

# Razvoj zaštitnog premaza za poboljšanje trajnosti termokromnih otisaka

---

**Meštrović, Ivana**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2023**

*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:216:828370>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-09**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Graphic Arts Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**GRAFIČKI FAKULTET**

**ZAVRŠNI RAD**

Ivana Meštrović



Sveučilište u Zagrebu  
Grafički fakultet

Smjer: Tehničko-tehnološki

# ZAVRŠNI RAD

## RAZVOJ ZAŠTITNOG PREMAZA ZA POBOLJŠANJE TRAJNOSTI TERMOKROMNIH OTISAKA

Mentor:

Doc.dr.sc. Marina Vukoje

Student:

Ivana Meštrović

Zagreb, 2023.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**

**GRAFIČKI FAKULTET**

**Getaldićeva 2**

**Zagreb, 6. 7. 2023.**

Temeljem podnijetog zahtjeva za prijavu teme završnog rada izdaje se

## **RJEŠENJE**

kojim se studentu/ici Ivani Meštrović, JMBAG 0128066808, sukladno čl. 5. st. 5. Pravilnika o izradi i obrani završnog rada od 13.02.2012. godine, odobrava izrada završnog rada, pod naslovom: Razvoj zaštitnog premaza za poboljšanje trajnosti termokromnih otisaka, pod mentorstvom doc. dr. sc. Marine Vukoje.

Sukladno čl. 9. st. 1. Pravilnika o izradi i obrani završnog rada od 13.02.2012. godine, Povjerenstvo za nastavu, završne i diplomske ispite predložilo je ispitno Povjerenstvo kako slijedi:

1. izv. prof. dr. sc. Kulčar Rahela, predsjednik/ica
2. doc. dr. sc. Vukoje Marina, mentor/ica
3. doc. dr. sc. Itrić Ivanda Katarina, član/ica



Dekan

Prof. dr. sc. Klandio Pap

## SAŽETAK

Termokromni otisci su popularna tehnologija koja se koristi u proizvodnji ambalaže i etiketa. Međutim, ovi otisci često se suočavaju s problemima stabilnosti i otpornosti prilikom izlaganja UV zračenju, što može dovesti do gubitka informacija ili estetskog izgleda. Stoga je razvoj zaštitnog premaza koji poboljšava trajnost i otpornost termokromnih otisaka ključan za osiguravanje kvalitete proizvoda. Zaštitni premaz je sloj koji se nanosi na površinu otiska kako bi se poboljšala njegova trajnost i otpornost na vanjske čimbenike poput vlage, UV zračenja i mehaničkih oštećenja. Osim toga, zaštitni premaz također može poboljšati kvalitetu otiska i spriječiti njegovo blijedenje. U ovom radu proučavat će se razvoj premaza u svrhu poboljšanja stabilnosti termokromnih otisaka.

***Ključne riječi:*** termokromne boje, UV zračenje, ofsetni tisak, premazi

## **ABSTRACT**

Thermochromic printing is a popular technology used in the production of packaging and labels. However, these prints often face problems of stability and resistance when exposed to UV radiation, it can lead to loss of information or aesthetic appearance. Therefore, the development of a protective coating that improves the durability and resistance of thermochromic prints is crucial to ensure product quality. The protective coating is a layer that is applied to the surface of the print in order to improve its durability and resistance to external factors such as moisture, UV radiation and mechanical damage. In addition, the protective coating can also improve the quality of the print and prevent it from fading. This paper will study the development of coatings in order to improve the stability of thermochromic prints.

***Key words:*** *thermochromic colors, UV radiation, offset printing, coatings*

# SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
1.1 Cilj istraživanja .....	1
2. TEORIJSKI DIO.....	2
2.1 Termokromne boje .....	2
2.2 Boje na bazi tekućih kristala .....	2
2.3 Boje na bazi leuko bojila.....	3
2.3.1 Sastav termokromnih boja.....	3
2.4 CIE L*a*b* sustav .....	4
2.4.1 Kolorimetrijska razlika.....	5
2.5 Etikete .....	6
2.5.1 Sastav samoljepljivih etiketa.....	8
2.5.2 Održive etikete .....	8
2.6 Stabilnost otisaka na UV zračenje.....	9
2.7 Ofsetni tisak .....	10
2.7.1 Način rada ofseta.....	10
2.8 Mehanizmi UV sušenja tiskarskih boja.....	11
3. EKSPERIMENTALNI DIO.....	12
3.1 Tiskovna podloga .....	12
3.2 Tiskarska boja .....	12
3.3 Priprema premaza .....	12
3.4 Apliciranje premaza .....	13
3.5 Test ubrzanog starenja.....	13
3.6 Određivanje kolorimetrijskih karakteristika.....	14
4. REZULTATI I RASPRAVA.....	15
4.1 Krivulje spektralne refleksije .....	15
4.1.1 Krivulje spektralne refleksije TC otiska na podlozi grape .....	15
4.1.2 Krivulje spektralne refleksije TC otiska na podlozi barley .....	21
4.2 Kolorimetrijska razlika.....	26
5. ZAKLJUČAK .....	30
6. LITERATURA.....	31
7. POPIS SLIKA.....	33

## 1. UVOD

Termokromne boje su boje koje mijenjaju obojenje kao odgovor na temperaturne varijacije. Ove se boje mogu klasificirati u reverzibilne i ireverzibilne. Reverzibilne termokromne boje prelaze iz jedne boje u drugu kako se temperatura mijenja i vraćaju se svojoj izvornoj boji kada se ohlade. Nepovratne termokromne boje, s druge strane, ne vraćaju svoju početnu boju nakon promjena temperature. Temperatura pri kojoj se termokromne boje mijenjaju poznata je kao temperatura aktivacije, koja se može kategorizirati kao niska, visoka ili na temelju topline tijela. Po kemijskom sastavu postoje dvije glavne vrste termokromnih boja: boje na bazi tekućih kristala i leuco boje. Boje na bazi tekućih kristala koriste tekuće kristale i mijenjaju stanje između kristalnog i tekućeg što dovodi do vidljivih promjena boje. Leuco boje, s druge strane, koriste bezbojne ili slabo obojene spojeve poznate kao leuco boje, koje se pretvaraju u obojeno stanje kada reagiraju s razvijanjem. Leuco boje mogu postići širok raspon boja. Termokromne boje obično se sastoje od trodijelnog inkapsuliranog sustava koji se sastoji od razvijanja, otapala i oblikovane boje. Termokromne boje se procjenjuju korištenjem CIE  $L^*a^*b^*$  prostora boja, koji pruža trodimenzionalni model za percepciju boja na temelju koordinatnih vrijednosti. UV sušeće boje suše se ultraljubičastim zračenjem te su ekološki prihvatljivije i brže se suše, što ih čini pogodnima za otiskivanje na neupojnim površinama.

### 1.1 Cilj istraživanja

Termokromne boje imaju slabu svjetlostalnost na UV zračenja te je cilj ovog rada odrediti utjecaj UV zračenja na termokromne otiske na različitim podlogama te mogu li određeni premazi i određeni postotci premaza pomoći u poboljšanju svjetlostalnosti termokromnih otisaka, odnosno može li se apliciranjem premaza povećati otpornost na UV zračenje.



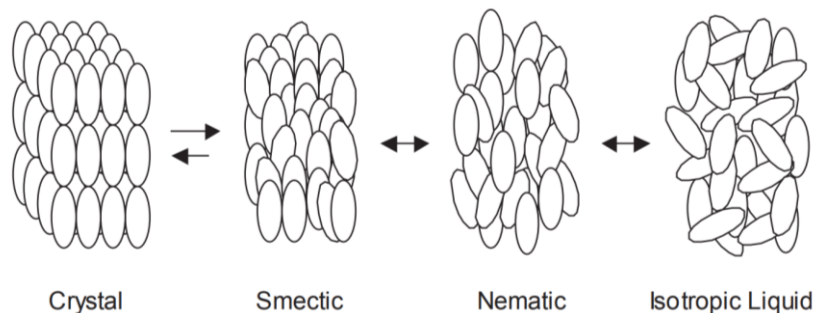
## **2. TEORIJSKI DIO**

### **2.1 Termokromne boje**

Termokromne boje su boje osjetljive na temperaturu. Ovisno o temperaturnim promjenama, one mijenjaju svoje obojenje. Po vrsti termokromnih boja dijelimo reverzibilne i ireverzibilne. Kod reverzibilnih se obojenje iz početne boje kreće promjenom temperature i mijenja stanje u neku drugu boju te se hlađenjem obojenje vraća u početno obojenje. Za razliku od reverzibilnih, ireverzibilne se boje nakon promjene temperature i obojenja ne vraćaju u početno obojenje. Temperatura aktivacije je ona temperatura pri kojoj termokromne boje mijenjaju svoje obojenje (boju). Temperatura aktivacije može biti niska, visoka i temperatura aktivacije toplinom tijela. Kod niske temperature aktivacije (oko 10 °C) dolazi do promjene iz neobojenog u obojeno stanje. Visoka temperatura aktivacije (oko 43 °C) termokromnu boju dovodi iz obojenog u neobojeno stanje dok temperatura aktivacije na temelju tjelesne temperature (31 °C) prilikom kontakta s tijelom mijenja obojenje. Termokromne boje uglavnom se koriste kako bi privukle kupce zbog svog zanimljivog efekta, kao indikatori svježine ili temperature proizvoda u prehrambenoj industriji. Postoje dvije vrste termokromnih boja, a to su boje na bazi tekućih kristala i leuko boje.

### **2.2 Boje na bazi tekućih kristala**

Tekući kristali su materijali koji se nalaze između tekućeg i krutog stanja. Tvore ih anizotropne molekule. Anizotropne molekule mogu biti štapićastog oblika, okruglo-plosnatog oblika, piramidalnog ili zakrivljeno-duguljastog oblika. Ove molekule se orijentiraju u različitim smjerovima ovisno o tome mijenjaju li se iz kristaliziranog u tekuće ili iz tekućeg u kristalizirano stanje pod utjecajem različitih temperatura. Dakle, iz kristalnog prelaze u sematičko, zatim u nematičko te na kraju u izotropsko tekuće stanje kako je prikazano na slici 1. Jedna od važnijih vrsta tekućih kristala su polimeri (lančani ili razgranati) [1]. Zbog njihove promjene stanja, mijenja se kut kristala te samim time vidimo drugu boju. Termokromne tiskarske boje na bazi tekućih kristala su teže za rukovanje pa se kao tehnike tiska koristi sitotisak i graviranje.



**Slika 1** Kemijska stanja tekućih kristala

(Izvor: Bamfield, P., *Chromic Phenomena*. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 2010)

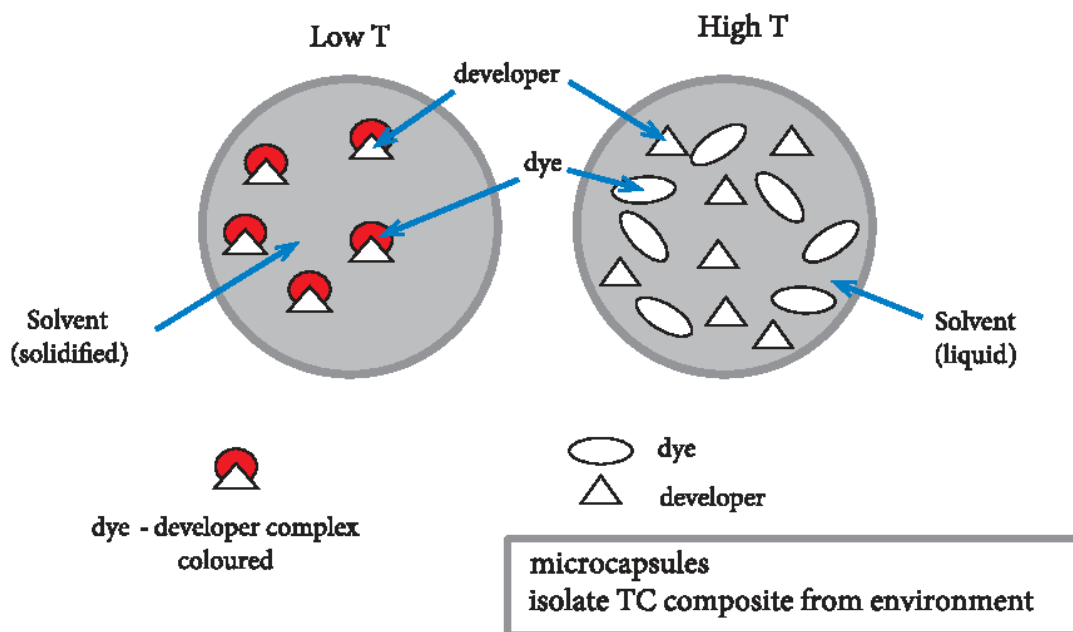
### 2.3 Boje na bazi leuko bojila

Leuko boje su bezbojni ili slabo obojeni spojevi koji se u reakciji s razvijanjem transformiraju u obojeno stanje. Leuko bojila se danas koriste sve više i više. Izvanredno svojstvo ovih termokromnih sustava je visoka prilagodljivost boje i temperaturne promjene. Široki raspon leuko boja pomaže u realizaciji gotovo svake boje, a različite komponente otapala pomažu u podešavanju temperature termokromnog prijelaza unutar širokih raspona koji su beskonačno promjenjivi [2]. Termokromne boje na bazi leuko bojila obično su mikrokapsulirane kako bi sadržavale termokromni sustav za promjenu boje. Osim toga, termokromne boje na bazi leuko bojila mogu se otiskivati svim glavnim tehnikama tiska.

#### 2.3.1 Sastav termokromnih boja

Većina termokromnih boja sastoji se od inkapsuliranog trodijelnog sustava: razvijaača, otapala i bojila. Boja im ovisi o reakciji između boje i razvijaača i reakciji između otapala i razvijaača kada se otapalo rastali. Leuko bojila mogu biti spiroolaktoni, fluorani ili spiropirani. Tipični razvijaači su bisfenol A, galati, fenoli, hidroksibenzoati i hidroksikumarin. Kao otapala primjenjuju se dugolančani alkil alkoholi, esteri, ketoni ili eteri. Oni pokreću učinak termokromnih boja taljenjem i kontroliraju proces dekoloracije [2]. U hladnom stanju, leukobojila imaju određenu boju, a kada se zagriju postaju bistra ili prozirna. Temperaturu na kojoj se događa proces promjene boje kontrolira temperatura

na kojoj se otapa otapalo. Ako je poželjno, termokromne boje mogu mijenjati obojenje iz jedne u drugu. To možemo dobiti kombinacijom procesne boje i termokromne boje na bazi leukoboijila. Na temperaturama ispod točke aktivacije, otapalo je u krutom stanju što omogućuje bojilu i razvijaju boje da formiraju boju, što rezultira učinkom pune boje. Kada temperatura dosegne točku aktivacije, otapalo postaje tekuće, držeći razvijaj boje i leuko boju odvojenima (Slika 2). Veličine mikrokapsula koje se koriste u tiskarskim bojama su u rasponu od 3 do 5  $\mu\text{m}$  što ih čini barem deset puta većim od prosječne veličine bojila koja se koriste u formuliranju konvencionalnih tiskarskih boja [3].



