

# Svojstva i reprodukcija luminiscentnog otiska modificiranog SiO<sub>2</sub> nanočesticama tiskovnom formom za fleksotisak

---

Jurišić, Ivona

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

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:216:207481>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-03**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Graphic Arts Repository](#)



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

**ZAVRŠNI RAD**

**Ivona Jurišić**

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**

**GRAFIČKI FAKULTET**

**Smjer: Tehničko-tehnološki**

# **ZAVRŠNI RAD**

**SVOJSTVA I REPRODUKCIJA  
LUMINISCENTNOG OTISKA MODIFICIRANOG  
SiO<sub>2</sub> NANOČESTICAMA TISKOVNOM FORMOM  
ZA FLEKSOTISAK**

**Mentorica:**

doc. dr. sc. Tamara Tomašegović

**Studentica:**

Ivona Jurišić

**Zagreb, 2021.**

**Sažetak:** Luminiscentni pigmenti primjenjuju se u zaštitne svrhe i kao specijalni efekti na otisku. Cilj rada jest optimizirati mehanička i površinska svojstva luminiscentnog otiska u tehnici fleksotiska, dodatkom varijabilnih količina nanočestica silicijevog dioksida ( $\text{SiO}_2$ ) u tiskarsku boju. Otisci na dva tipa papira bit će analizirani mjerenjem površinskih i mehaničkih svojstava. Bit će izračunata slobodna površinska energija te parametri adhezije između materijala korištenih za reprodukciju. Mehanička svojstva bit će praćena mjerenjem otpornosti otisaka na kidanje i savijanje, a optička svojstva mjerenjem spektralne refleksije. Očekuje se da će nanočestice  $\text{SiO}_2$  uz odabranu optimalnu koncentraciju poboljšati mehanička svojstva otiska, ali bez negativnog utjecaja na površinska i optička svojstva.

**Ključne riječi:** fleksotisak, luminiscentni pigmenti, otisak, nanočestice, silicijev dioksid ( $\text{SiO}_2$ )

## SADRŽAJ

1	UVOD.....	1
2	TEORIJSKI DIO .....	2
2.1	Tisak .....	2
2.1.1	Fleksotisak.....	2
2.1.2	Proces izrade tiskovne forme za fleksotisak.....	4
2.1.3	Digitalni proces izrade tiskovne forme za fleksotisak.....	6
2.1.4	Boje u fleksotisku .....	9
2.1.5	Boje na bazi vode .....	10
2.1.6	Boje na bazi otapala .....	11
2.1.7	UV- sušeće boje.....	12
2.1.8	Luminiscencija .....	13
2.2	Nanočestice i primjena .....	16
2.2.1	Silicijev dioksid (SiO <sub>2</sub> ).....	16
3	EKSPERIMENTALNI DIO .....	18
3.1	Metodologija rada.....	18
3.2	Korišteni materijali i uređaji.....	19
3.3	Mjerenja i analiza .....	20
3.3.1	Spektralna refleksija UV luminiscentnog premaza .....	20
3.3.2	Slobodna površinska energija.....	23
3.3.3	Otpornost na kidanje papira s UV luminiscentnim premazima.....	26
3.3.4	Krutost pri savijanju .....	28
4	ZAKLJUČAK.....	30
5	POPIS LITERATURE.....	32
6	PRILOZI.....	34

# 1 UVOD

Fleksotisak je tehnika direktonog visokog tiska koja se koristi za tisak na jako veliki broj materijala, zbog čega se najčešće koristi za tisak na različitim vrstama ambalaže. Tiskovna forma je elastična te je zbog toga potreban manji pristisak pri prijelazu otiska na podlogu. Bojila koja se koriste su niskog viskoziteta, a dijelimo ih na bojila na bazi vode, bojila na bazi otapala koje su konvencionalne boje za fleksotisak, te moderne boje UV i EB sušeće fleksografske boje. Fleksografski tisak je prije nudio nižu kvalitetu reprodukcije, no razvojem novih tehnologija CtP i Sleeve te UV i EB tiskarskih bojila za fleksotisak omogućio je mnogo veću kvalitetu za veliki niz novih i starih ambalažnih materijala [1].

Luminiscencija je emisija elektromagnetskog zračenja koja nastaje kao posljedica primanja energije najčešće ultraljubičastim i infracrvenim zračenjem. Dolazi od engleske riječi luminescence, što znači svijetljenje, svjetlucanje. Luminiscentni pigmenti primjenjuju se u zaštitne svrhe i kao specijalni efekti na otisku[2].

Nanomaterijali su materijali čije su dimenzije manje od 100 nm, odnosno barem jedna dimenzija je na nanorazini. Najčešće se klasificiraju na temelju morfologije, veličine sastava, ujednačenosti i aglomeracije. U ovom završnom radu koristit ćemo nanočestice sicilijevog dioksida ( $\text{SiO}_2$ ). Sicilijev dioksid ( $\text{SiO}_2$ ) se pojavljuje kao prirodni mineral kremen, kvarc, opal i u još 15 različitih oblika.  $\text{SiO}_2$  se kao nanočestice primjenjuju u različitim područjima istraživanja. Koristi se kao punilo za ojačavanje materijala te kao sredstvo protiv taloženja [3]. Kako bi optimizirali svojstva otiska UV luminiscentnog premaza dodan je i nanomaterijal sicilijevog dioksida  $\text{SiO}_2$ . U ovom istraživanju u UV luminiscentnu boju dodane su nanočestice sicilijevog dioksida  $\text{SiO}_2$  u određenim koncentracijama radi poboljšanja mehaničkih svojstava uzoraka koje smo tiskali.

