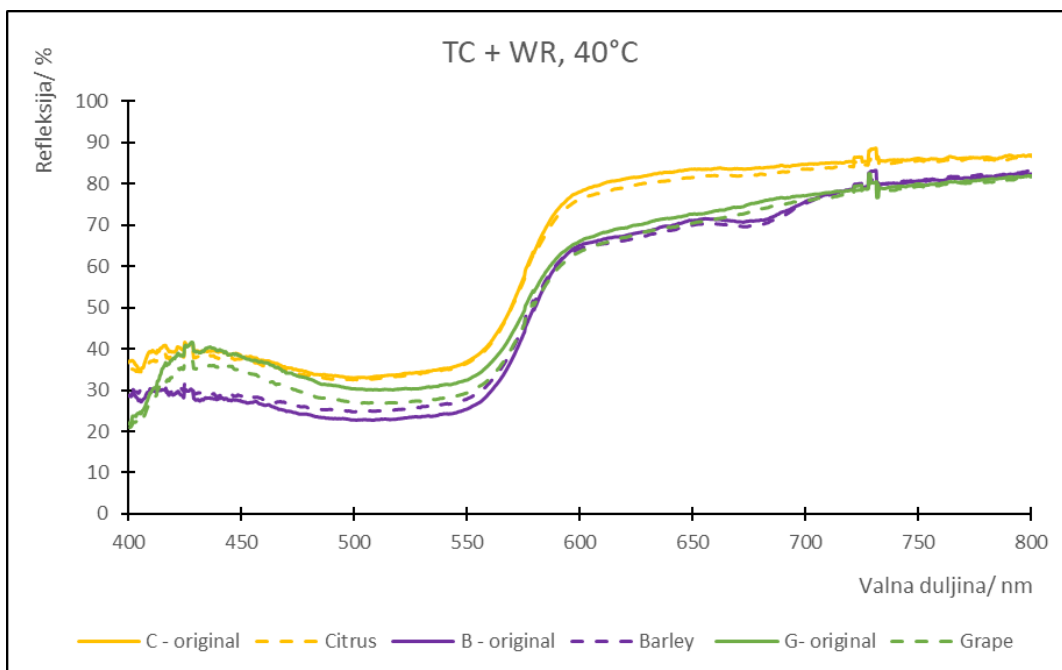
Slika 19. Krivulja spektralne refleksije otiska TC + WR na PEW, CHR i TT tiskovnoj podlozi, 20°C (pune linije označavaju netretirani uzorak dok isprekidane linije označavaju otirani uzorak)



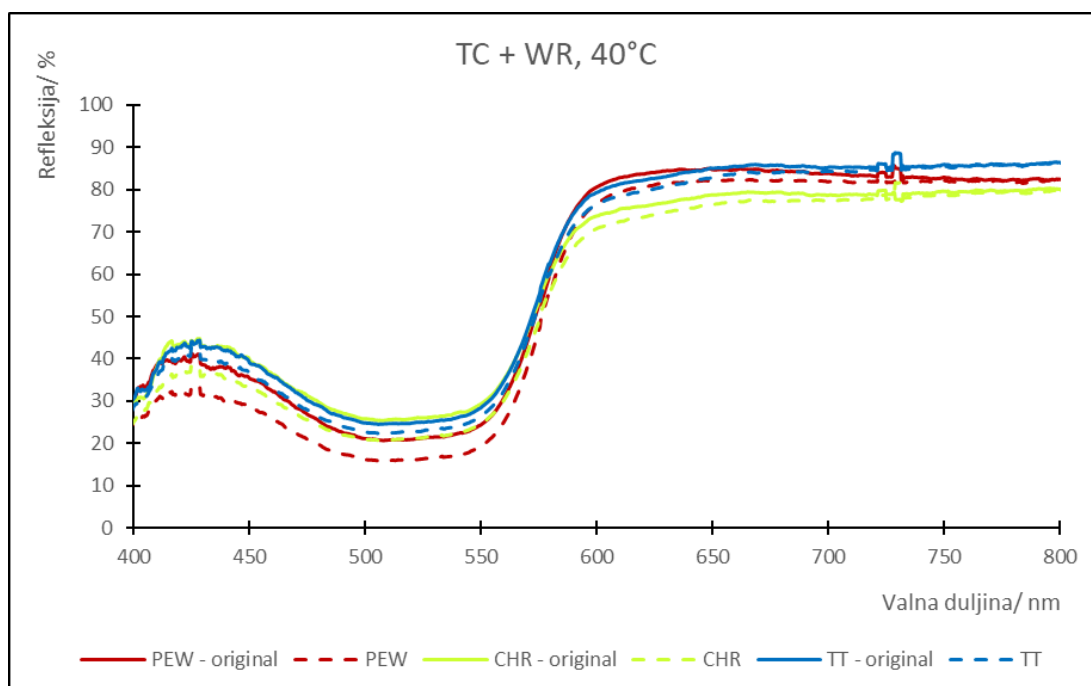
Slika 20. Krivulja spektralne refleksije otiska TC + WR na C, B i G tiskovnoj podlozi, 29°C (pune linije označavaju netretirani uzorak dok isprekidane linije označavaju otirani uzorak)