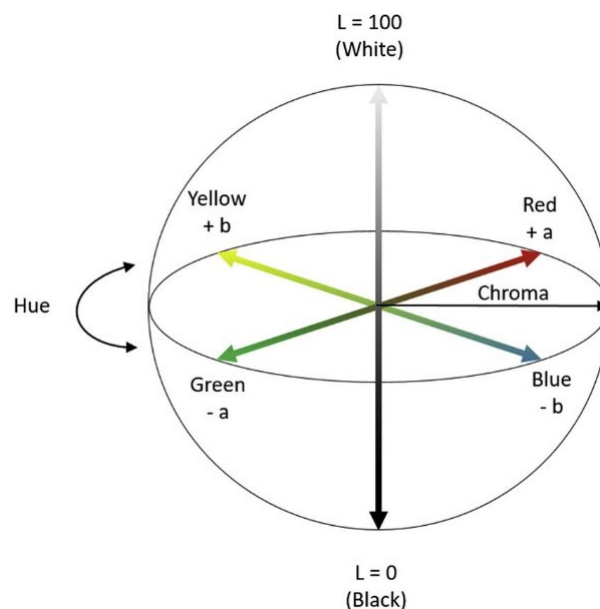
**Slika 2.** Prikaz prijelaza termokromne boje iz krutog u tekuće stanje

(Izvor: <https://www.semanticscholar.org/paper/Dynamic-Colour-Possibilities-and-Functional-of-Inks-Kul%C4%8Dar-Gunde/9aca0a9dd14d74422e4f9bae94f173b1fa3d8e1f>)

## 2.4 CIE $L^*a^*b^*$ sustav

CIE  $L^*a^*b^*$  prostor boja je međunarodno priznat sustav za vrednovanje kolorimetrijskih vrijednosti boja (Slika 3). To je trodimenzionalni model prikazivanja boja čije se koordinatne vrijednosti u korelaciji sa psihičkim karakteristikama boje što znači da

odgovaraju teoriji suprotnih boja, a to su crvena-zelena, plava-žuta te svijetle i tamne boje. Sama korelacija postignuta je primjenom kromatske adaptacije i nelinearnog vizualnog odziva. Kromatska adaptacija je najbitnija funkcija ljudskog vizualnog sustava te je potrebna kako bi razumjeli stvaranje prostora boja.  $L^*a^*b^*$  sustav sastoji se od tri osi. Dije se na jednu akromatsku i dvije kromatske osi.  $L^*$  je akromatska os i označava svjetlinu (eng: *luminance*). Ona se mjeri od rasponu od 0-100 po okomitoj osi gdje 0 označava vrijednost za crnu, a 100 označava vrijednost za bijelu. Prva kromatska os je os  $a^*$  koja označava crvenu i zelenu boju ovisno u kojem smjeru se krećemo po samoj osi. (-a zelena, +a crvena). Druga os je  $b^*$  os koja na istom principu kao  $a^*$  os označava preostale dvije boje, a to su žuta i plava (-b plava, +b žuta) [4].



**Slika 3.** CIE  $L^*a^*b^*$  prostor boja [5]

#### 2.4.1 Kolorimetrijska razlika

Kolorimetrija se široko koristi u tri glavna područja primjene: specifikacija boja, procjena razlike u boji i predviđanje izgleda boje. Koristeći  $L^*a^*b^*$  sustav možemo odrediti kolorimetrijske razlike ( $\Delta E^*$ ) koje predstavljaju razliku između dvije točke u sustavu. Uz pomoć nje, možemo opisati kvalitetu reprodukcije u grafičkoj tehnologiji. Samo ocjenjivanje kolorimetrijske razlike se može provesti uz pomoć standardiziranih kriterija [6]:

- $\Delta E^* < 0,2$  razlika u boji nije vidljiva
- $\Delta E^* < 0,5$  preciznost instrumenta, zanemariva razlika
- $\Delta E^* = (0,2 - 1)$  razlika se primjećuje, vrlo mala razlika
- $\Delta E^* = (1 - 3)$  razlika u boji je vidljiva, mala razlika
- $\Delta E^* = (3 - 6)$  razlika u boji je dobro vidljiva, očita razlika
- $\Delta E^* = (6 - 12)$  razlika u boji je vrlo dobro vidljiva, očigledna odstupanja

Postoji nekoliko formula za računanje ukupne razlike u boji ( $\Delta E$ ), od kojih svaka ima svoj matematički izračun, a najčešće korištene su  $\Delta E_{ab}$  prema jednadžbi 1 i CIEDE2000 koja se računa prema jednadžbi 2 [7].

$$\Delta E = \sqrt{(L_2 - L_1)^2 + (a_2 - a_1)^2 + (b_2 - b_1)^2} \quad (1)$$

$$\Delta E_{00}^* = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'}{k_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C'}{k_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H'}{k_H S_H}\right)^2 + R_T \frac{\Delta C'}{k_C S_C} \frac{\Delta H'}{k_H S_H}} \quad (2)$$

## 2.5 Etikete

Etikete su jedan oblik ambalaže, a uglavnom se koriste s drugim oblicima ambalaže kao što su boce ili transportne kutije. Etiketa može puno reći o samom proizvodu pa tako i za termokromne boje mogu služiti kao indikatori svježine ili temperature proizvoda, ali isto tako mogu služiti kao oblik komunikacije između proizvoda i kupca. Etiketa može biti komad kartona, laminiranog materijala, tkanine ili bilo kojeg umjetnog materijala. Etikete sadrže podatke o proizvodu poput sastava, sadržaja, upute ili vlasništvo. Na etiketama su prisutni QR kodovi, bar kodovi i ostale dvodimenzionalne oznake. Tisak etiketa postaje sofisticirana proizvodna grana koju čine suvremene tiskarske tehnologije kao što su digitalni i klasični tisak, tisak iz role i arka koje za tiskovne podloge koriste folije, različite vrste papira, kombinacije lakova, ljepila i boja. Osim toga koristi se moderna digitalna priprema te perforiranje i štancanje nepravilnih oblika. Proces etiketiranja je proces postavljanja etikete na željenu površinu ili proizvod. U proizvodnji samoljepljivih etiketa danas se pod obavezno već koriste „preganje“, foliotisak, sitotisak i sl. kao dekorativne tehnologije [8].

Postoje četiri vrste etiketa:

- samoljepljive etikete
- etikete na koje se nanosi ljepilo
- etikete u kalupu (*in mould*)
- *Shrink sleeve* etikete. [8]

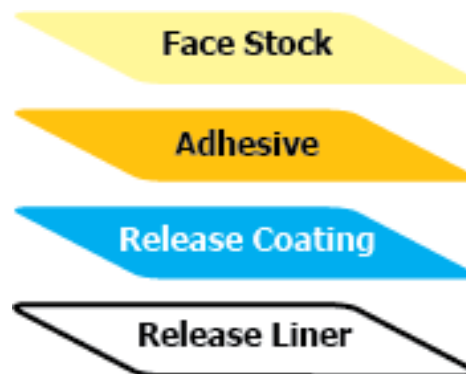
Samoljepljive ili etikete osjetljive na pritisak su etikete koje su trajno ljepljive. Njihova glavna odlika je ta da imaju sposobnost lijepljenja na veliki spektar površina kao što su folije za pakiranje i plastične ili staklene boce. Osim toga, jednostavne su i praktične za korištenje. Zovu se osjetljive na pritisak zbog toga što je potreban mali pritisak da bi se zalijepile te im za razliku od ostalih gore navedenih vrsta naljepnica nisu potrebni pričvršćivači, toplina, voda ili ljepilo [9].

Kako bi etiketa bila dugotrajnija, potrebno je utvrditi određene parametre za odabir adekvatnog ljepila etikete. Ljepilo biramo prvotno uzimajući u obzir industrijske propise o sukladnosti, funkcionalnosti naljepnice ili pakiranja i dizajn ambalaže za mogućnost recikliranja. Propisi o zaštiti zdravlja su ključni faktor farmaceutskoj i prehrambenoj industriji. Osim propisa koji se moraju pratiti za odabir ljepila, bitna je i sama funkcionalnost ljepila. Bitno je da ljepilo odgovara potrebama aplikacije. Na primjer, ako je poželjno da se etiketa u potpunosti može ukloniti ili je potrebno da ima određenu otpornost na vodu. U današnje vrijeme uvelike se uzima u obzir održivost pa je zato potrebno da je i ljepilo podložno recikliranju kako bi bilo što manje otpada. Na izbor ljepila često utječe i prednja strana etikete te tako postoje ljepila za reciklirane papirnate površine ili običnih filmskih površina za etikete. Također, moramo uzeti u obzir površine na koje će se etikete lijepiti. To mogu biti površine kao staklo, na koji se etikete vrlo lako prijanjaju ili PVC površine na koje se etikete teže prijanjaju. Temperatura je također bitan parametar za odabir ljepila kako bi se osiguralo da se etiketa zalijepi i ostane zalijepljena na podlozi [10].

### 2.5.1 Sastav samoljepljivih etiketa

Samoljepljive etikete na svojoj poleđini imaju ljepljivi sloj. Kako bi se taj ljepljivi očuvao, etiketa ima zaštitni papirni sloj koji je potrebno ukloniti prije nego se naljepnica naljepi na željenu površinu.

Ove etikete imaju četiri sloja (Slika 4). Prvi sloj je sloj naljepnice (eng. *facestock*) to je površinski materijal. Može biti papir, folija, film ili platneni materijal koji je dizajniran za ispis i pretvoren u materijal osjetljiv na pritisak. Drugi sloj je ljepilo (eng. *adhesive*). Dizajniran je kao sloj premaza za prijanjanje na različite površine i može biti trajno ili uklonjivo te za dugotrajnu ili kratkoročnu upotrebu. Sljedeći sloj poseban je premaz koji se nanosi na podstavu i regulira pravilno odstranjivanje nosača (eng. *release liner*) te se zove premaz za oslobađanje (eng. *release coating*). Zadnji sloj bio bi odstranjujući nosač/sloj koji se uklanja za nanošenje naljepnice te mu je glavna uloga zaštita ljepljivog sloja od onečišćenja. [9]



Slika 4. Slojevi etikete

(Izvor: <https://www.wsel.com/labels/products/pressure-sensitive>)

### 2.5.2 Održive etikete

Industrija plastike ovisi o sirovoj nafti, njezinoj dostupnosti i cijeni, kao i političkom utjecaju, koji na kraju može imati ekonomski utjecaj na tržište plastike. Također, nedostaci povezani sa sintetičkim polimerima unatoč njihovim dobrim mehaničkim svojstvima, dostupnosti i niskoj cijeni, koji su uglavnom povezani s njihovom velikom globalnom potrošnjom i prekomjernim nakupljanjem u okolišu, dovode do globalnog problema otpada. Stoga je prelazak s tradicionalne proizvodnje na kružno gospodarstvo

ključan, tj. poboljšanim upravljanjem otpadom i materijalima pitanje vezano uz problem nakupljanja polimernog otpada može se svesti na minimum. [11].

Zbog povećane potražnje za proizvodima na bazi papira, održiva proizvodnja papira pronalazi nova alternativna vlakna pogodnih za izradu papira. Ta alternativna vlakna grupiraju se u četiri skupine, a to su namjenski usjevi, industrijski ostatci, prirodni nekultivirani usjevi i poljoprivredni ostatci. Time se može osigurati dobra sirovinška bazu za manje tvornice papira, koje kroz lokalne opskrbe lance te samim time i učiniti proces održivijim [12]. Poljoprivredni ostatci koji se mogu koristiti su voćne prirode kao što su grožđe, ječam ili citrusi te ostatci žitarica, lješnjak, lavanda i slični. Takvi materijali se za svrhu izrade papira pročišćavaju, usitnjavaju i kombiniraju s vlaknima drvne prirode i dodacima. Daljnja izrada jednaka je izradi klasičnog papira osim što se ne dodaju kemikalije te je potrošnja vode manja kako bi sam proces bio održiviji. Nusprodukti različitih proizvodnji mogu biti izvor za izradu papira. Na primjer, ostatci grožđa koji nastaju u proizvodnji vina ili ječam, koja se uobičajeno koristi kod izrade alkoholnih pića, upotrebljavaju se za izradu papirnatih proizvoda [13].

Često su poljoprivredni ostaci također izvor nedrvenih vlakana. Utvrđeno je da agroindustrijski ostaci/otpad od banana, kukuruza, citrusa, grožđa, nara, voća jagoda i ječmene slame imaju visok potencijal celuloznih vlakana. Nedavno su potencijalni izvori nedrvenih sirovina za proizvodnju papira, kao i jeftine sirovine za proizvodnju papira postali interes različitih studija [11, 13]. Na primjer, lišće banane, ananasa i otpad citrusa nedrvni su lignocelulozni materijali koji mogu biti alternativne sirovine za proizvodnju papira i ambalaže.