Cilj ovog istraživanja bio je analizirati utjecaj nanočestica  $\text{SiO}_2$  na luminescentna, površinska i mehanička svojstva otisaka s UV luminiscentnim premazom. Opisani utjecaj nanočestica  $\text{SiO}_2$  mogao bi se koristiti kao smjernica za optimizaciju fleksografskog UV luminiscentnog otiska na dvije uobičajene vrste papirnih podloga.

## **2 TEORIJSKI DIO**

### **2.1 Tisak**

Kada spominjemo pojam tisak podrazumjevamo tehniku mehaničkog umnožavanja istovrsnog predloška (teksta, slika, ilustracija), prijenos boje na tiskovnu podlogu pomoću tiskovnih ploča ili pomičnih slova. Tisak nastaje nakon pojave pisma. Čovjek je oduvijek pokušavao prenijeti informacije, ali do otkrića pisma bio je prostorno i vremenski ograničen. Velika revolucija nastala je nakon Gutenbergova izuma pomičnih slova. Prva pomična slova koja je izradio i koristio bila su izdubljena u drvenim stupcima te su oponašali krasopis. Prva tiskana knjiga bila je Biblija tiskana 1455. godine [4].

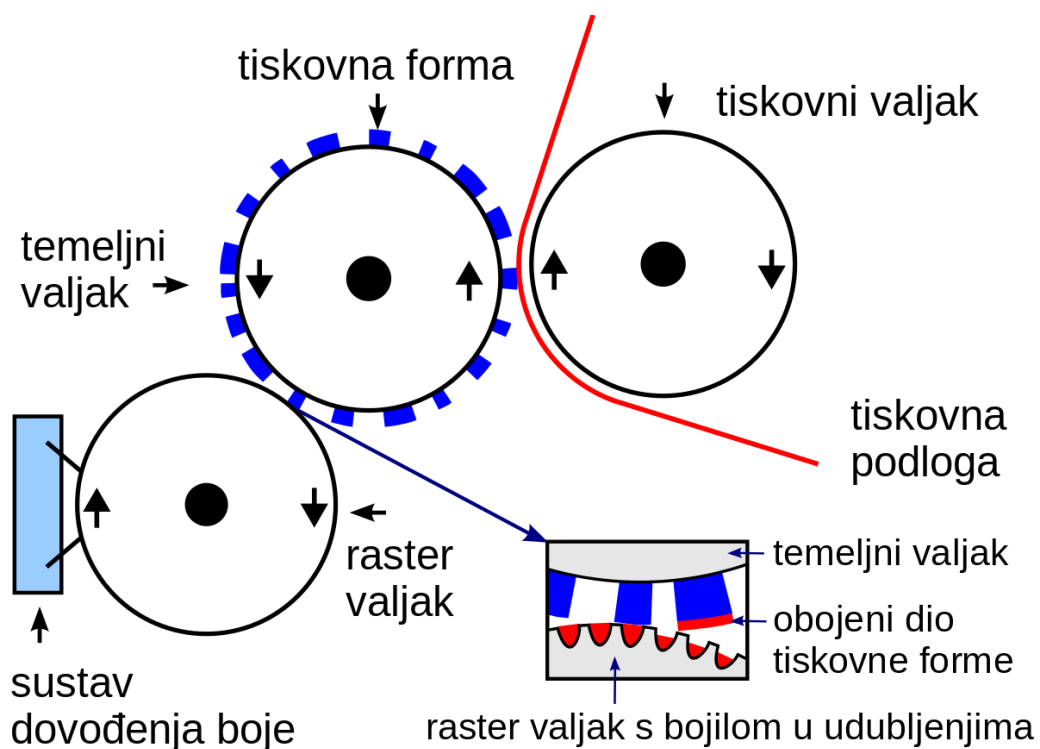
Razlikujemo dvije tehnike tiska: konvencionalni i digitalni tisak. Pod konvencionalne tehnike tiska spadaju: visoki, duboki, plošni i propusni tisak. Komercijalne tehnike visokog tiska koje se koriste su: knjigotisak, fleksotisak i suhi ofset. Umjetnička primjena tiskovne forme za visoki tisak je kod drvoreza i linoreza [5]. Duboki tisak dijeli se na bakrotisak i tampon tisak. Pod plošni tisak spada ofsetni tisak. Propusni tisak dijeli se na šablonski tisak, sitotisak, svilotisak i serigrafiju. Digitalne tehnike tiska su nove tehnike tiska koje se razvijaju velikom brzinom. Neke od digitalnih tehnika tiska su: fotografija, ink-jet tisak, elektrofotografija, magnetografija. Razvojem tiskovnih formi za primjenu u digitalnoj tehnologiji pojavili su se postupci kod kojih se tiskovne forme ne moraju razvijati u kemikalijama nakon ispisa, ispiru se vodom ili nisu uopće potrebni dodatni postupci obrade (npr. bezprocesne ofsetne tiskovne forme). Javljuju se sustavi koji omogućuju ispis na tiskovne forme koji su se koristili kod konvencionalnih postupaka (npr. Computer to Conventional Plate (CtCP) tehnologija) [6].