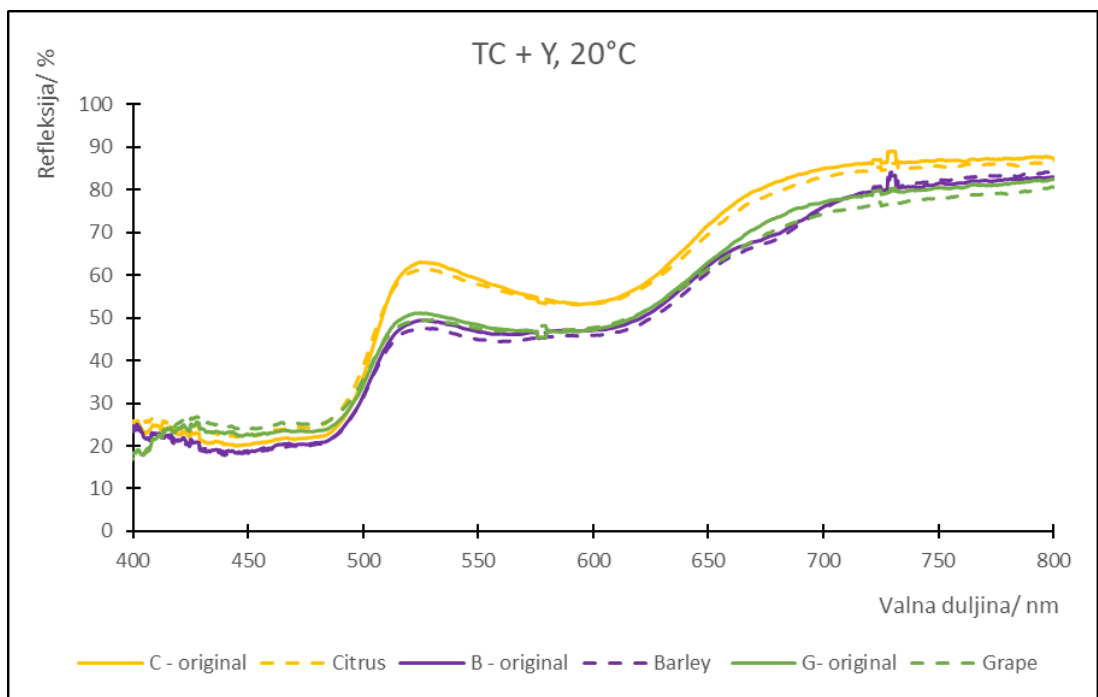
Slika 21. Krivulja spektralne refleksije otiska TC + WR na PEW, CHR i TT tiskovnoj podlozi, 29°C (pune linije označavaju netretirani uzorak dok isprekidane linije označavaju otirani uzorak)



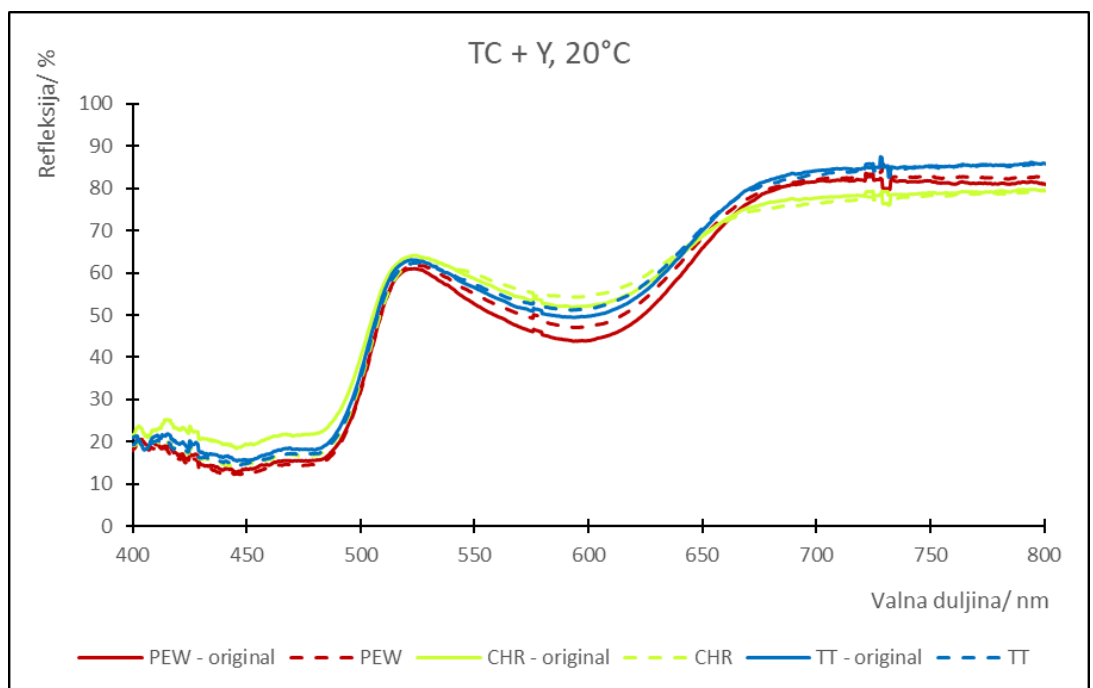
Slika 22. Krivulja spektralne refleksije otiska TC + WR na C, B i G tiskovnoj podlozi, 40°C (pune linije označavaju netretirani uzorak dok isprekidane linije označavaju otirani uzorak)