## **2.6 Stabilnost otisaka na UV zračenje**

Termokromne boje, kao i druge boje zahtijevaju slične uvjete za održavanje i rukovanje. Ako se termokromne boje skladište na nižim temperaturama imati će dulji vijek trajanja. Uglavnom, prosjek trajanja neotisnute termokromne boje je od tri do šest mjeseci uzimajući u obzir da su uvjeti normalni i stabilni. Za razliku od neotisnutih termokromnih boja, otisnute mogu trajati godinama, ali ako su prekomjerno izložene UV zračenju životni vijek će im biti znatno skraćen. Baš iz tog razloga se termokromne boje ne koriste



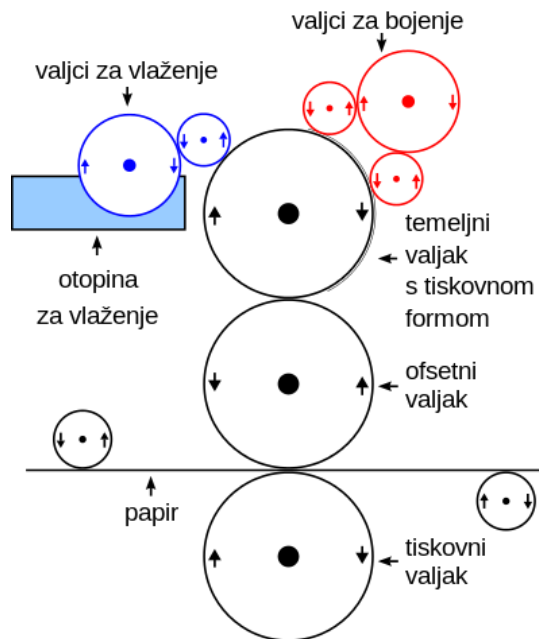
na reklamnoj ambalaži kao što su etikete [14]. Zbog potražnje povećanja postojanosti termokromnih boja na UV zračenje sve se češće provode istraživanja kako bi se to popravilo [15]. UV zračenje oštećuje materijale kroz kompleks fotokemijske reakcije, gdje polimerni materijali prvo apsorbiraju energiju koja se zatim koristi za kidanje molekularnih veza. Prisutnost kromofornih skupina uzrokuje bržu degradaciju materijala zbog visokog kapaciteta UV apsorpcije [16].

## **2.7 Ofsetni tisak**

Ofsetni tisak najčešća je tehnologija tiska koja se koristi za kvalitetnu proizvodnju tiskarskih proizvoda. Konvencionalne ofsetne tiskarske boje obično se sastoje od bojila koja mogu biti organska ili anorganska, veziva kao što su biljna i mineralna ulja, otapala i tvrde smole, pomoćne tvari; sikativi, punila, voskovi ili inhibitori te razrjeđivači. Način na koji boja prodire u tiskovnu podlogu ovisi o učinku razdvajanja. Površinske karakteristike papira odvajaju komponente boje. Za neupojne podloge komponente boje ne mogu penetrirati u podlogu dok kod upojne podloge penetriraju vezivo, razrjeđivači te djelomično i pomoćne tvari. Sam izgled papira (glatkoća, poroznost i hrapavost površine) i upojnost također znatno utječu na mogućnost tiska [17].

### *2.7.1 Način rada ofseta*

Ofsetni tisak je tehnika plošnog indirektnog tiska. Postupak otiskivanja ovom tehnikom vrši se tiskovnom formom čije su slobodne površine i tiskovni elementi u istoj ravnini (slika 5). Ofset se sastoji od tri glavna cilindra. Prvi je temeljni cilindar koji na sebi nosi tiskovnu formu. Na tiskovnom cilindru se nalazi uređaj za vlaženje koji navlaži tiskovnu formu temeljnog cilindra. Nakon toga na red dolazi uređaj za obojenje koji nanosi boju na navlaženu formu. Boja se prihvaća na hidrofobni dio forme a to su tiskovni elementi, a otopina za vlaženje se prihvaća na hidrofilne slobodne površine. Drugi cilindar je ofsetni cilindar. On ima gumenu navlaku koja na sebe prihvaća tiskarsku boju sa temeljnog cilindra. Zatim se sa ofsetnog cilindra motiv prenosi na podlogu koju nosi tiskovni cilindar.



**Slika 5.** Prikaz ofsetnog tiska

(Izvor: [https://www.wikiwand.com/hr/Ofsetni\\_tisak](https://www.wikiwand.com/hr/Ofsetni_tisak))

## 2.8 Mehanizmi UV sušenja tiskarskih boja

Tiskarske boje su obojene složene smjese, tekućine ili paste, koje se uglavnom sastoje od bojila (pigmenata ili bojila), veziva (smole), otapala (organskog ili na bazi vode) i aditiva (kelatna sredstva, antioksidansi, površinski aktivna sredstva, biocidi itd.). Njihov sastav i fizička svojstva razlikuju se uglavnom zbog procesa tiska za koji su namijenjeni. Kada se nanese na podlogu, boja se mora pretvoriti u čvrsto stanje. Vezivo se suši i veže bojilo na tiskovnu podlogu. Sušenje tiskarskih boja bi se trebalo postići što je brže moguće. Sušenje može biti fizičko (isparavanje), kemijsko (oksidacija, stvrdnjavanje izazvano zračenjem) ili kombinacija ta dva načina sušenja. Sušenje izravnim zračenjem uključuje ultraljubičasto zračenje, infracrveno zračenje, elektronski snop, mikro valove i radiofrekvencije. Isparavanje hlapivih organskih spojeva i njihova emisija u atmosferu tijekom sušenja se može izbjeći korištenjem boja na vodenoj bazi i UV sušecim bojama. Osim boljih ekoloških aspekata, tiskarske boje koje se suše UV zračenjem posebno su prikladne za tisak na neupojne podloge zbog brzog sušenja. Veziva UV sušecih boja su općenito akrilati (epoksi, poliuretanski i poliesterski akrilati), otapala su monomeri niske viskoznosti, a aditivi mogu biti voskovi, površinski aktivne tvari, fotoinicijatori (npr. benzofenon) i fotoaktivatori (npr. amini) te inhibitori [18].

### **3. EKSPERIMENTALNI DIO**

#### **3.1 Tiskovna podloga**

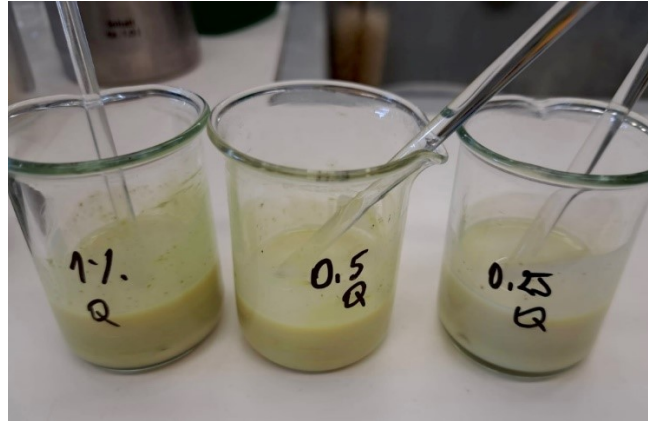
Uzorci korišteni za ovaj rad su samoljepljive etikete izrađene od papira koji se sastoji od 15% nusprodukta ječma (B) odnosno grožđa (G), 40% recikliranih vlakana iz otpadnog papira te 45% djevičanske drvene pulpe. Nosač samih etiketa je bijeli superkalendrirani Glassine papir. Ljepilo korišteno za etikete s grožđem (Fasson rCrush Grape) je ljepilo na bazi gume koje je pogodno za vinsku industriju, a ljepilo za etikete s ječmom (Fasson rCrush Barley) je akrilne prirode. Kako je poznato da grožđe i ječam daju papiru posebnu teksturu i izgled preporuča se upotreba etiketa s grožđem za vino i ječmom za *craft* pivo i viski. Nadalje, na ove etikete moguće je tiskati bilo kojom konvencionalnom tehnikom tiska, ali zbog teksture najbolji rezultat daju ofsetni i fleksografski tisak [19, 20].

#### **3.2 Tiskarska boja**

Za ovaj rad korištena je reverzibilna termokromna boja na bazi leuko bojila. Njezina temperatura aktivacije je 29°C. Ispod temperature aktivacije obojenje je plavo, a zagrijavanjem i dostizanjem temperature aktivacije termokromna boja prelazi u bezbojno stanje. Otisci su tiskani tiskarskim strojem u realnim uvjetima (u tiskari) i sušeni uz pomoć ofsetne UV jedinice za sušenje.

#### **3.3 Priprema premaza**

Premaz je pripremljen otapanjem granulata UV apsorbera (Q) u vododisperzivnom laku (WD), uz miješanje oko 10 min da se dobije homogena smjesa. Premazi na otisnutim uzorcima pripremljeni su iz otopine WD laka variranjem koncentracija UV apsorbera (0%, 0.25%, 0.5% i 1%) (slika 6).



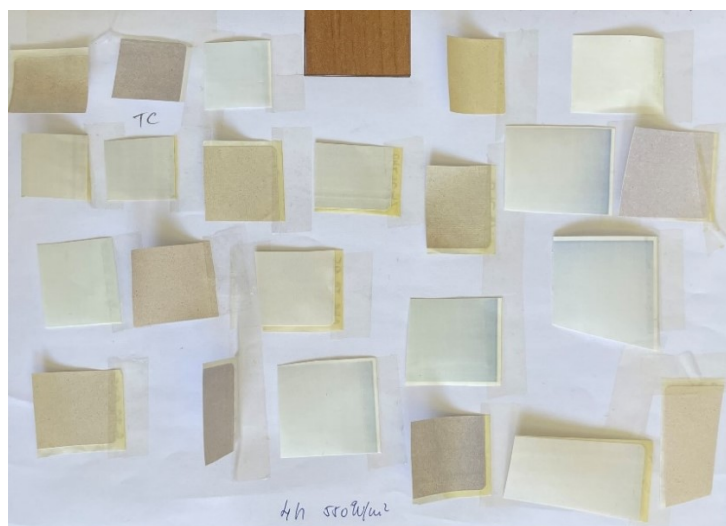
**Slika 6.** Priprema premaza

### **3.4 Apliciranje premaza**

Premazi su nanoseni pomoću K202 Control Coater (RK Print, Litlington, UK) u kontroliranim uvjetima definiranim standardom ISO 187:1990. Debljina mokrog premaza definirana je standardnom šipkom za premaz na 12  $\mu\text{m}$  (K-bar 2). Svi premazi nanoseni su na otisnutu stranu papira.

### **3.5 Test ubrzanog starenja**

Za provedbu testa ubrzanog starenja korišten je Solarbox 1500e (CO.FO.ME.GRA). Ovaj uređaj osigurava kontrolu zračenja i temperature. Za ovaj rad uzorci su izlagani temperaturi od 50°C pri jačini zračenja od 550  $\text{W}/\text{m}^2$  i filtriranom ksenonskom svjetlu u vremenu od 4 sata (slika 7). Također je korišten UV filtar za promjenu spektralne krivulje iz ksenonskog u ultraljubičasto područje.



**Slika 7.** Stareni uzorci otiska korištenih u radu

### 3.6 Određivanje kolorimetrijskih karakteristika

Postupak mjerenja spektralne refleksije uzoraka mjereno je uz pomoć spektrometra *Ocean Optics USB2000+* koji koristi integracijsku sferu širine 50 mm u skladu sa (di:8°) geometrijom mjerenja. Geometrija mjerenja označava detekciju reflektiranog svjetla pod kutem od 8° u odnosu na okomicu uz odstupanje od ±5° i difuzno osvjetljenje uzorka. Izvor svjetla korišten za ovaj rad je *Ocean Optics LS-1 tungsten halogen* sa područjem zračenja od 360 nm do 2000 nm. Uzorci su mjereni na temperaturama od 20°C, 29°C i 40°C, a samo zagrijavanje je omogućeno uz pomoć uređaja za promjenu temperature (EK Water Blocks, EKWB d.o.o., Slovenija). Ovaj uređaj sastoji se od upravljačke ploče, tekućine koja se zagrijava i hladi te cirkulira kroz sustav i metalne pločice na koju se uzorci zalijepe. Spektralna refleksija mjerena je u području vidljivog dijela spektra to jest od 400 nm do 750 nm s korakom od 1nm. Mjerenja uzoraka je napravljeno na uzorcima prije i poslije izlaganja UV zračenju. Također, mjerena je i spektralna refleksija te su izmjereni kolorimetrijski parametri  $C^*$ ,  $h^*$ ,  $L^*$ ,  $a^*$  i  $b^*$  uz pomoć kojih je izračunata kolorimetrijska razlika CIEDE2000 prema jednadžbi (1).

$$\Delta E_{00}^* = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'}{k_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C'}{k_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H'}{k_H S_H}\right)^2 + R_T \frac{\Delta C'}{k_C S_C} \frac{\Delta H'}{k_H S_H}} \quad (1)$$

## 4. REZULTATI I RASPRAVA

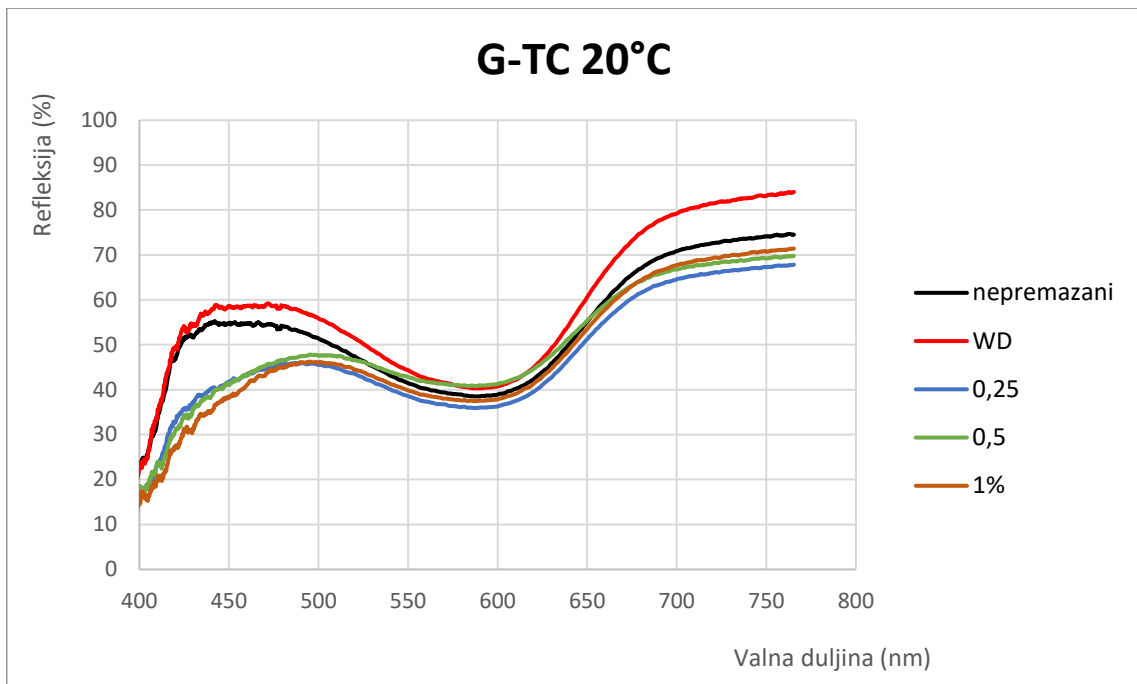
### 4.1 Krivulje spektralne refleksije

Na slikama 8-16 su prikazane krivulje spektralne refleksije uzoraka otiska termokromne boje na podlozi Grape (G). Na slikama 8-10 su prikazane spektralne krivulje nepremazanog uzorka te uzorka premazanih s vododisperzivnim lakom (WD) i lakom modificiranim s definiranim postotcima UV apsorbera (0.25%, 0.5% i 1%) na temperaturama mjerenja od 20°C, 29°C i 40°C, a na slikama od 11-16 je prikaz krivulja starenih i nestarenih uzoraka također na već navedenim mjernim temperaturama.