#### **2.1.1 Fleksotisak**

Fleksotisak je tehnika direktnog visokog tiska, termin „fleksografija“ prvi puta se spominje početkom 1952. godine, do tada poznata pod nazivom anilinski tisak. Bojila za fleksotisak zahtjevaju nizak viskozitet i mali pritisak između tiskovne forme i tiskovne podloge. Tiskovne i slobodne površine razlikuju se prema geometrijskom položaju. Tiskovne površine su izbočene i nalaze se u istoj ravnini dok su slobodne površine udubljene. Fleksotisak koristimo kada imamo tisak na specifičnim materijalima (plastične i metalne folije, laminati, valoviti karton...). Tiskovna forma fleksotiska može izdržati od nekoliko tisuća otisaka do

milijun te je zbog toga najisplativija tehnika tiska kada imamo velike naklade. Tiskovne forme mogu biti od gume i tekućih ili čvrstih fotopolimera. Tiskovne forme koje su izrađene od tekućih fotopolimera ne daju kvalitetne otiske. Oni se najčešće upotrebljavaju za otiskivanje na valovitu ljepenu ili prilikom izrade pečata. Najkvalitetnije te ujedno i najzastupljenije, su tiskovne forme od čvrstih fotopolimera. One daju kvalitetne otiske, oštre i čiste reprodukcije [7]. Polimeri iz kojih se ozrađuju tiskovne forme su topivi u otapalu, ali se i dalje može provesti proces umrežavanja djelovanjem svjetla. Pod utjecajem svjetla nezasićene veze u lancima pucaju, a slobodne valencije se spajaju stvarajući novi polimer čije molekule imaju mrežastu strukturu rasprostranjenu u sve tri dimenzije te nastali spoj više nije topiv. Debljina tiskovne forme može biti između 1.7 i 6 mm. Tiskovne forme su se početkom 21. stoljeća počele proizvoditi i metodom CtP (Computer to Plate), uz pomoć lasera bez klasičnog osvjetljavanja i ispiranja te se s tim znatno skratilo vrijeme izrade uz bolju kvalitetu forme.

Glavna karakteristika fleksotiska je anilox valjak. On je dodan u proces tiska kako bi prenio adekvatnu količinu rijetkih bojila koja se koriste u fleksotisku. On jednolično u tankom sloju bojilo prenosi na tiskovnu formu. Tiskovna forma, koja se nalazi na temeljnom cilindru, svojim izbočenim dijelovima preuzima boju i prenosi je dalje na podlogu. Anilox valjci mogu se razlikovati po finoći izrade ćelija i njihovom obliku.



Slika 1: Princip rada fleksotiska

Izvor: <https://hr.wikipedia.org/wiki/Fleksotisak#/media/Datoteka:Fleksotisak.svg>



## 2.1.2 Proces izrade tiskovne forme za fleksotisak

Izradom konvencionalnih tiskovnih formi za fleksotisak koristimo filmove tj. kopirne predloške. Kako bi postigli fotopolimerizaciju koristi se više ekspozicija. Osvjetljavanje UV zračenjem traje i do nekoliko minuta, a koristi se predekspozicija, glavna ekspozicija i postekspozicija. Nakon glavne ekspozicije obrada polimera se najčešće provodi kemijskim i mehaničkim razvijanjem. Fotoaktivni slojevi fotopolimera su vrlo trajni i pogodni za izradu predoslojenih ploča za visoki tisak.

Tiskovna forma od elastičnog materijala sastoji se od metalne pločice (Zn, Mg, Cu) koja je oslojena fotoosjetljivim negativskim slojem. Ona se osvjetljava kroz negativ predložak, te fotoosjetljivi sloj koji nije osvjetljen ostaje topiv. On se uklanja razvijanjem u odgovarajućem otapalu. Jetkanjem u otopini nastaju tiskovni elementi i slobodne površine na metalnoj pločici na način da se na mjestima gdje je fotoosjetljivi sloj uklonjen otopina otapa cink. Dobivena reljefna pločica se utiskuje u vrući materijal kako bi se izradila matrica. U gotovi reljef izlije se guma koja nakon procesa vulkanizacije predstavlja gotovu tiskovnu formu.



Slika 2: Izrada gumene tiskovne forme

Izvor: [https://moodle.srce.hr/2019-2020/pluginfile.php/3265054/mod\\_resource/content/1/Predavanje7-tf-za.VT.pdf](https://moodle.srce.hr/2019-2020/pluginfile.php/3265054/mod_resource/content/1/Predavanje7-tf-za.VT.pdf)

Proces izrade forme od tekućeg fotoosjetljivog monomera može se nazvati „mokri“ postupak. Tekući fotoosjetljivi monomer oslojen je na poliestersku mat foliju. Predekspozicija koja se vrši na stražnjoj strani UV zračenjem polimerizira 1/3 sloja. Nakon toga vrši se glavna ekspozicija, te razvijanje u odgovarajućem otapalu, sušenje toplinskim zračenjem i nakandna

obrada. Postekspozicijom UV zračenjem polimeriziraju se preostali monomeri. Za ovakve postupke postoje posebni uređaji u kojima se sve potrebne operacije odvijaju automatski, a moguća je i manualna izrada tiskovnih formi.