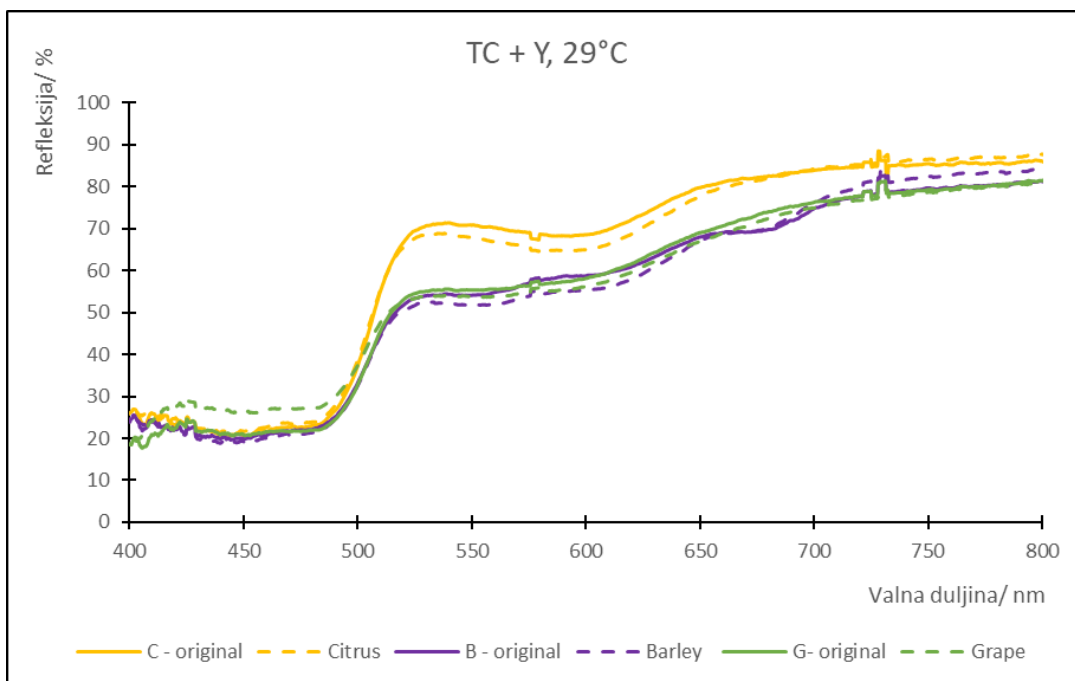
Slika 23. Krivulja spektralne refleksije otiska TC + WR na PEW, CHR i TT tiskovnoj podlozi, 40°C (pune linije označavaju netretirani uzorak dok isprekidane linije označavaju otirani uzorak)



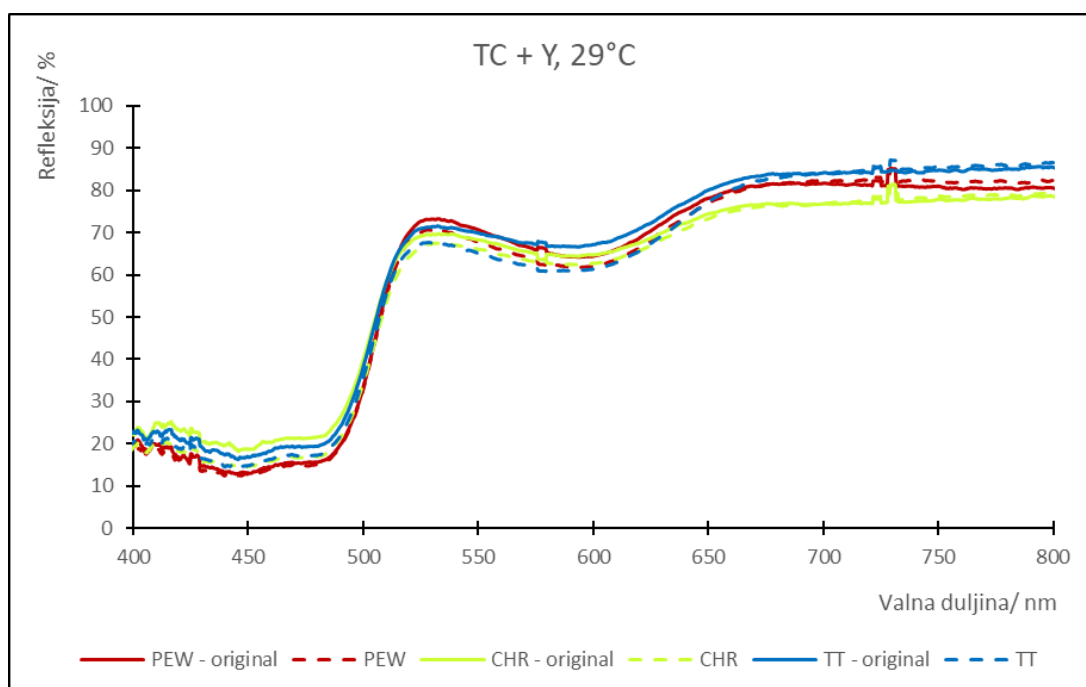
Slika 24. Krivulja spektralne refleksije otiska TC + Y na C, B i G tiskovnoj podlozi, 20°C (pune linije označavaju netretirani uzorak dok isprekidane linije označavaju otirani uzorak)