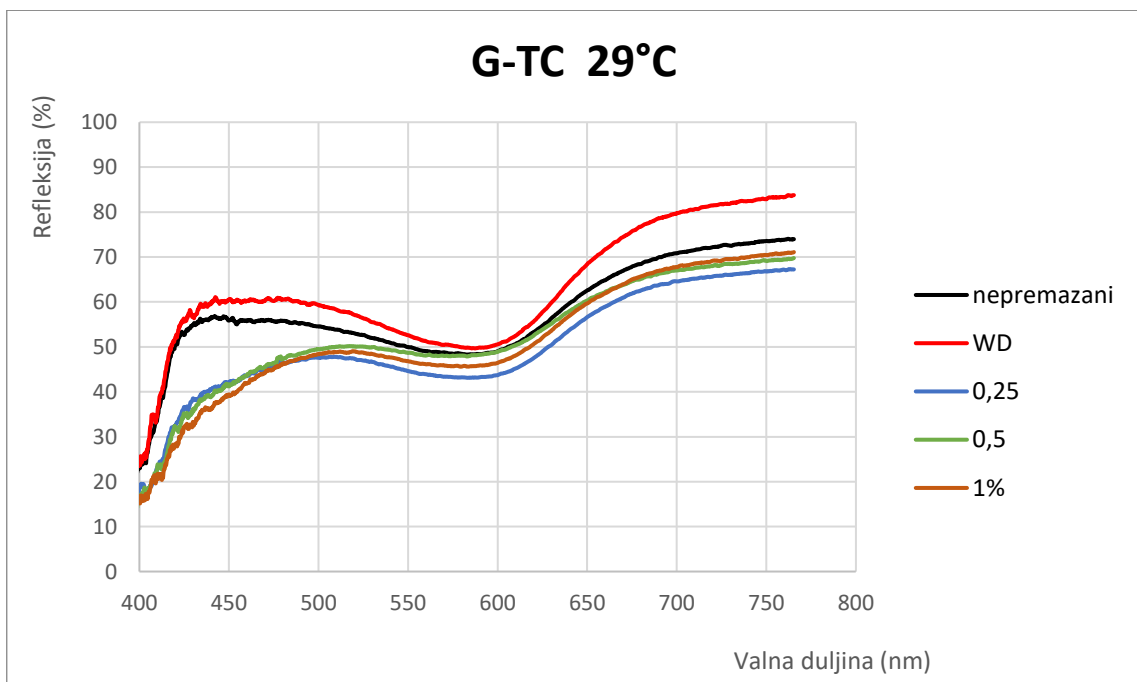
Na slikama 17-25 su prikazane krivulje spektralne refleksije uzoraka otiska termokromne boje na podlozi Barley (B) od kojih su na slikama 17-19 prikazane spektralne krivulje nepremazanog uzorka te uzorka premazanih s vododisperzivnim lakom (WD) i lakom modificiranim s definiranim postotcima UV apsorbera (0.25%, 0.5% i 1%) na temperaturama mjerenja od 20°C, 29°C i 40°C, a na slikama 20-27 je prikaz krivulja spektralne refleksije starenih i nestarenih uzoraka također na već navedenim mjernim temperaturama.

#### *4.1.1 Krivulje spektralne refleksije TC otiska na podlozi grape*

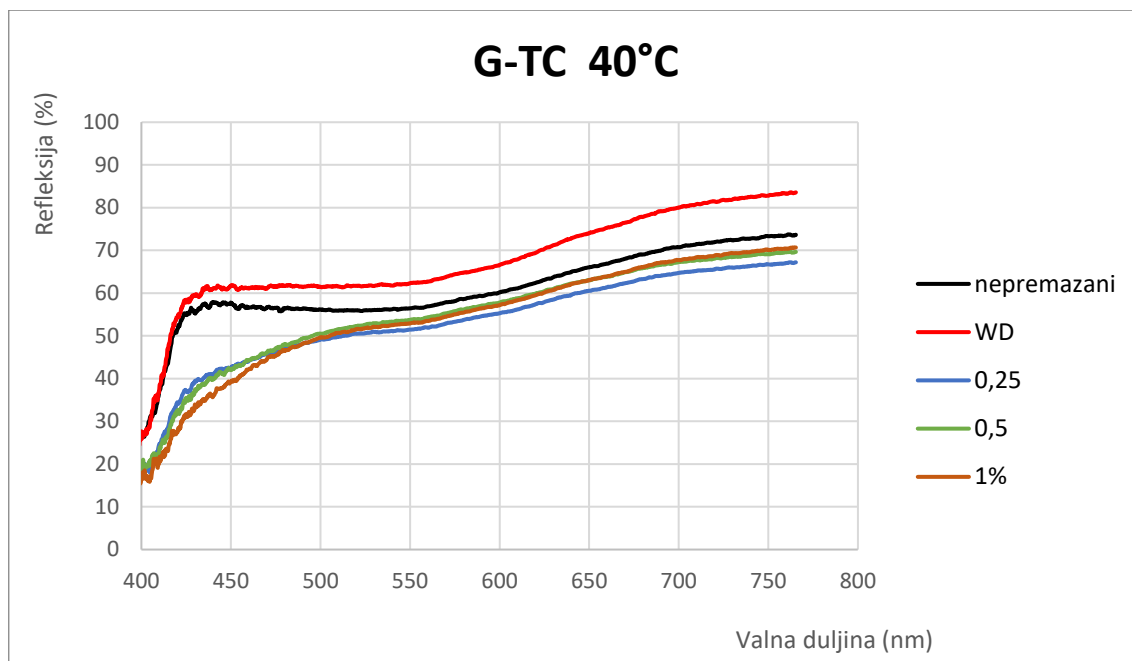
Iz slika 8 – 10 vidljivo je da dolazi do promjene oblika krivulje sa aplikacijom premaza na svim izmjerenim temperaturama, ali najviše na temperaturi od 20°C jer je tada i sam TC otisak obojen u plavo. Može se pretpostaviti da je razlog tome i samo obojenje premaza, koje s povećanjem udjela UV apsorbera više žuti (Slika 6). Najmanje promjene uzrokuje aplikacije čistog WD laka. Korištena podloga sadrži optička bjelila koja reflektiraju u plavom dijelu spektra [11], stoga se pri temperaturi od 40°C vidi blagi odziv u tom području za nepremazani uzorak i uzorak premazan WS lakom. Aplikacijom premaza s UV apsorberom, taj isti pik nestaje što se može pripisati djelotvornom učinku samog UV apsorbera.



**Slika 8.** Krivulja spektralne refleksije nepremazanog i premazanog uzoraka G\_TC na 20°C

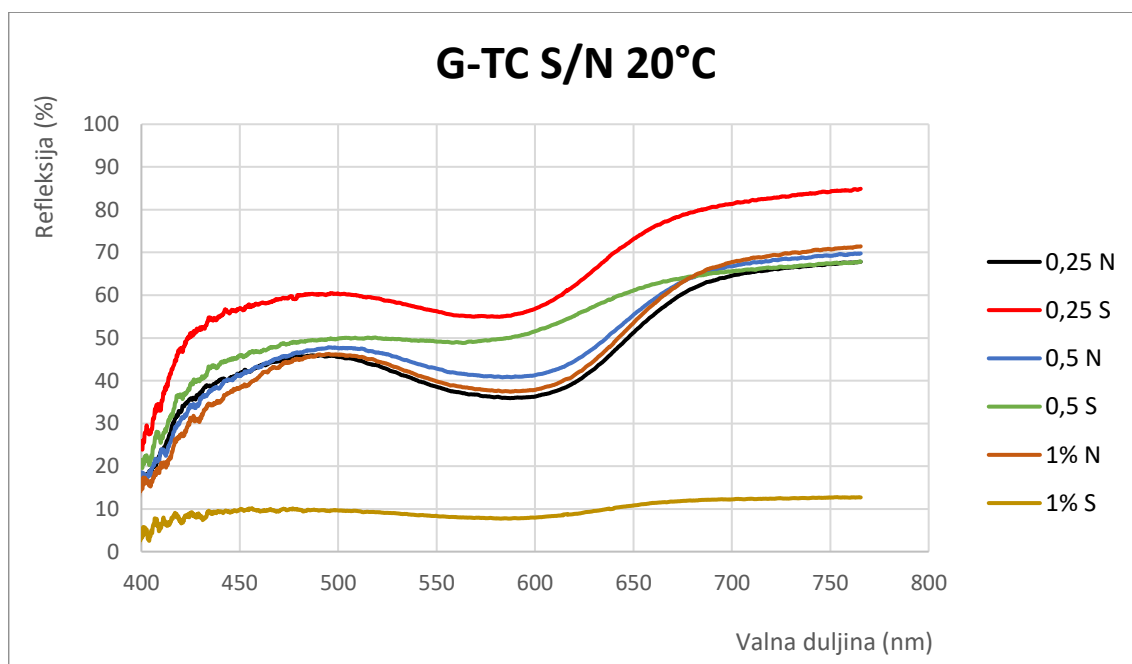


**Slika 9.** Krivulja spektralne refleksije uzoraka G\_TC na 29°C



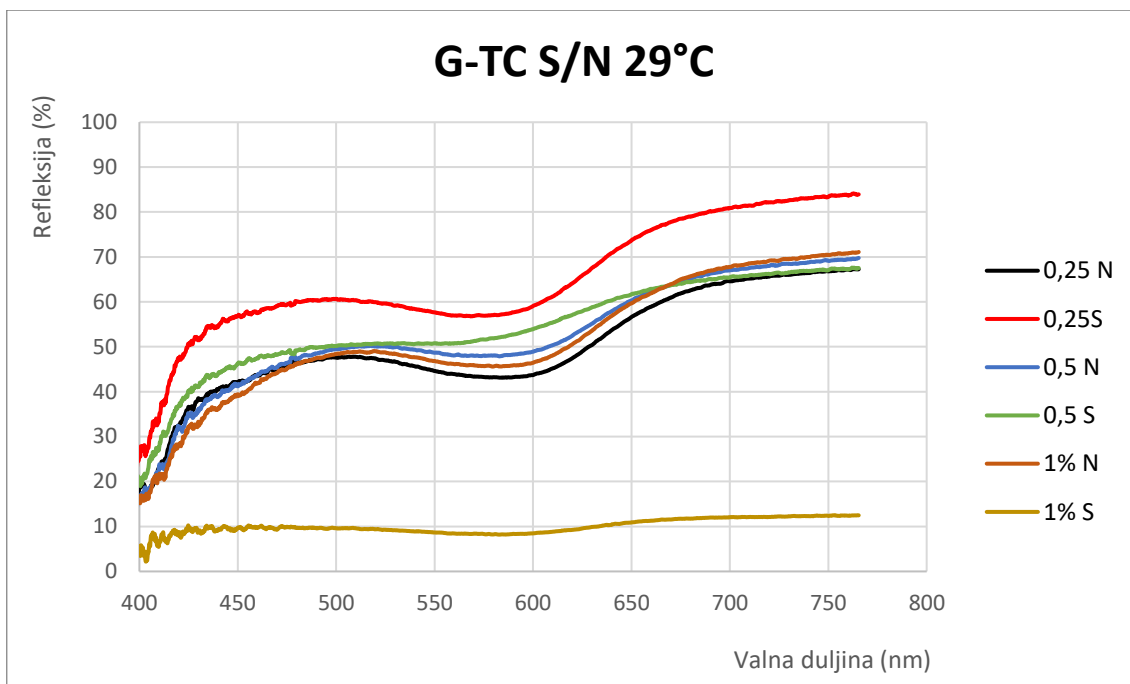
**Slika 10.** Krivulja spektralne refleksije uzoraka G\_TC na 40°C

Iz slika 11 – 13 vidljivo je da starenjem otisaka dolazi do značajnih promjena krivulja spektralne refleksije, a naročito za uzorak TC otiska premazan WD lakom s dodatkom 1% UV apsorbera. Za uzorke premazane WD lakom s dodatkom 0.25 i 0.5% UV apsorbera krivulje spektralne refleksije zadržavaju oblik karakterističan obliku TC otiska.