Prilikom izrade tiskovne forme od čvrstog fotopolimera na dno kao podlogu stavljamo poliestersku foliju na kojoj se nalazi fotopolimer s fotoinicijatorima. Na to se stavlja dodatno sloj koji služi za prihvaćanje bojila. Kako bi se spriječila oksipolimerizacija fotopolimernog sloja stavlja se i zaštitna folija na kojoj se nalazi silikonski sloj. Silikonski sloj služi za lakše odvajanje zaštitnog sloja te štiti negativ od mogućeg lijepljenja za fotopolimer tijekom ekspozicije. Postupak izrade tiskovne forme kreće sa predekspozicijom stražnje strane, kako bi osigurali podlogu za tiskovne elemente. Nakon toga osvjetljavamo glavnom ekspozicijom (prednju stranu) kroz negativ te se tu formiraju tiskovni elementi i slobodne površine. Glavna ekspozicija traje oko deset minuta. Izvor zračenja mora emitirati svjetlost valnih duljina između 350 i 370 nm. Nakon glavne ekspozicije uklanja se negativ i zaštitni sloj. Nopolimerizirani dijelovi se uklanjaju pomoću četki i odgovarajućeg otapala. Sušenje se vrši toplim zrakom te nakon toga slijedi postekspozicija gdje se polimeriziraju preostali monomeri kako bi se smanjila ljepljivost forme [8].



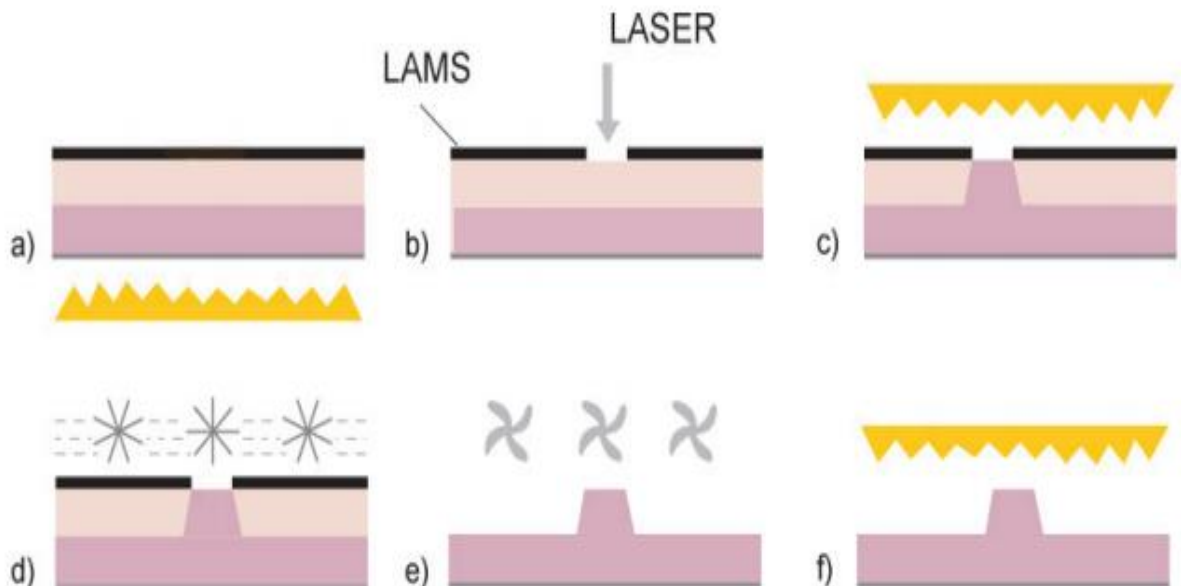
Slika 3: Tiskovna forma za fleksotisak

Izvor: [https://moodle.srce.hr/2019-2020/pluginfile.php/3265054/mod\\_resource/content/1/Predavanje7-tf-za.VT.pdf](https://moodle.srce.hr/2019-2020/pluginfile.php/3265054/mod_resource/content/1/Predavanje7-tf-za.VT.pdf)

### 2.1.3 Digitalni proces izrade tiskovne forme za fleksotisak

Computer to Plate (CtP) prvi put se pojavila 1996. godine. Razvojem tehnologije omogućena je direktna izrada tiskovne forme iz računala, pri čemu se više nije morao provoditi postupak izrade filmova. Izrada digitalne tiskovne forme je mnogo brži i precizniji način nego kod konvencionalne izrade. Danas su dostupne različite tiskovne forme. One mogu biti ravne tiskovne forme na aluminijskoj podlozi, podlozi tankog čeličnog lima ili na plastičnoj podlozi. Mogu biti i ovojne tiskovne forme (sleeve). Neki od najpoznatijih proizvođača digitalnih tiskovnih formi su: KODAK, DuPont™ Cyrel, Flint Group Flexographic Products.

Najznačajnija CtP tehnologija je izrada tiskovne forme s LAMS maskom. Konfiguracija tiskovne forme s LAMS maskom sastoji se od crne maske koja je predoslojena na fotopolimernom materijalu. Laserska slika na fotopolimeru stvara se uklanjanjem maske laserom pri čemu maska ima ulogu negativa pri krikom osvjjetljavanja. Postupak osvjjetljavanja vrši se isto kao i kod konvencionalne tiskovne forme, te imamo a) preekspoziciju, b) ispis u uređaju, c) glavna ekspozicija, d) razvijanje, e) sušenje i f) postekspozicija kako je prikazano na slici .