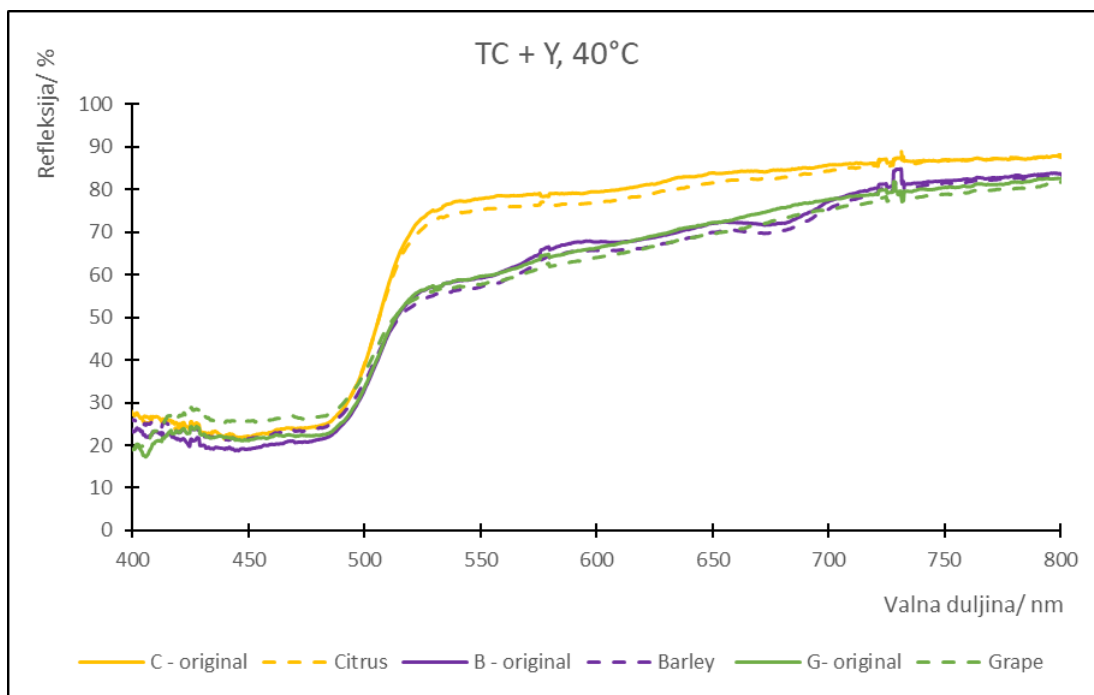
Slika 25. Krivulja spektralne refleksije otiska TC + Y na PEW, CHR i TT tiskovnoj podlozi, 20°C (pune linije označavaju netretirani uzorak dok isprekidane linije označavaju otirani uzorak)