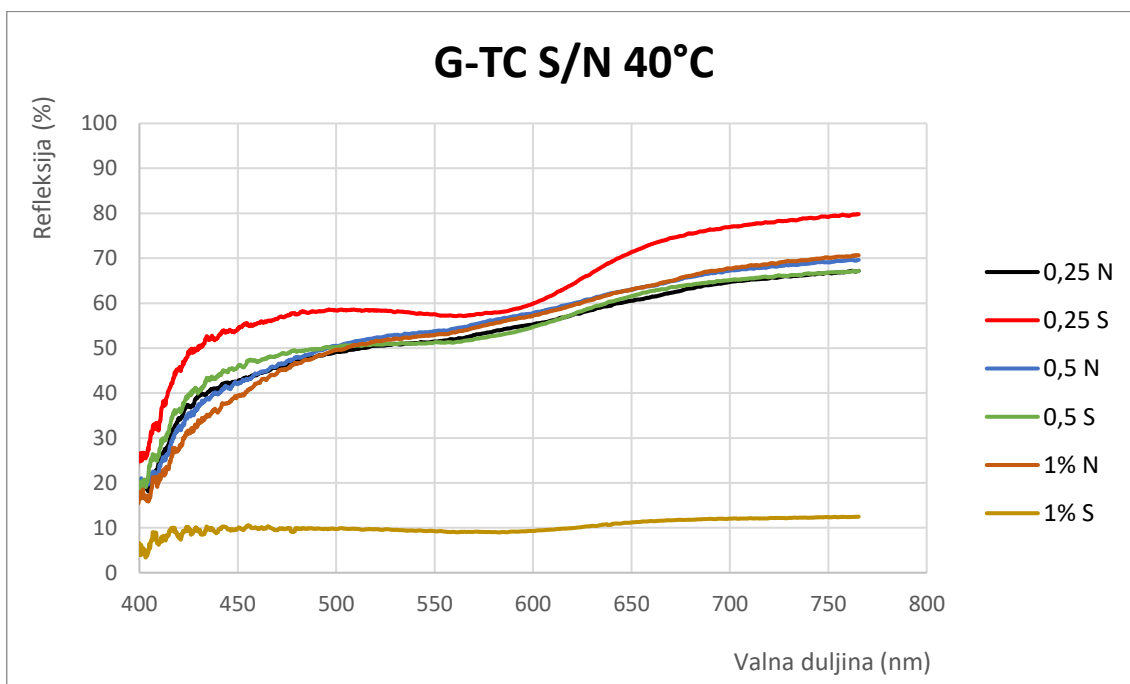


**Slika 11.** Krivulja spektralne refleksije nestarenih i starenih uzoraka G\_TC na 20°C



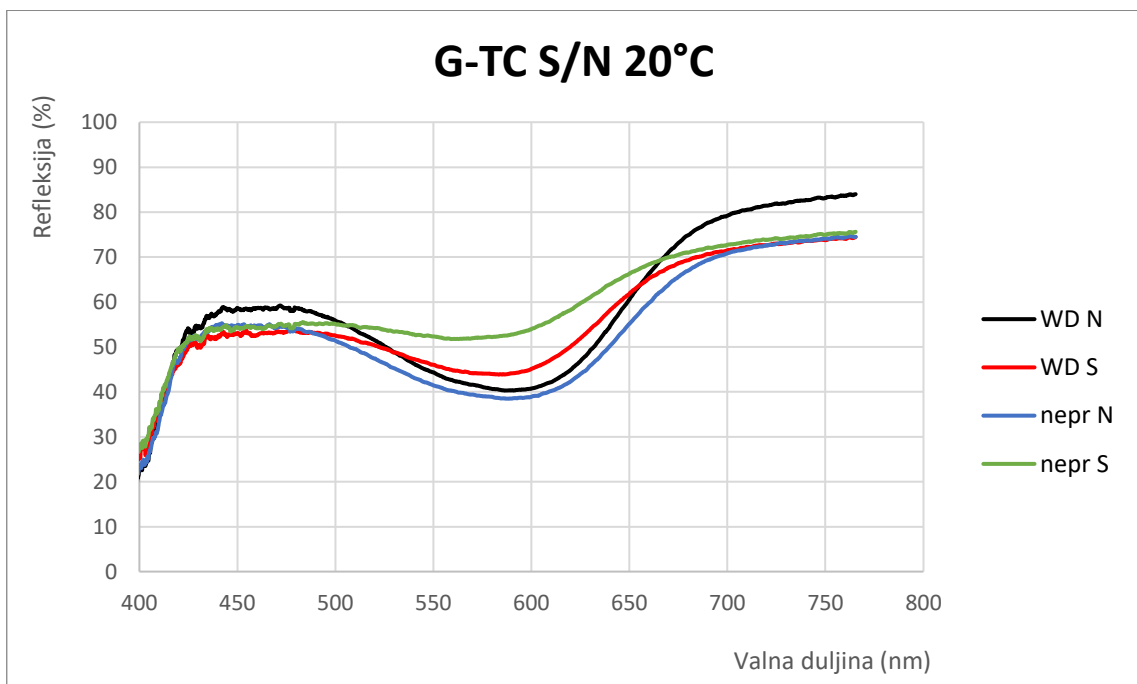


**Slika 12.** Krivulja spektralne refleksije nestarenih i starenih uzoraka G\_TC na 29°C

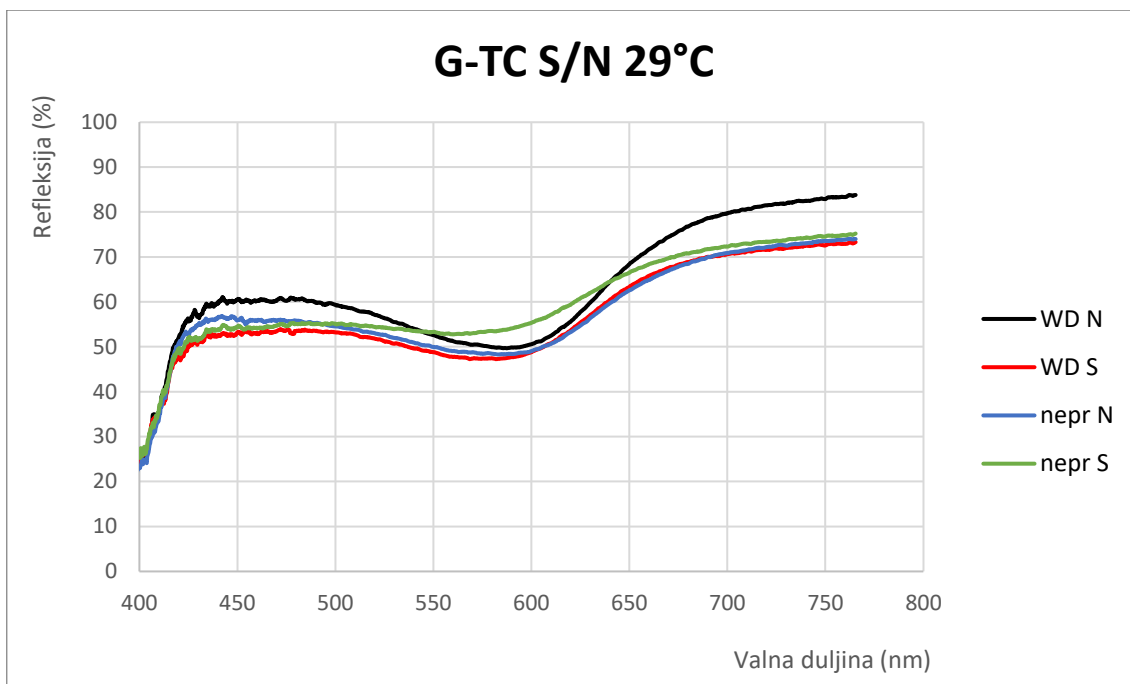


**Slika 13.** Krivulja spektralne refleksije nestarenih i starenih uzoraka G\_TC na 40°C

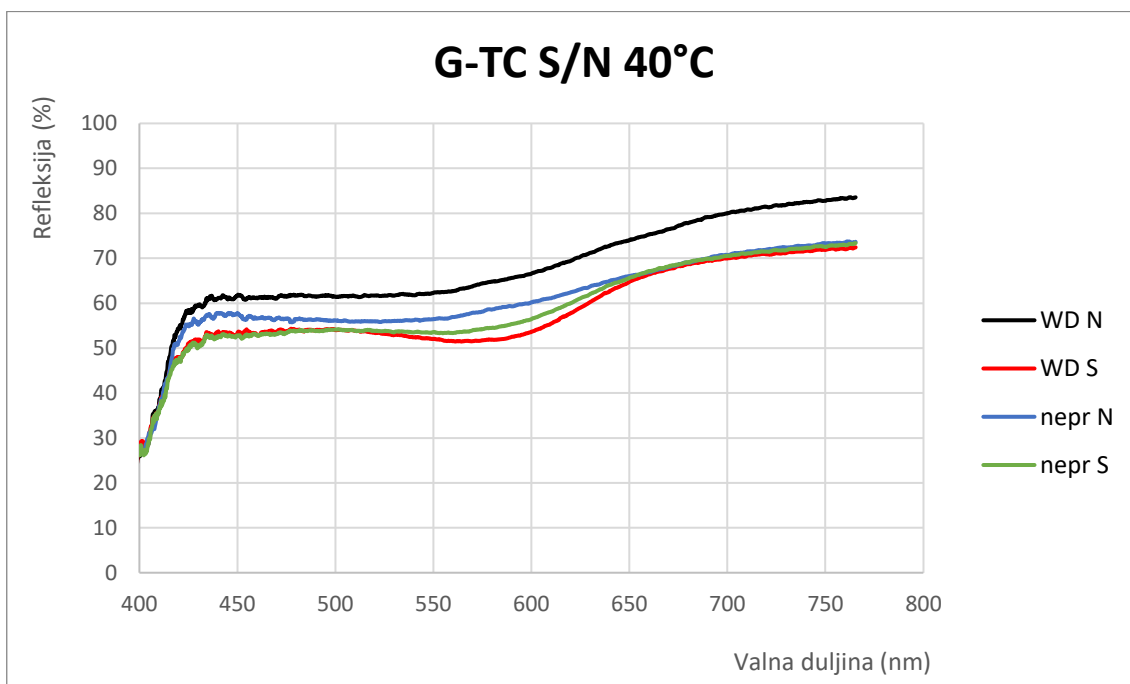
Iz slika 14 – 16 vidljivo je da starenjem otisaka ne dolazi do značajnih promjena krivulja spektralne refleksije, a naročito za uzorak TC otiska premazan WD lakom. Nešto veće promjene uočavaju se kod nepremazanog TC otiska, ali krivulje spektralne refleksije zadržavaju oblik karakterističan obliku TC otiska. Kod temperature od 40°C, krivulja spektralne refleksije poprima oblik karakterističan obliku krivulje same tiskovne podloge [11].



**Slika 14.** Krivulja spektralne refleksije nestarenih i starenih uzoraka G\_TC na 20°C



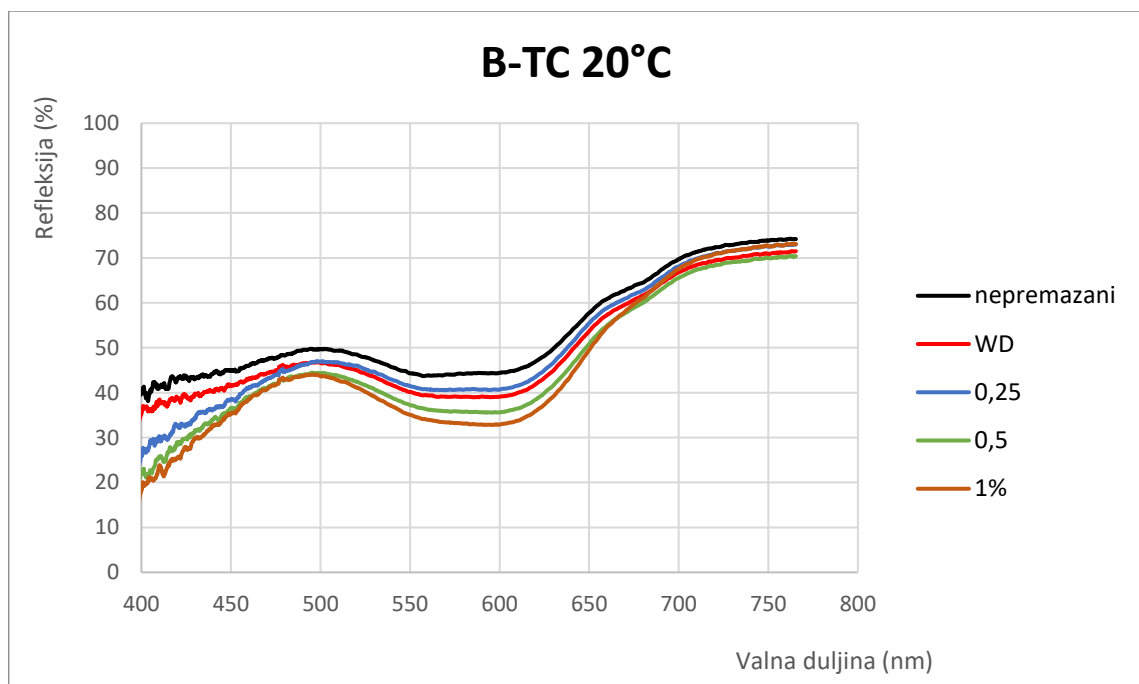
**Slika 15.** Krivulja spektralne refleksije nestarenih i starenih uzoraka G\_TC na 29°C



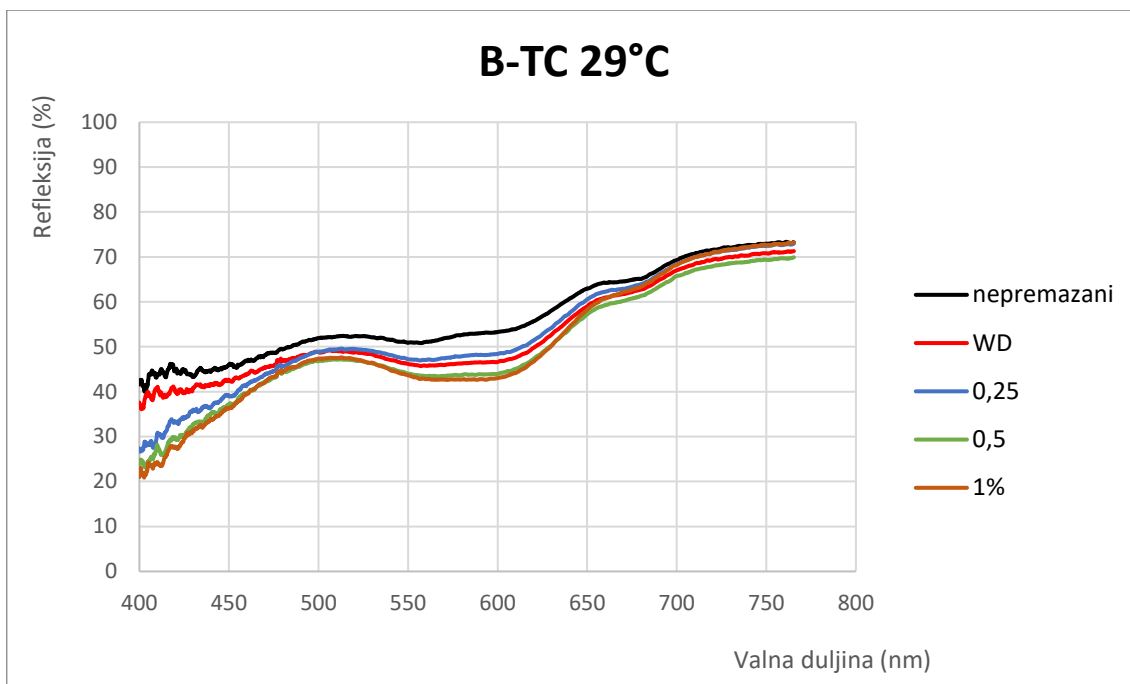
**Slika 16.** Krivulja spektralne refleksije nestarenih i starenih uzoraka G\_TC na 40°C