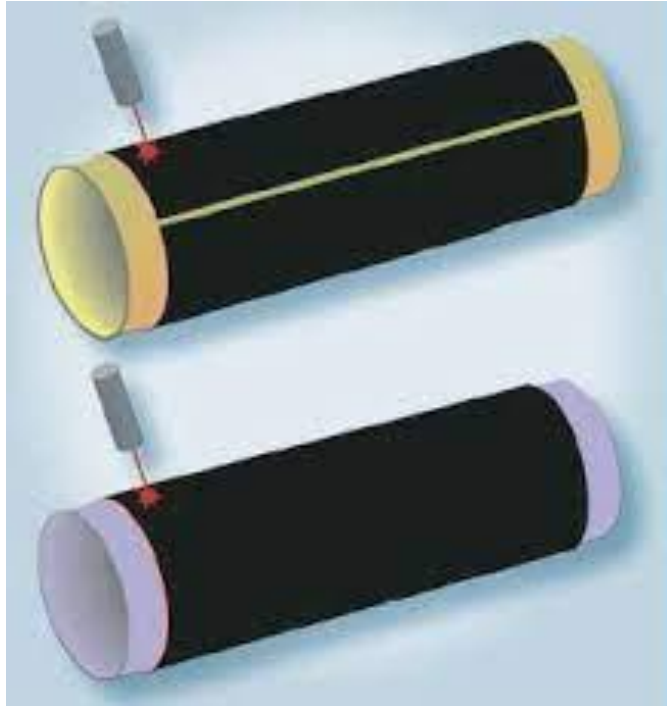
Slika 4: LAMS postupak izrade tiskovne forme

Izvor: [https://moodle.srce.hr/2019-2020/pluginfile.php/3768402/mod\\_resource/content/1/Predavanje6-CtFlex.pdf](https://moodle.srce.hr/2019-2020/pluginfile.php/3768402/mod_resource/content/1/Predavanje6-CtFlex.pdf)

Za razliku od konvencionalne izrade tiskovne forme, na ovaj način je omogućen veći raspon rasterskih elemenata zbog sitnijih rasterskih točaka.

Lasersko graviranje, kao postupak izrade digitalne tiskovne forme, bazira se na laserskom graviraju elastomera. Pomoću ove metode gumena tiskovna forma gravira se kontinuirano i nastaje vrlo precizna gravura. Koriste se CO<sub>2</sub> laseri velike snage (2,5 kW). Faza izrade tiskovne forme laserskim graviranjem je vrlo jednostavna. Vršiti se graviranje, te se poslije toga forma ispiru u vodi.

Sleeve tehnologija spada pod ovojne digitalne tiskovne forme za visoki tisak. Tiskovna forma se nalazi na aluminijskom cilindru koji je oslojen elastičnim gumenim materijalom. Materijali koji se koriste mogu biti od različitih vrsta gume, a u današnje vrijeme počele su se koristiti i različite vrste polimera. Postoje dva modela izrade tiskovne forme. Prvi model se sastoji od ploče koja se reže na odgovarajuću dimenziju i montira se na rukavac. Drugi model koristi kompletno pripremljen rukavac sa slojem koji je odmah spreman za osvjetljavanje. On se koristi kako bi se izbjegli rubovi na rukavcu. Rukavac se montira kompresijskim zrakom. Prilikom postavljanja rukavca na temeljni cilindar promjer rukavca se širi djelovanjem pritiska zraka. Kada se pritisak zraka opusti, rukavac je čvrsto i dugotrajno priljubljen uz temeljni cilindar. Površina rukavca je oslojena prije samog postavljanja na temeljni cilindar. Tiskovna forma nastaje laserskim graviranjem, a višak materijala, nakon postupka graviranja, se uklanja sustavom za usisavanje. Time su izbjegnute dodatne obrade tiskovne forme poput ispiranja i postekspozicije.



Slika 5: Sleeve tiskovne forme s (gore) i bez (dolje) ruba

Izvor:

[https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fhrcaj.hr%2Ffile%2F127964&psig=AOvVaw1cizpYl6mzHANJBn-g\\_fES&ust=1630869070158000&source=images&cd=vfe&ved=0CAsQjRxqFwoTCLi9z--C5vICFOAAAAAdAAAAABAD](https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fhrcaj.hr%2Ffile%2F127964&psig=AOvVaw1cizpYl6mzHANJBn-g_fES&ust=1630869070158000&source=images&cd=vfe&ved=0CAsQjRxqFwoTCLi9z--C5vICFOAAAAAdAAAAABAD)

Sleeve tehnologija ima jako puno predosti od ostalih tehnologija. Tiskovna forma se ne deformira prilikom postavljanja na temeljni cilindar nego se na nju ispisuje u uređaju za ispis koji je istog promjera kao i temeljni cilindar, te se zapis na tiskvnu formu generira u obliku rukavca. Vrijeme izrade i montiranja tiskovne forme je puno kraće, a formu je mnogo lakše montirati i sladištiti nego kod ostalih tehnologija. [9].

## 2.1.4 Boje u fleksotisku

Tiskarska boja koja se koristi u fleksotisku vrlo je rijetka. Ona se preko duktora ili putem komornog rakelera prenosi na anilox valjak te s njega na tiskovnu formu koja je na temeljnom cilindru. Anilox valjak to bojilo dozira u tankom i jednoličnom sloju na tiskovnu formu. Boja je niskog viskoziteta te zbog toga nisu potrebni valjci za razribavanje. Prijenos boje može se odvijati na dva načina: preko sustava sa gumenim valjkom i sustava za obojenje putem komornog rakelera. Kada imamo sustav za obojavanje s gumenim valjkom, gumeni valjak je direktno uronjen u bojanik te brzinom okretaja regulira količinu bojila koju će prenijeti na anilox valjak. Sustav sa komornim rakelom je danas popularniji i jednostavniji za primjenu. U komornom dijelu nalazi se bojilo te je na vrhu u dodiru sa anilox valjkom preko dva rakelera. Donji rakel služi za odstranjivanje viška bojila, a gornji rakel drži boju unutar komore. Sustavi sa komornim rakelom su bolji i precizniji prilikom prijenosa boje, smanjuju isparavanje otapala i povećavaju stabilnost tiskarske boje. Fleksografske boje se temelje na bojilima i/ili pigmentima, smolama te organskim otapalima i vodi. Proizvođači u pravilu isporučuju boje veće viskoznosti, pa ih tiskari prije početka tiska moraju razrijediti.