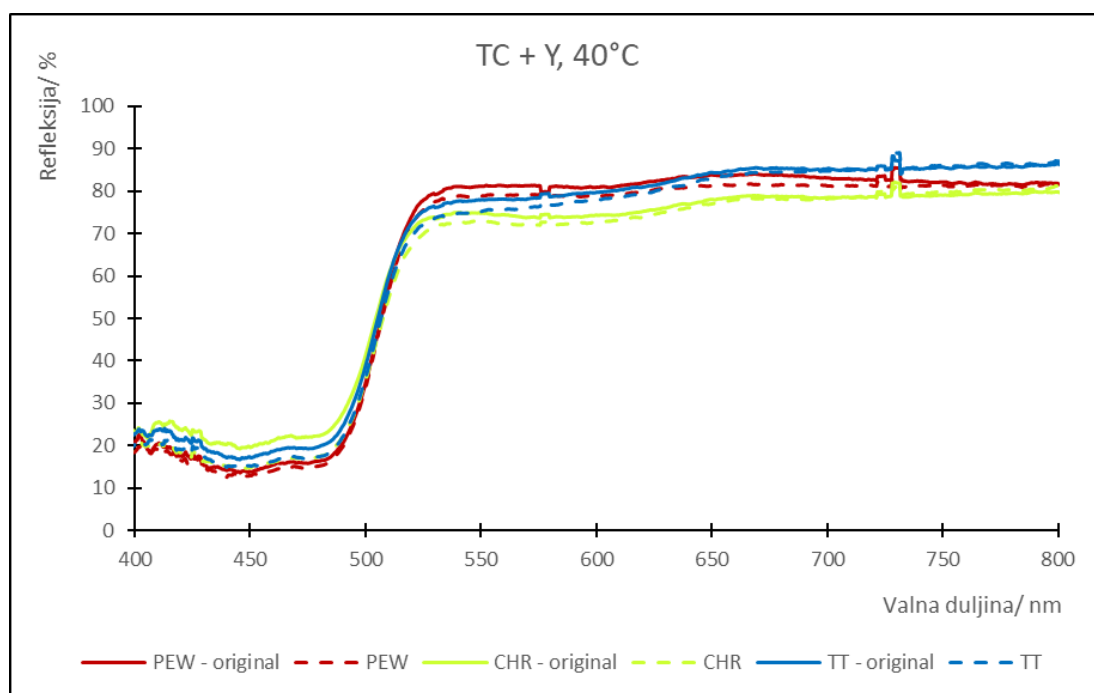
Slika 26. Krivulja spektralne refleksije otiska TC + Y na C, B i G tiskovnoj podlozi, 29°C (pune linije označavaju netretirani uzorak dok isprekidane linije označavaju otirani uzorak)



Slika 27. Krivulja spektralne refleksije otiska TC + Y na PEW, CHR i TT tiskovnoj podlozi, 20°C (pune linije označavaju netretirani uzorak dok isprekidane linije označavaju otirani uzorak)



Slika 28. Krivulja spektralne refleksije otiska TC + Y na C, B i G tiskovnoj podlozi, 29°C (pune linije označavaju netretirani uzorak dok isprekidane linije označavaju otirani uzorak)



Slika 29. Krivulja spektralne refleksije otiska TC + Y na PEW, CHR i TT tiskovnoj podlozi, 20°C (pune linije označavaju netretirani uzorak dok isprekidane linije označavaju otirani uzorak)

4.2. Rezultati kolorimetrijskih mjerenja

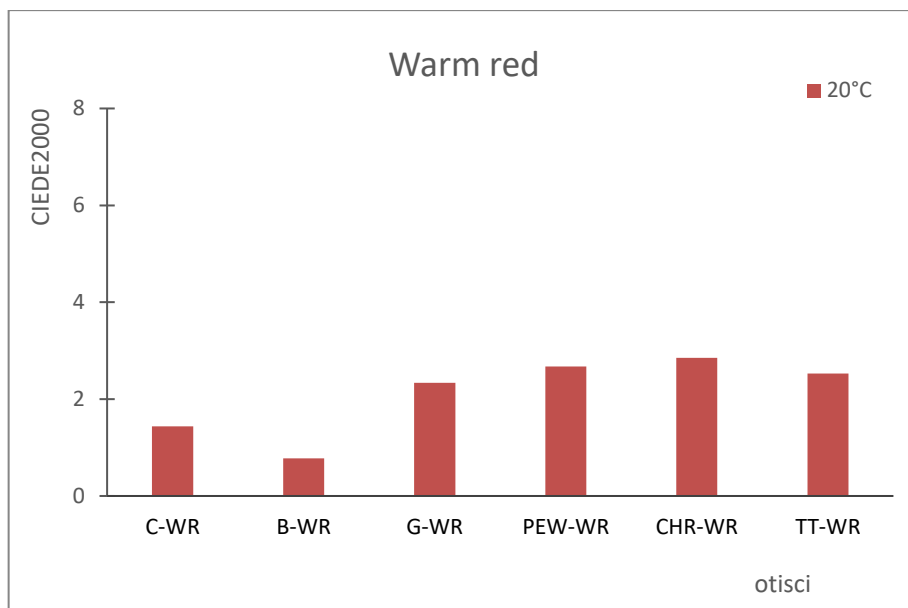
Slike 30-34 prikazuju rezultate određivanja razlike u boje između ispitivanih uzoraka određivane prema formuli CIEDE2000. Iz rezultata može se uočiti da je najmanja razlika u boji kod upojnih tiskovnih podloga, odnosno ekološki prihvatljivih materijala izrađenih na bazi citrusa, ječma i grožđa.

Kod Warm red otiska najbolje rezultate, odnosno najmanju razliku u boji može se zamijetiti na papiru B i C, iako su svi rezultati zadovoljavajući (slika 30). Za otiske žute boje može se uočiti da sve podloge imaju zadovoljavajuću razliku u boji ($CIEDE2000 < 3$), dok najbolje rezultate pokazuju podloge B i PEW (slika 31).