#### 4.2.2 Krivulje spektralne refleksije TC otiska na podlozi barley

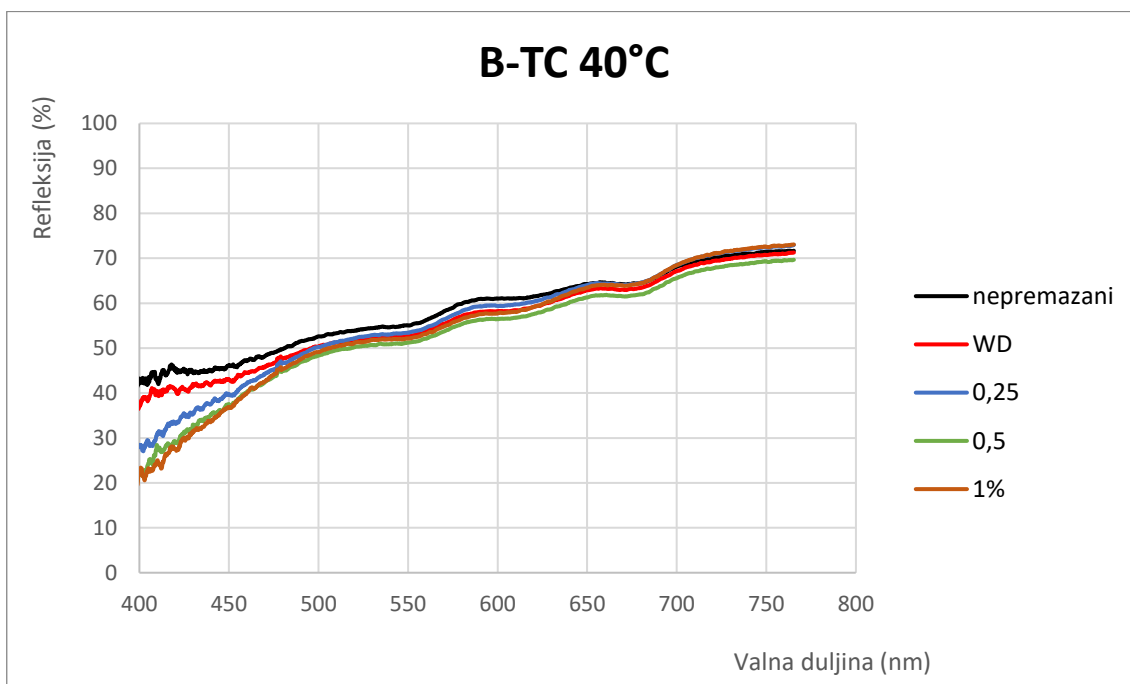
Iz slika 17 – 19 vidljivo je da dolazi do promjene oblika krivulje sa aplikacijom premaza na svim izmjerenim temperaturama, ali najviše na temperaturi od 20°C jer je tada i sam TC otisak obojen u plavo. Vidljivo je da su razlike za TC otisak na podlozi B nešto manje nego kod uzorka G. Ovo se može pripisati i samoj tiskovnoj podlozi B, koja za razliku od podloge G ne sadrži optička bjelila u svojoj strukturi [11]. Najmanje promjene uzrokuje aplikacija čistog WD laka, dok aplikacija WD laka modificiranog s različitim udjelima UV apsorbera uzrokuje veće promjene, i smanjenje postotka refleksije uzorka. Može se pretpostaviti da je razlog tome i samo obojenje premaza, koje s povećanjem udjela UV aporbera više žuti (Slika 6). Najmanje promjene su vidljive na temperaturi od 40°C, kada je TC otisak obezbojen i kada dolazi do izražaja površina same tiskovne podloge (slika 19).



Slika 17. Krivulja spektralne refleksije uzoraka B-TC na 20°C



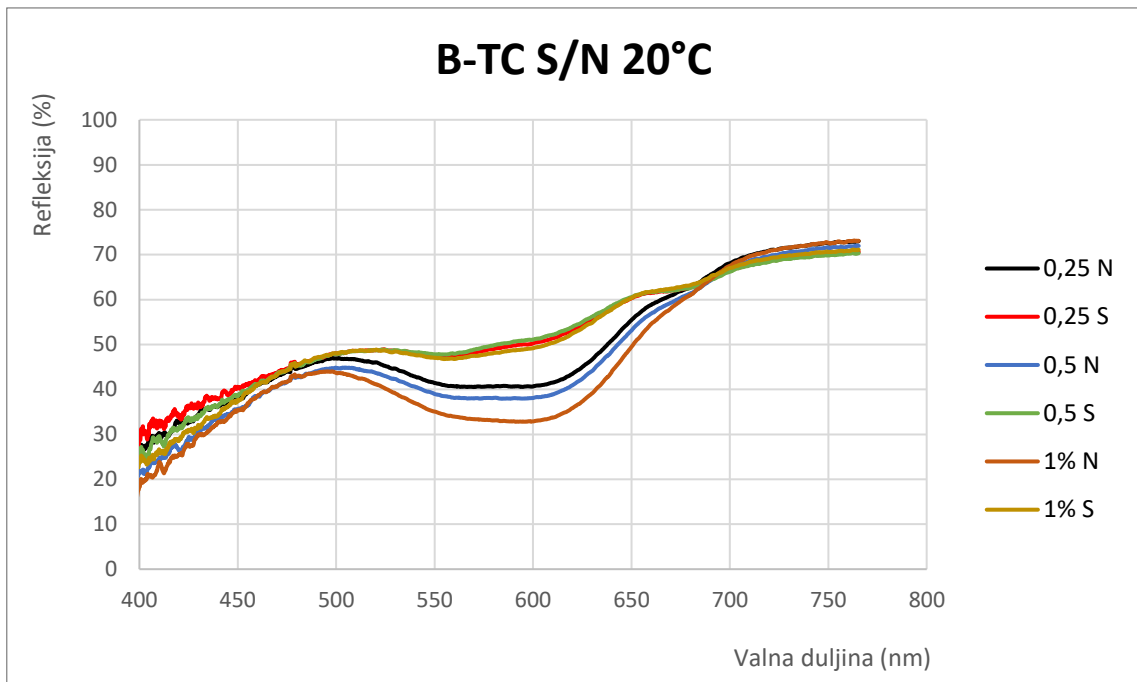
**Slika 18.** Krivulja spektralne refleksije uzoraka B-TC na 29°C



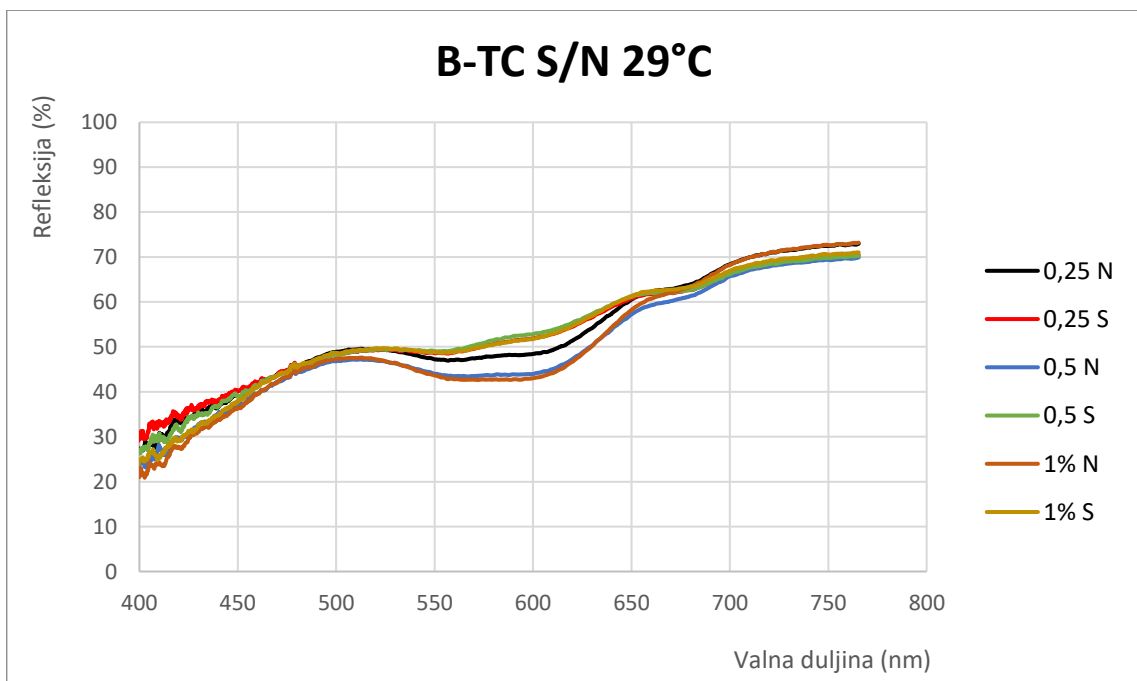
**Slika 19.** Krivulja spektralne refleksije uzoraka B-TC na 40°C

Na slikama 20 – 22 vidljiv je utjecaj starenja na promjene krivulja spektralne refleksije TC otisaka na podlozi B. u odnosu na podlogu G, ovdje je vidljivo drugačije ponašanje,

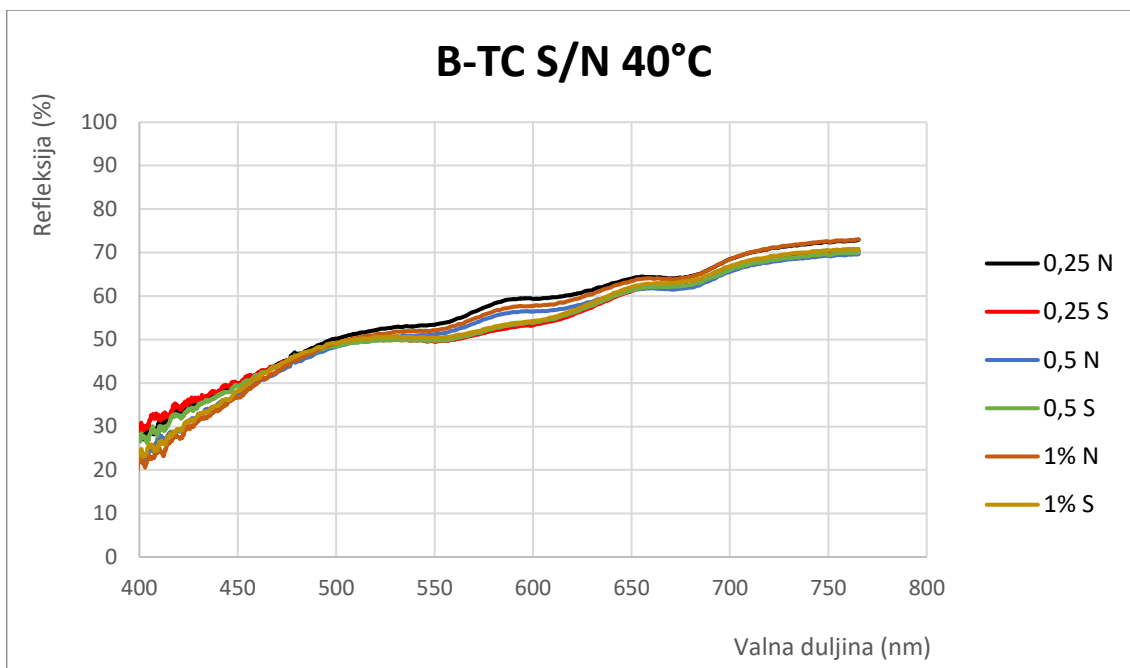
gdje kod WD laka s 1% UV apsorbera nema značajne promjene oblika krivulje spektralne refleksije.