Boje koje se koriste u fleksotisku možemo posjeliti na: boje koje su na bazi vode, boje koje su na bazi otapala te UV i EB sušene fleksografske boje. Različite tiskovne podloge zahtijevaju i različite tipove boje kako bi se zadovoljili svi uvjeti tiskovnih podloga. Kako bi boja imala visoku kvalitetu, treba se držati određenih pravila koje karakteriziraju boju za fleksotisk a to su: velika izdašnost boje, nizak viskozitet, veliki udjel krutih sastavnica, visok sjaj, dobra topivost, maksimalna stabilnost na stroju, svojstvo dobrog tečenja i brzo sušenje na tiskovnoj podlozi.

Boja se sastoji od pigmenta ili bojila (koloranti), veziva (smole), dodataka i otapala. Danas je najčešća primjena pigmenta koji imaju bolja svojstva zbog toga što su oni najviše zaslužni za dobro zadržavanje otiska na zahtjevnoj fleksibilnoj ambalaži. Ovisi i o optimalnoj kombinaciji smole i veziva, a često u kombinacije ulazi i više vrsta smole. Kako bi još više poboljšali svojstva boje, dodaju se dodaci. Otapalo ovisi o smolama, specifikacijama tiskovne podloge, karakteristikama tiskarskog stroja (anilox, sušna jedinica, sustav za obojenje), vrsti tiskovne forme. Bitno je ujednačiti sadržaj otapala u boji tijekom cijelog tiska jer bi se moglo dogoditi da otisak izađe „prljav“ ili se stvaraju kontraotisci [1].



Slika 6: fleksibilna ambalaža u fleksotisku

Izvor: <http://grafpex.hr/en/>

### 2.1.5 Boje na bazi vode

Boje na bazi vode su ekološki povoljnije boje koje pokušavaju zamijeniti boje na bazi hlapljivih organskih otapala. Iako su bazirane na vodi kao otapalu, ove boje još uvijek sadrže određeni udio organskih otapala. Ove boje se koriste prilikom tiska na kutije valovitog kartona, naljepnica, vreća i ostalih papirnatih proizvoda. Imaju kratko vrijeme sušenja jer se koriste za vrlo upojne podloge. Kada ih primjenjujemo na neupojnim podlogama, potrebno je puno više energije za sušenje otiska što usporava brzinu otiskivanja. Jače su pigmentirane od boja na bazi otapala te se mogu tiskati otisci zadovoljavajuće gustoće obojenja s manjim količinama boje. Tako se smanjuje i količina vode koju treba ukloniti sušenjem. Sastav tipične fleksografske boje na bazi vode je: akrilna smola, akrilna emulzija, voda, otapalo ( u manjim koncentracijama), tvar za neutralizaciju, pigment i dodaci [1].

## 2.1.6 Boje na bazi otapala

U fleksotisku je veliki broj otapala u upotrebi zbog različitih veziva i materijala na koje se tiska. Otapala koja se koriste su denaturirani alkohol ili smjesa alkohola i glikol etera ili glikola. Oni se koriste zbog toga što su valjci i klišeji fleksografskih strojeva izrađeni od gume, preko kojih se boja za flekostisak prenosi na podlogu rotacijskim sustavom. Koriste se otapala koja nisu agresivna i brzo isparavaju s obzirom na brzinu rada te otapalo dobro otapa organsku boju i vezivo. Bojila na bazi alkohola primjenjuju se na neupojnim aluminijskim i polimernim folijama. Sušenje otiska vrši se ishlapljivanjem alkohola. Boja se ne smije sušiti prije nego stigne na podlogu. Kada boja stigne na podlogu, sušenje mora biti brzo.

Tablica 1. Sastav pigmentiranih boja

Pigmentirane boje	
Pigment	10-25%
Smola	10-40%
Vosak	1-3%
Plastifikator	0-5%
Ostali dodaci	0-3%
Otapalo	40-50%

Tablica 2. Sastav boja temeljenih na bojilu

Boje temeljene na bojilu	
Bojilo	10-15%
Taninska kiselina	10-30%
Smola	5-25%
Dodaci	0-5%
Otapalo	50-70%



Tablica 3. Usporedba boja na bazi vode i na bazi organskih otapala

Boje na bazi vode	Boje na bazi otapala
<b>Prednosti</b>	
Smanjen rizik od požara Bolja stabilnost u tisku Poboljšana radna sredina Bolje karakteristike transfera boje	Brzina sušenja lako podesiva Veća brzina tiska Brzo obilno hlapljenje Niske površinske sil, dobra adhezija Dobra otpornost na vodu Dobra topljivost
<b>Nedostaci</b>	
Slaba otpornost na abraziju na folijama Smanjena otpornost na vodu Problemi u kontaktu s vodom Lakše se pjene Problemi sušenja pri većim brzinama tiska	Restrikcije uvjetovane zaštitom okoliša Potencijalni rizik za zdravlje Rizik od požara Relativno niska točka zapaljenja