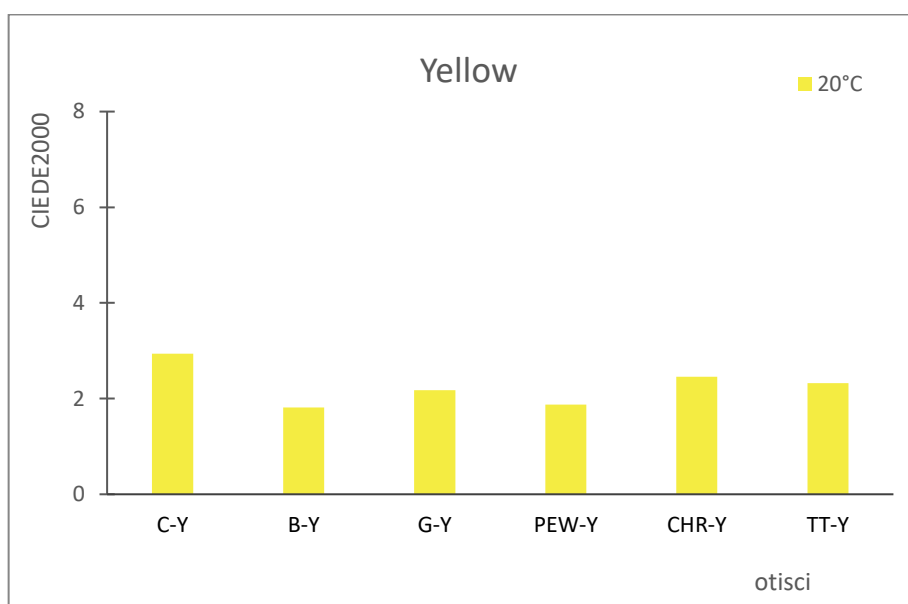
Za otiske sa termokromnom bojom rezultati nisu sasvim zadovoljavajući (slika 32). Pri temperaturi od 20°C za podlogu CHR može se uočiti najveća razlika u boji od svih uzoraka koja iznosi 6. Ostale podloge pokazuju gotovo minimalnu razliku, a PEW pokazuje nešto veću ali i dalje u granicama prihvatljivog. Pri temperaturi od 29°C dolazi do najvećih razlika u boji. No ovdje CHR i TT imaju zadovoljavajuće rezultate s razlikom u boji u iznosu od 2, dok ostale podloge nemaju zadovoljavajuće rezultate te je promjena očigledna. Pri temperaturi od 40°C sve podloge pokazuju dobre rezultate.

Za otiske mješanica termokromne i Warm red boje svi rezultati su zadovoljavajući osim pri 40°C za PEW gdje razlika u boji iznosi 4. Najbolje rezultate pokazuju podloge B i TT. Za otiske mješanicom termokromne i žute boje svi rezultati su zadovoljavajući osim pri 20°C za CHR gdje razlika u boji iznosi 4. Najbolje rezultate pokazuje C i to s minimalnom razlikom u boji na svim temperaturama.

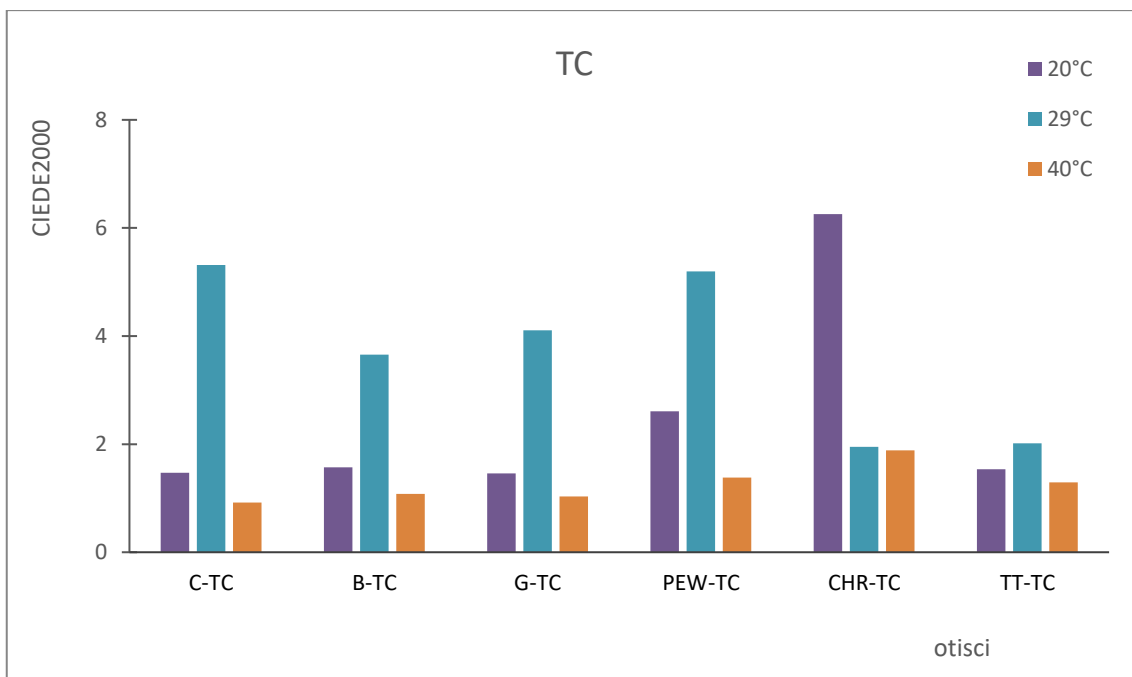
Stoga možemo reći da mješanice termokromnih boja i klasičnih UV bojila imaju bolje rezultate od same termokromne boje, najbolji rezultati su za mješanice termokromne i žute boje. Bolje rezultate pokazuju ekološki prihvatljive podloga odnosno upojni materijali za razliku od neupojnih podloga.