**Slika 20.** Krivulja spektralne refleksije nestarenih i starenih uzoraka B\_TC na 20°C

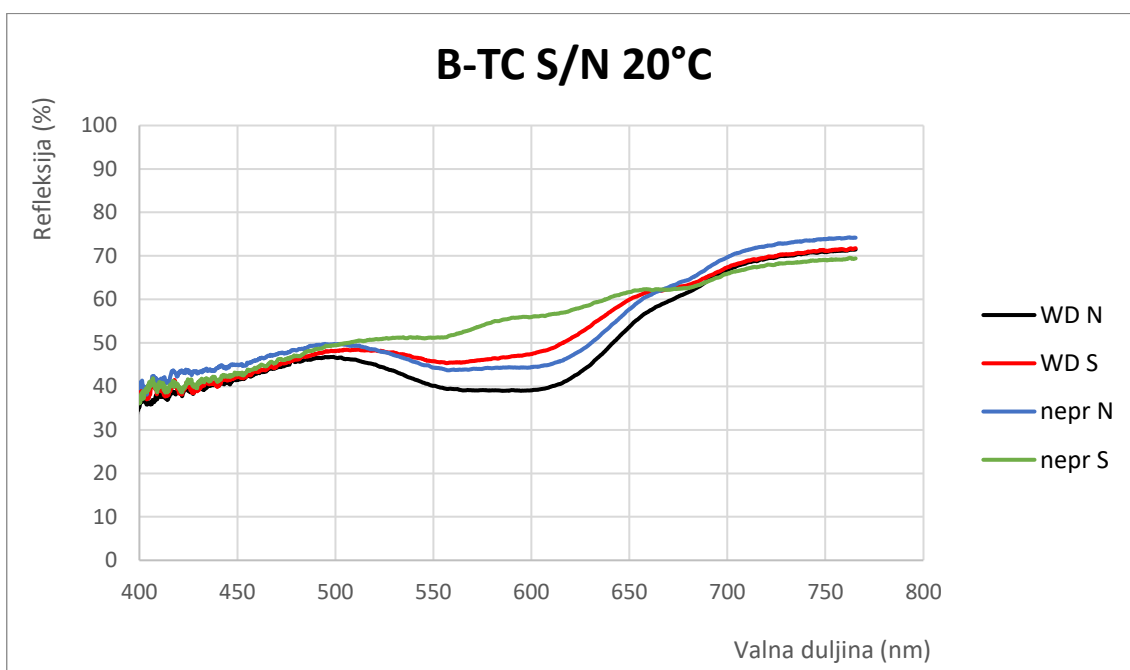


**Slika 21.** Krivulja spektralne refleksije nestarenih i starenih uzoraka B\_TC na 29°C

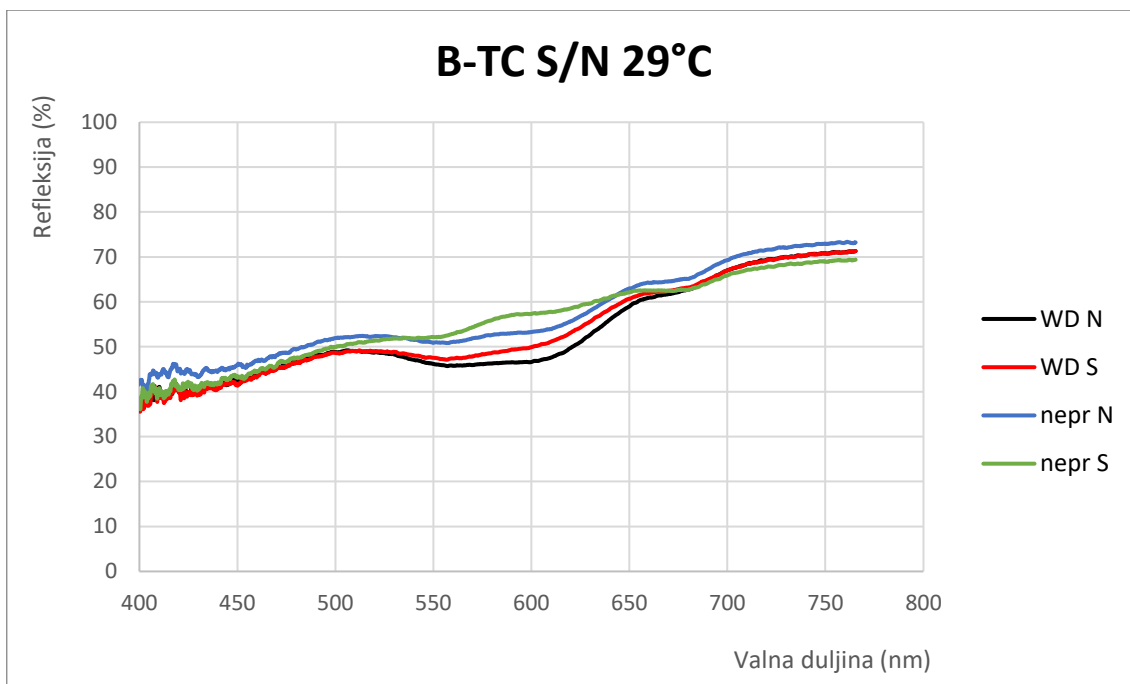


**Slika 22.** Krivulja spektralne refleksije nestarenih i starenih uzoraka B\_TC na 40°C

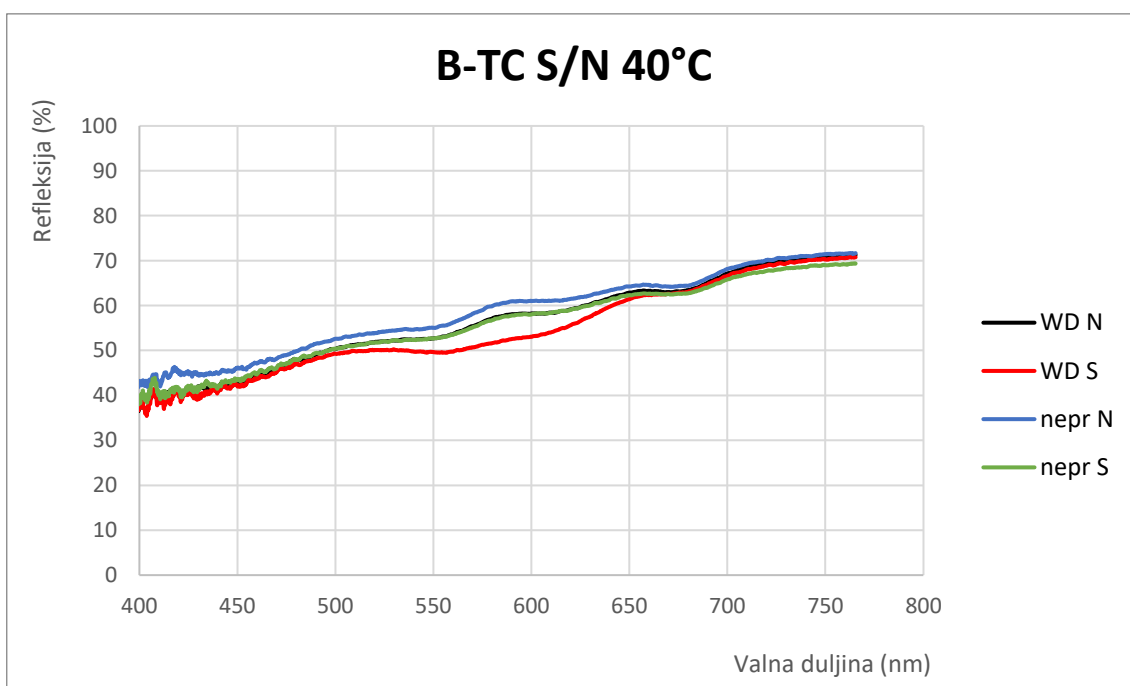
Na slikama 23 – 25 vidljivo je da aplikacijom čistog WD laka dolazi do očuvanja oblika krivulje spektralne refleksije, dok se kod nepremazanog uzorka može uočiti promjena oblika koja upućuje na degradaciju boje.



**Slika 23.** Krivulja spektralne refleksije nestarenih i starenih uzoraka B\_TC na 20°C



**Slika 24.** Krivulja spektralne refleksije nestarenih i starenih uzoraka B\_TC na 29°C

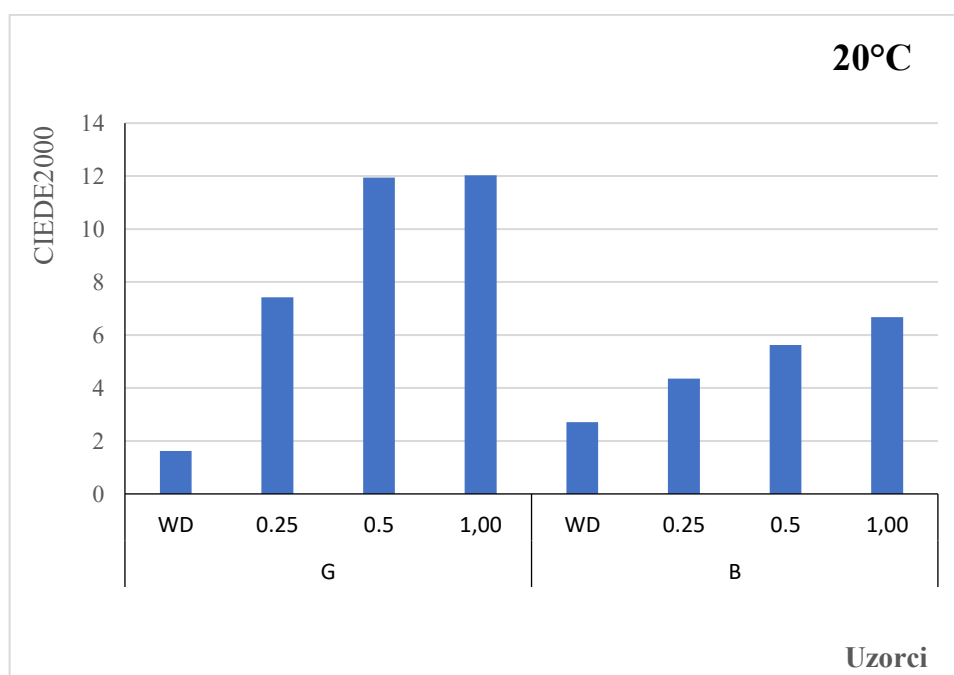


**Slika 25.** Krivulja spektralne refleksije nestarenih i starenih uzoraka B\_TC na 40°C

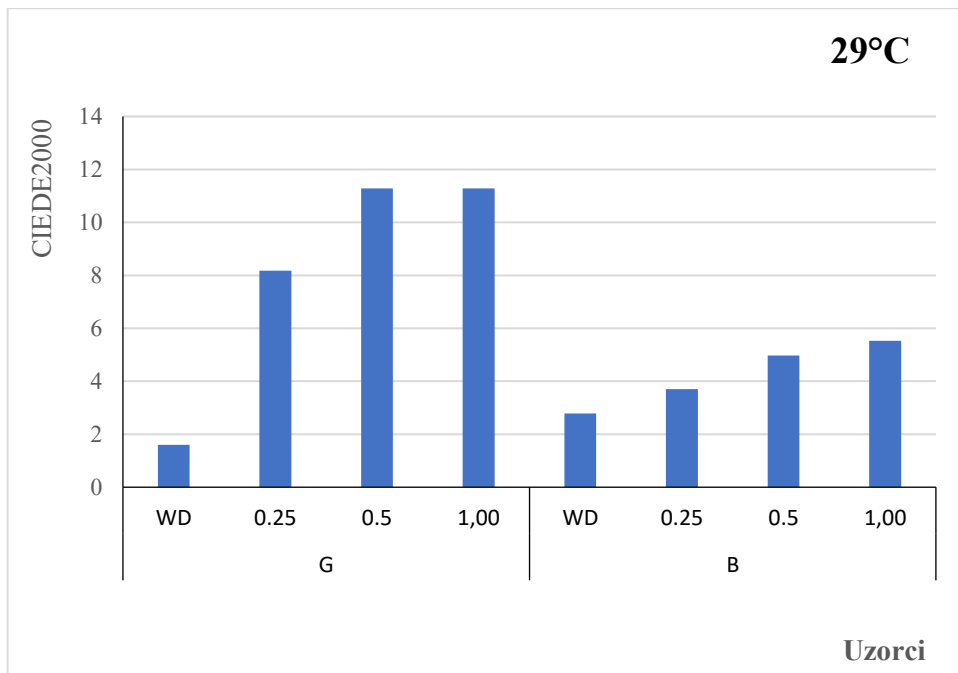


## 4.2 Kolorimetrijska razlika

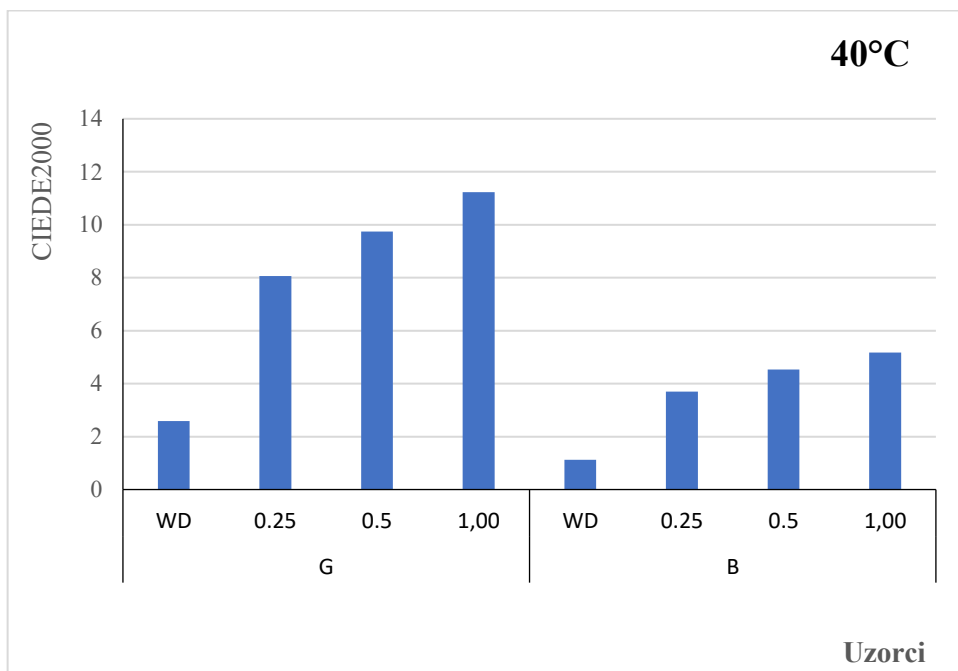
Na slikama 26 – 29 prikazane se vrijednosti promjene boje CIEDE2000 za nestarene uzorke, odnosno razlika u boji koja je nastala aplikacijom korištenih premaza. Vidljivo je da aplikacijom premaza na svim mjerenim temperaturama dolazi do značajne promjene obojenja uzorka, posebice za otiske napravljene na podlozi *Grape* kada je apliciran premaz čak i s najmanjim udjelom UV apsorbera. Vrijednosti promjene boje upućuju na značajnu promjenu vidljivu golim okom. Nešto manje promjene uočavaju se za premazane otiske načinjene na podlozi *Barley*. Ove vrijednosti upućuju da samo obojenje premaza nastalo kao posljedica otapanja UV apsorbera (žuta boja) nije prihvatljivo u premazivanju otisaka te upućuje na činjenicu da su potrebna daljnja istraživanja u smjeru optimizacije sastava modificiranog premaza.