### 2.1.7 UV- sušeće boje

UV sušeće boje ne sadrže otapala. One se sastoje od 55-80% veziva, 10-20% pigmenata, 5-15% fotoinicijatora i 5-10% aditiva. Izlaganjem otiska UV svjetlu sušenje se odvija trenutno na način da osvijetljeni fotoinicijatori započinju polimerizaciju te se boja odmah suši. Postižu se visoko kvalitetni otisci s dobrim mehaničkim i kemijskim svojstvima. Koriste se na materijalima kao što su PVC, aluminijske folije, laminati. UV tiskarska bojila koja se nisu u potpunosti osušila sadrže nereagirane spojeve koji mogu doći u kontakt s hranom ili higijenskim proizvodima te se iz tog razloga ova bojila ne koriste kod takvih proizvoda.

Tablica 4. Karakteristike fleksografskih bojila i primjena

	<b>Boje na bazi otapala</b>	<b>Boje na bazi vode</b>	<b>UV-sušeeće boje</b>
<b>Tiskarski proizvodi</b>	Ambalaža (folije) Ambalaža za tekućine (mlijeko, sokovi) Materijali za omatanje etikete	Ambalaža (papir) Tapete Časopisi Novine Ambalaža od valovitog kartona	Ambalaža (folije) Etikete Kartonska ambalaža
<b>Viskoznost</b>	20 – 50 mPas ili 20 – 30 s	20 – 50 mPas ili 20 – 30 s	100 – 500 mPas
<b>Sušenje</b>	Penetracijom te hlapljenjem / isparavanjem	Penetracijom te hlapljenjem / isparavanjem	Fotopolimerizacijom
<b>Miris</b>	Jak miris	Bez mirisa	Specifičan miris

### 2.1.8 Luminiscencija

Luminiscencija je emisija svjetlosti na koju ne utječe temperatura emitirajućeg tijela, nego se najčešće javlja kao posljedica primanja energije u nekom drugom obliku poput ultraljubičastog ili infracrvenog zračenja. Riječ luminiscencija dolazi od engleske riječi *luminescence*, što znači svjetljenje, svjetlucanje. Prema izvoru energije koji pobuđuju emisiju razlikujemo više vrsta luminiscencije:

- Bioluminiscencija (kemijska reakcija koja uzrokuje luminiscenciju nalazi se u živom organizmu)
- Katodoluminiscencija (energija dolazi od bombardiranja elektrona)
- Elektroluminiscencija (energija nastaje djelovanjem električnog polja)

- Radioluminiscencija (energija doazi od ionizirajućeg zračenja)
- Rendgenoluminiscencija (energija dolazi pobuđivanjem X-zraka)
- Kemijska luminiscencija (kemijska energija kao uzrok emitiranja svjetlosti)
- Fotoluminiscencija (energija dolazi od UV zračenja)
- Termoluminiscencija (energija dolazi djelovanjem topline)
- Sonoluminiscencija (energija dolazi djelovanjem zvuka)
- Mehanoluminiscencije (mehaničko djelovanje na krutinu) [10]

Luminiscencija se može podijeliti i po vremenu luminisciranja objekta. Neke vrste tvari nastavljaju luminiscirati neko vrijeme nakon što je izvor energije uklonjen. Takve emisije nazivaju se fosforescencije. Fluorescencijom nazivamo emisije svjetlosti kada tvari emitiraju svjetlost samo tijekom izlaganja izvoru energije[11].

Tvari mogu luminiscirati u svim agregatnim stanjima. Kada električni naboj prođe kroz plin, pobuđuje atome ili molekule plina te se stvara luminiscencija. Takva vrsta luminiscencije se pronalazi kod reklamskih natpisa, poput neonskih. Pod UV svjetlom najčešće svijetle tekućine, poput ulja i otopina bojila u raznim otapalima. Krute tvari luminisciraju pri raznim tipovima pobude.

Boje koje se koriste djeluju istodobno i kao bojila ili pigmenti i kao luminiscentni izvor zračenja. Najsjajnije svijetle žuto-zeleni pigmenti. Iza njih slijede zelena i plava boja. Ljubičasti pigmenti najslabije se vide pod UV svjetlom. Luminiscentne boje imaju širok raspon primjene: dizajn, tiskanje, tekstilna industrija, scenografija itd. Luminiscentne boje su vrlo popularne zbog svoje ekološke sigurnosti i netoksičnosti. Proizvode se na temelju disperzije vode ili akrilnih boja i fosfatnog praha[12].