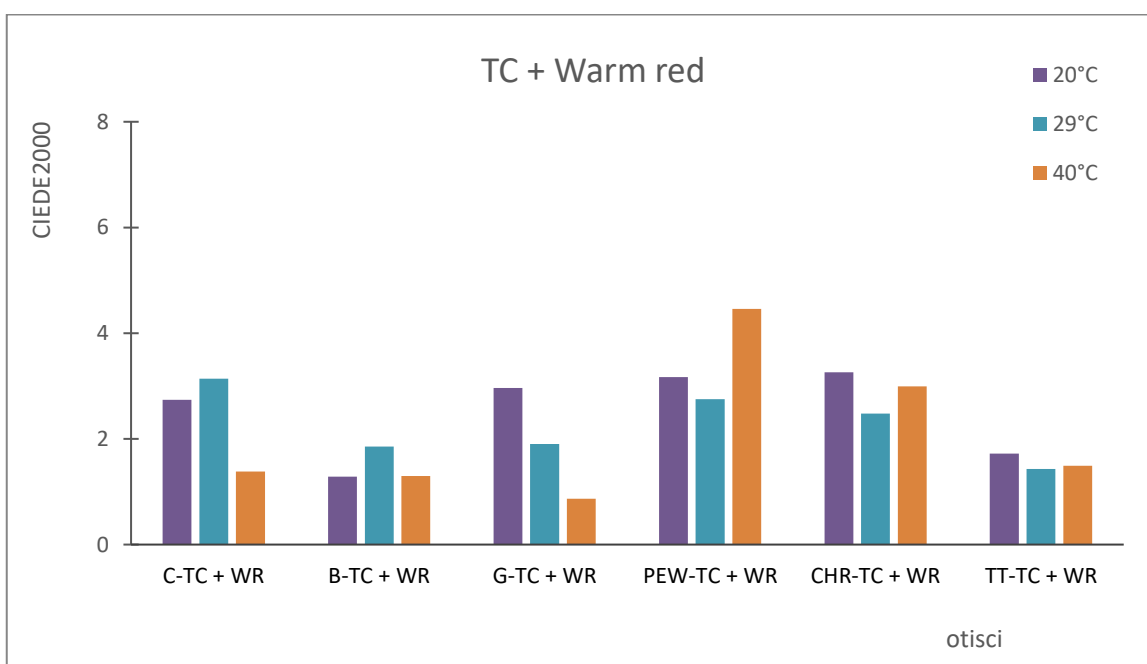
Slika 30. CIEDE2000 prije i poslije otiranja, za otiske na svim podlogama s Warm red bojom pri 20°C



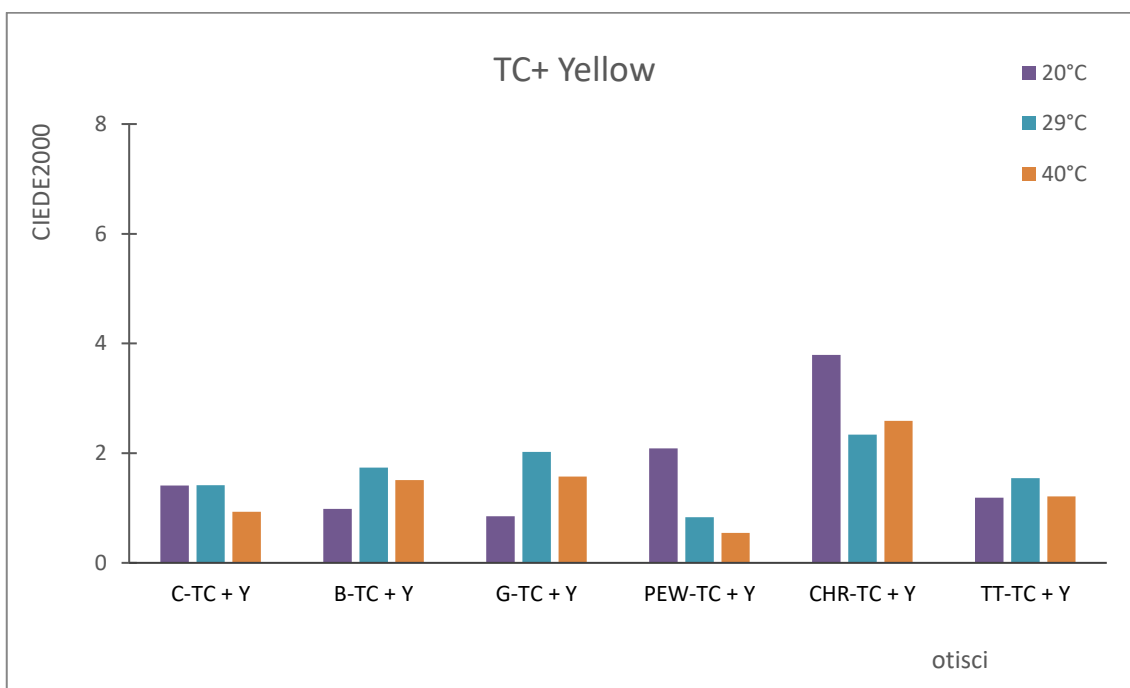
Slika 31. CIEDE2000 prije i poslije otiranja, za otiske na svim podlogama s žutom bojom pri 20°C