**Slika 26.** Vrijednosti promjene boje (CIDE2000) TC otisaka na podlogama G i B nakon aplikacije premaza na 20°C

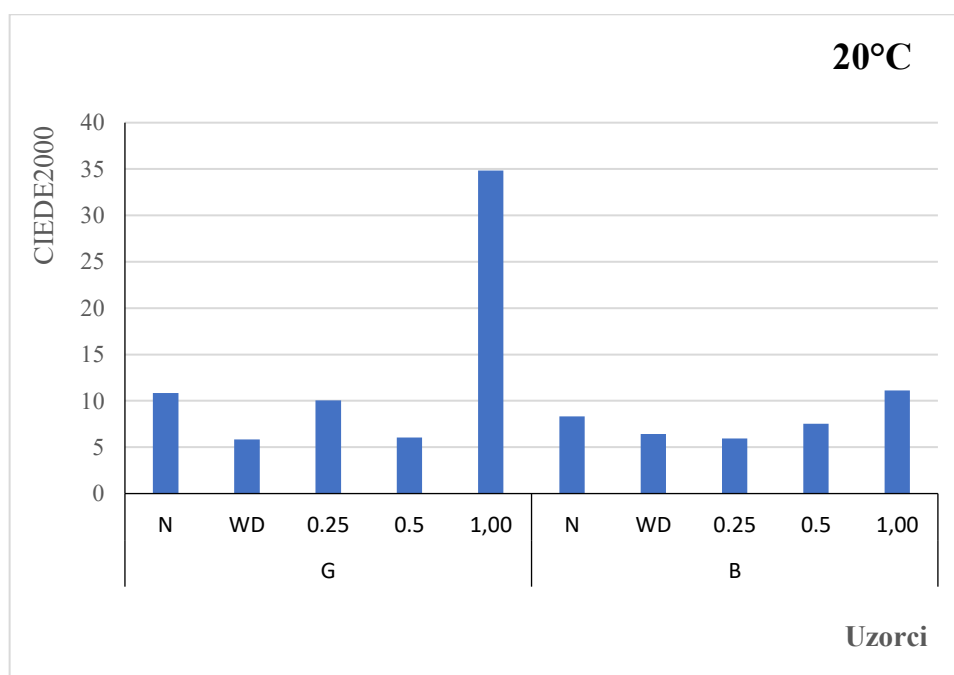


**Slika 27.** Vrijednosti promjene boje (CIEDE2000) TC otisaka na podlogama G i B nakon aplikacije premaza na 29°C

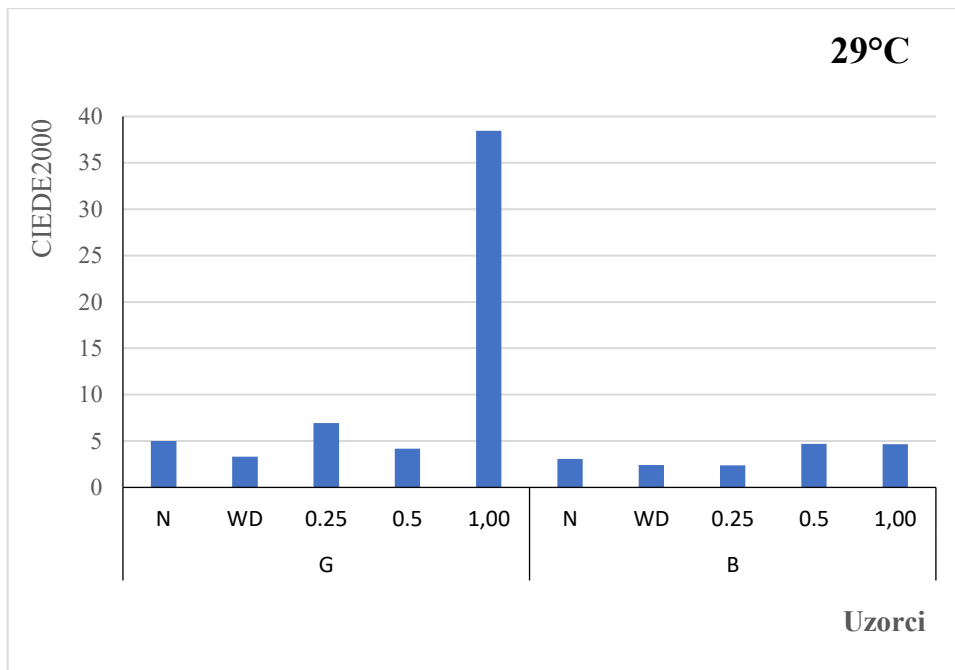


**Slika 28.** Vrijednosti promjene boje (CIEDE2000) TC otisaka na podlogama G i B nakon aplikacije premaza na 40°C

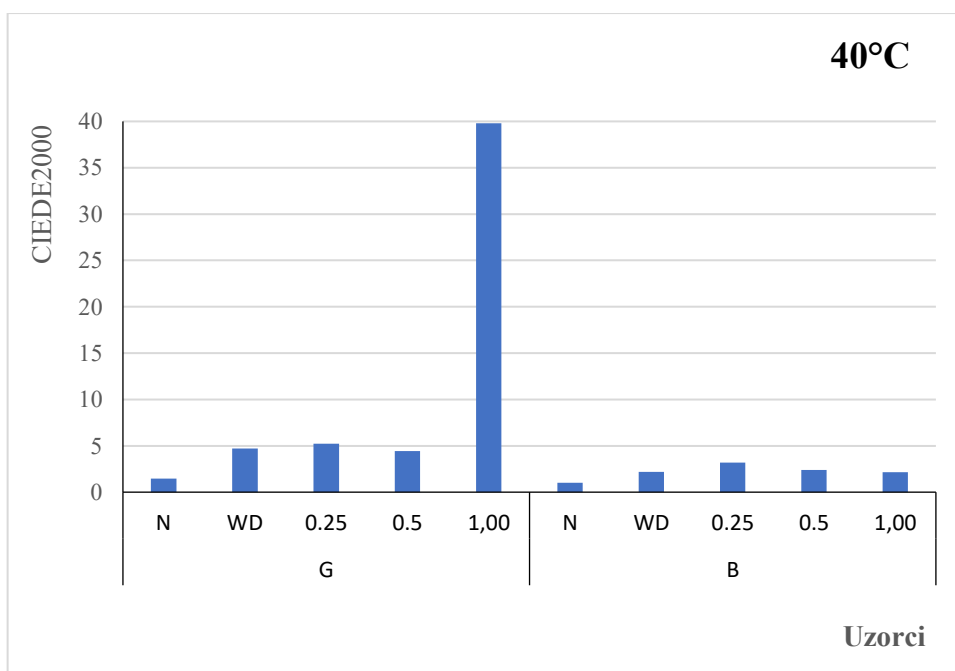
Na slikama 29 – 31 prikazane se vrijednosti promjene boje CIEDE2000 za starene uzorke, odnosno razlika u boji koja je nastala starenjem uzoraka u odnosu na početne vrijednosti. Vidljivo je da starenjem na svim mjerenim temperaturama dolazi do značajne promjene obojenja uzorka, posebice za otiske napravljene na podlozi *Grape*. Vrijednosti promjene boje upućuju na značajnu promjenu vidljivu golim okom. Nešto manje promjene uočavaju se za premazane otiske načinjene na podlozi *Barley*. Najveće promjene nastaju pri temperaturi od 20°C, kada je otisak obojen u plavo, upućujući na degradaciju TC boje. Kako je i potvrđeno iz rezultata određivanja krivulja spektralne refleksije, najveća promjena nastala je na uzorku premazanom WD lakom s dodatkom 1% UV apsorbera. Najmanje razlike vidljive su pri temperaturi od 40°C, kada je TC obezbojen. Najmanje vrijednosti promjene boje vidljive su za premaz WD lak s dodatkom 0.25% UV apsorbera. Dakle, povećanje koncentracije UV apsorbera ne znači nužno i veću fotostabilnost. Ovo upućuje na činjenicu da je potrebno provesti dodatna istraživanja vezano za optimizaciju samog premaza ali i proučiti svojstva tiskovne podloge kako bi se moglo dovesti u svezu interakcije podloge i samog premaza.



**Slika 29.** Vrijednosti promjene boje (CIDE2000) premazanih TC otisaka na podlogama G i B nakon starenja na 20°C



**Slika 30.** Vrijednosti promjene boje (CIDE2000) premazanih TC otisaka na podlogama G i B nakon starenja na 29°C



**Slika 31.** Vrijednosti promjene boje (CIDE2000) premazanih TC otisaka na podlogama G i B nakon starenja na 40°C

## 5. ZAKLJUČAK

Izborom odgovarajućeg premaza mogu se poboljšati površinska svojstva otisaka te se može povećati stabilnost na okolišne parametre. Ovo istraživanje pokazalo je da apliciranje WD laka modificiranog s različitim udjelima UV apsorbera na TC otiske nije prihvatljivo zbog velike promjene obojenja koje nastaje (visoke vrijednosti CIEDE200) kao posljedica otapanja UV apsorbera (žuta boja) te da su potrebna daljnja istraživanja u smjeru optimizacije sastava modificiranog premaza. Dakle, povećanje koncentracije UV apsorbera ne znači nužno i veću fotostabilnost. S obzirom da su dobivene velike razlike promjene boje između otisaka dobivenih na dvije različite tiskovne podloge, sve upućuje na činjenicu da je potrebno provesti dodatna istraživanja ne samo u svezi optimizacije samog premaza nego je potrebno i proučiti površinska svojstva tiskovne podloge kako bi se moglo dovesti u svezu interakcije podloge i samog premaza, a time u konačnici i izvesti zaključke o njihovoj svjetlostalnosti.

## 6. LITERATURA

- [1] Bamfield, P., *Chromic Phenomena*. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 2010
- [2] Seeboth, A. and Lotzsch, D., *Thermochromic Phenomena in Polymers*. Shropshire, UK: Smithers Rapra Technology Limited, 2008.
- [3] Vukoje, M., Jamnicki, S., and Rožić, M., “Deinkability of thermochromic offset inks,” *Nordic Pulp and Paper Research Journal*, 31, (04), pp. 692–699, (2016)
- [4] Kulčar R,
- [5] Ly, B. C. K., Dyer, E. B., Feig, J. L., Chien, A. L., and Del Bino, S., “Research Techniques Made Simple: Cutaneous Colorimetry: A Reliable Technique for Objective Skin Color Measurement,” *Journal of Investigative Dermatology*, 140, (1), pp. 3-12.e1, (2020)
- [6] Yang, Y., Ming, J., and Yu, N., “Color Image Quality Assessment Based on CIEDE2000,” *Advances in Multimedia*, 2012, pp. 1–6, (2012).
- [7] CIE Central Bureau, “Colorimetry, 3rd Edition,” Vienna, (2004).
- [8] Marošević Dolovski, A., “Etikete i etiketiranje,” *Print Magazin*, 4, (2016) [Online], dostupno na: <https://print-magazin.eu/etikete-i-etiketiranje/> (29.6.2023.)
- [9] [Pressure Sensitive Labels - Self-Adhesive Technology | WSEL](#)
- [10] Avery Dennison Corporation, *Adhesive Technologies Labels + Packaging Technical Guide Europe*, (2020).
- [11] Vukoje, M., Itrić Ivanda, K., Kulčar, R., and Marošević Dolovski, A., “Spectroscopic Stability Studies of Pressure Sensitive Labels Facestock Made from Recycled Post-Consumer Waste and Agro-Industrial By-Products,” *Forests*, 12, (12), p. 1703, (2021).
- [12] Karlovits, I., Kavčič, U., Lavrič, G., Šinkovec, A., & Zorić, V., *Digital Printability Of Papers Made From Invasive Plants And Agro-Industrial Residues*, (2020).

- [13] Abd El-Sayed, E. S., El-Sakhawy, M., and El-Sakhawy, M. A. M., “Non-wood fibers as raw material for pulp and paper industry,” *Nordic Pulp and Paper Research Journal*, 35, (2), pp. 215–230, (2020).
- [14] ThermoChromic Inks And Reducing Household Food Waste, dostupno na: <https://wrap.org.uk/resources/report/thermoChromic-inks-and-reducing-household-food-waste>
- [15] Rožić, M., & Vukoje, M. (2018). Photo-oxidation stability of microcapsules in thermoChromic prints. *Acta Graphica*, 28(3), 109-116, (2018).
- [16] Jamnicki Hanzer, S., Kulčar, R., Vukoje, M., and Marošević Dolovski, A., “Assessment of ThermoChromic Packaging Prints’ Resistance to UV Radiation and Various Chemical Agents,” *Polymers*, 15, (5), p. 1208, (2023).
- [17] Rožić, M., Šegota, N., Vukoje, M., Kulčar, R., & Šegota, S. B. Description of ThermoChromic Offset Prints Morphologies Depending on Printing Substrate. *Applied Sciences*, 10(22), 8095, (2020).
- [18] Vukoje, M., Miljanić, S., Hrenović, J., & Rožić, M. ThermoChromic ink–paper interactions and their role in biodegradation of UV curable prints. *Cellulose*, 25(10), 6121–6138, (2018).
- [19] Avery Dennison. Tehnical Data Sheet Fasson ®rCRUSH GRAPE FSC S2047N-BG45WH IMP FSC. Spec Code: BD733. 2021., dostupno na: <https://www.pds.averydennison.com/content/PDS/BD733> (29.6.2023.)
- [20] Avery Dennison. Tehnical Data Sheet Fasson ®rCRUSH BARLEY FSC S2030-BG45WH FSC. Spec Code: BT024. 2021., dostupno na: <https://www.pds.averydennison.com/content/PDS/BT024> (29.6.2023.)

## 7. POPIS SLIKA

**Slika 1** Kemijska stanja tekućih kristala

**Slika 2** Prikaz prijelaza termokromne boje iz krutog u tekuće stanje

**Slika 3** CIE L\*a\*b\* prostor boja

**Slika 4** Slojevi etikete

**Slika 5** Prikaz ofsetnog tiska

**Slika 6** Priprema premaza

**Slika 7** Stareni uzorci korištenih u radu

**Slika 8** Krivulja spektralne refleksije uzoraka G\_TC na 20°C

**Slika 9** Krivulja spektralne refleksije uzoraka G\_TC na 29°C

**Slika 10** Krivulja spektralne refleksije uzoraka G\_TC na 40°C

**Slika 11** Krivulja spektralne refleksije nestarenih i starenih uzoraka G\_TC na 20°C

**Slika 12** Krivulja spektralne refleksije nestarenih i starenih uzoraka G\_TC na 29°C

**Slika 13** Krivulja spektralne refleksije nestarenih i starenih uzoraka G\_TC na 40°C

**Slika 14** Krivulja spektralne refleksije nestarenih i starenih uzoraka G\_TC na 20°C

**Slika 15** Krivulja spektralne refleksije nestarenih i starenih uzoraka G\_TC na 29°C

**Slika 16** Krivulja spektralne refleksije nestarenih i starenih uzoraka G\_TC na 40°C

**Slika 17** Krivulja spektralne refleksije uzoraka B-TC na 20°C

**Slika 18** Krivulja spektralne refleksije uzoraka B-TC na 29°C

**Slika 19** Krivulja spektralne refleksije uzoraka B-TC na 40°C

**Slika 20** Krivulja spektralne refleksije nestarenih i starenih uzoraka B\_TC na 20°C

**Slika 21** Krivulja spektralne refleksije nestarenih i starenih uzoraka B\_TC na 29°C

**Slika 22** Krivulja spektralne refleksije nestarenih i starenih uzoraka B\_TC na 40°C

**Slika 23** Krivulja spektralne refleksije nestarenih i starenih uzoraka B\_TC na 20°C

**Slika 24** Krivulja spektralne refleksije nestarenih i starenih uzoraka B\_TC na 29°C

**Slika 25** Krivulja spektralne refleksije nestarenih i starenih uzoraka B\_TC na 40°C

**Slika 26.** Vrijednosti promjene boje (CIDE2000) TC otisaka na podlogama G i B nakon aplikacije premaza na 20°C

**Slika 27.** Vrijednosti promjene boje (CIDE2000) TC otisaka na podlogama G i B nakon aplikacije premaza na 29°C



**Slika 28.** Vrijednosti promjene boje (CIDE2000) TC otisaka na podlogama G i B nakon aplikacije premaza na 40°C

**Slika 29.** Vrijednosti promjene boje (CIDE2000) premazanih TC otisaka na podlogama G i B nakon starenja na 20°C

**Slika 30.** Vrijednosti promjene boje (CIDE2000) premazanih TC otisaka na podlogama G i B nakon starenja na 29°C

**Slika 31.** Vrijednosti promjene boje (CIDE2000) premazanih TC otisaka na podlogama G i B nakon starenja na 40°C