Slika 32. CIEDE2000 prije i poslije otiranja, za otiske na svim podlogama s termokromnom bojom pri 20°C, 29°C i 40°C



Slika 33. CIEDE2000 prije i poslije otiranja, za otiske na svim podlogama s mješanicom Warm red i termokromne boje pri 20°C, 29°C i 40°C



Slika 34. CIEDE2000 prije i poslije otiranja, za otiske na svim podlogama s mješanicom žute i termokromne boje pri 20°C, 29°C i 40°C

5. ZAKLJUČAK

Cilj ovog rada bio je istraživanjem utvrditi kako različite tiskovne podloge na bazi recikliranih vlakana utječu na mehaničku stabilnost UV sušećih ofsetnih otisaka napravljenih termokromnim i konvencionalnim tiskarskim bojama. Cilj rada bio je i utvrditi kakvu mehaničku otpornost pokazuju otisci načinjeni od mješanica termokromnih i klasičnih UV boja. Pretpostavka jest da će termokromni otisci pokazati manju mehaničku otpornost prema otiranju u odnosu na one s konvencionalnim tiskarskim bojama. Također pretpostavka je da će neupojne podloge pokazati manju mehaničku otpornost od onih na upojnim podlogama.

Rezultati ovog istraživanja potvrdili su pretpostavke, pa se može zaključiti kako konvencionalne tiskarske boje imaju bolju mehaničku otpornost od same termokromne boje. Mješanice termokromnih boja i klasičnih UV boja mogu parirati uzorcima otisnutim samo klasičnim bojilima.

Podloge izrađene od ekološki prihvatljivih materijala, odnosno onih na bazi recikliranih vlakana pokazale su se iznimno dobrim podlogama te su davale odlične rezultate za sve otiske.

6. LITERATURA

1. <http://materijali.grf.unizg.hr/media/Kromogene%20tiskarske%20boje.pdf> , srpanj 2022
2. Kulčar R., (2010). Kolorimetrijska analiza i parametri stabilnosti UV-termokromnih boja, doktorska disertacija, Grafički fakultet
3. http://materijali.grf.unizg.hr/media/PAPIR%20vjezba%201_new.pdf , srpanj 2022
4. Stržić Jakovljević M., (2018). Termokromne tiskarske boje na bazi tekućih kristala, doktorski rad, Grafički fakultet
5. J.Kirwan M., Handbook of Paper and Paperboard Packaging Technology, Second Edition, Wiley-Blackwell, 2013
6. http://repro.grf.unizg.hr/media/download_gallery/OSNOVE%20O%20BOJI%202.dio.pdf , srpanj 2022
7. <https://www.pds.averydennison.com/content/PDS/BT025> , kolovoz 2022
8. <https://www.pds.averydennison.com/content/PDS/BT024> , kolovoz 2022
9. <https://www.pds.averydennison.com/content/PDS/BD733> , kolovoz 2022
10. <https://www.pds.averydennison.com:8444/PDSFinder/rest/service/pdsfinder/search/getpds/BJ993/126713> , kolovoz 2022
11. <https://www.pds.averydennison.com:8444/PDSFinder/rest/service/pdsfinder/search/getpds/AT095/112697> , kolovoz 2022
12. <https://www.pds.averydennison.com/content/PDS/AP764?UL=1> , kolovoz 2022
13. http://materijali.grf.unizg.hr/media/otiranje_vjezba%205.pdf , kolovoz 2022
14. <https://label.averydennison.com/content/dam/averydennison/lpm/eu/en/doc/Label-Packaging-Materials/Custom-Tools/lpm-eu-technical%20guide-liner%20materials-2021-web.pdf> , kolovoz 2022