Slika 7: Luminiscentni pigmenti

Izvor: <https://hr.decorexpro.com/kraski/fluorescentnye/>

## 2.2 Nanočestice i primjena

Tvari koje pripadaju grupi nanočestica su materijali čija je veličina približno između 1 i 100 nanometara, a naziv tog raspona naziva se nanorazina. Zbog svoje male veličine mogu ulaziti dublje u mjesta gdje veće čestice ne mogu, a njihova velika specifična površina utječe na ostala svojstva. Na taj način povećavaju čvrstoću i izdržljivost strukture koju grade. Nanočestice koriste se za razvijanje novih primjena u komunikaciji, pohrani podataka, optici, zaštiti okoliša, kozmetici, medicini. Veličina nanočestice ovisi o obliku unutar njene građe. Razlikuju se nanocjevčice i nanožice koje mogu biti različitih oblika i dužina. Važnu ulogu u stvaranju nanokompozita ima omjer materijala i nanočestica. Različiti omjeri nekada mogu postići potpuno drugačija fizikalno-kemijska svojstva materijala. Njihova primjena u ambalažnoj industriji je sve veća. Najčešće se koriste u prehrambenoj industriji. Kako bi se proizvod sačuvao prilikom skladištenja i transporta, unaprijeđuju se nova svojstva ambalaže. Nanočestice doprinose boljim mehaničkim i barijernim svojstvima materijala te omogućuju proizvodnju aktivne ambalaže koja osigurava antibakterijsku i UV zaštitu proizvoda. No, prilikom istraživanja dokazana je i štetnost nanočestica na žive organizme i okoliš. Zbog toga je potrebno provoditi česta ispitivanja i istraživanja o veličini i mehanizmu utjecaja na organizam [13].

### 2.2.1 Silicijev dioksid ( $\text{SiO}_2$ )

U prirodi silicij možemo naći u obliku silicijevog dioksida kao i mnogobrojnih silikata zato što se on u prirodi ne nalazi u elementarnom stanju. Spojevi silicija u plinovitom stanju nalaze se u međuzvjezdanim plinovima dok se čvrsti silikati mogu pronaći na meteorima ili zvjezdanoj prašini. Silicij možemo još pronaći u stabljikama i lišću kao i dlakama, perju i zubima te u ljušturama algi kremenjašica.

Silicijev dioksid ( $\text{SiO}_2$ ) u prirodi se javlja u dvadesetak kristalnih i amorfnih modifikacija. Najpoznatiji i najrasprostranjeniji minerali od njih su kremen i kvarc. Ima visoku temperaturu taljenja koja doseže do  $1713\text{ }^\circ\text{C}$ . Može se opisati kao kristalna, tvrda tvar koja je netopljiva u vodi, kiselinama i lužinama, a kemijski je vrlo inertna. Silicijev dioksid ima tri temperaturno ovisne alotropske modifikacije. Pri nižim temperaturama postoji kao kvarc koji zagrijavanjem pri  $537$  prelazi u tridimit koji nakon  $1470$  prelazi u kristobalit.

Kvarc, najpoznatiji i najrasprostranjeniji mineral, vrlo je tvrd, piezoelektričan i optički aktivan kristal. Zakreće ravninu polarizacije pa postoji lijevi i desni kvarc. Kristal kvarca je beskonačan niz tetraedarski vezanih atoma silicija i kisika kojima je veza ionskog karaktera. Primjenjuje se kao optički aktivan kristal u polarimetriji, u UV optičkim instrumentima (propušta ultraljubičasto zračenje). Silicijev dioksid ( $\text{SiO}_2$ ) u obliku nanočestica mogu se primjenjivati u različitim područjima. Mogu se koristiti kao punila za ojačavanje materijala ili kao sredstvo protiv pjenjenja u proizvodnji papira, bojila i tekstila. U ovom radu, hidrofilne nanočestice  $\text{SiO}_2$  korištene su za poboljšanje svojstva otiska dobivenog UV luminiscentnom bojom za fleksotisak. [14].



Slika 8: Silicijev dioksid ( $\text{SiO}_2$ )

Izvor: [https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.indiamart.com%2Fwelcomechemicals%2Findustrial-chemicals.html&psig=AOvVaw3o9\\_15iqvaqGLj49xCFTZ6&ust=1630869182309000&source=images&cd=vfe&ved=0CAsQjRxqFwoTCJcNl6aD5vICFQAAAAAdAAAAABAJ](https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.indiamart.com%2Fwelcomechemicals%2Findustrial-chemicals.html&psig=AOvVaw3o9_15iqvaqGLj49xCFTZ6&ust=1630869182309000&source=images&cd=vfe&ved=0CAsQjRxqFwoTCJcNl6aD5vICFQAAAAAdAAAAABAJ)

## 3 EKSPERIMENTALNI DIO

### 3.1 Metodologija rada

Luminiscentni premazi koriste se u različitim tehnikama tiska. Oni mogu biti u obliku laka za fleksografsku reprodukciju, offsetni tisak i reljefni tisak. Najčešća primjena UV luminiscentnih premaza je u sitotisku. U ovom istraživanju UV luminiscentni premazi korišteni su fleksografskom tisku. Fleksotisak je vrsta visokog tiska koja se može primjenjivati prilikom proizvodnje na veliki broj grafičkih proizvoda i materijala. Boje koje se koriste su širokog spektra uključujući i luminiscentne.

Fluorescentni premazi imaju svojstvo da apsorbiraju zračenja određene valne duljine i ponovno emitiraju fotone različitih valnih duljina. Pigmenti koji imaju takva kemijska svojstva baziraju se na anorganskim luminiscentnim tvarima. Ovisno o primjeni u koje svrhe se koriste razlikuju se po kemijskoj strukturi. UV luminiscentne boje imaju širok raspon primjene. Mogu se koristiti u tekstilnoj industriji, industriji ambalaže za ispis kontrolnih oznaka, za nanošenje funkcionalnih premaza, premazi za sigurnosne uređaje itd.

U UV luminiscentni premaz dodane su čestice nanomaterijala. One služe kako bi se optimizirala svojstva UV luminiscentnog premaza. Danas, nanomaterijali postaju dio sastava mnogih premaza jer poboljšavaju svojstva premazanog materijala i omogućuju proizvodnju aktivne ambalaže.

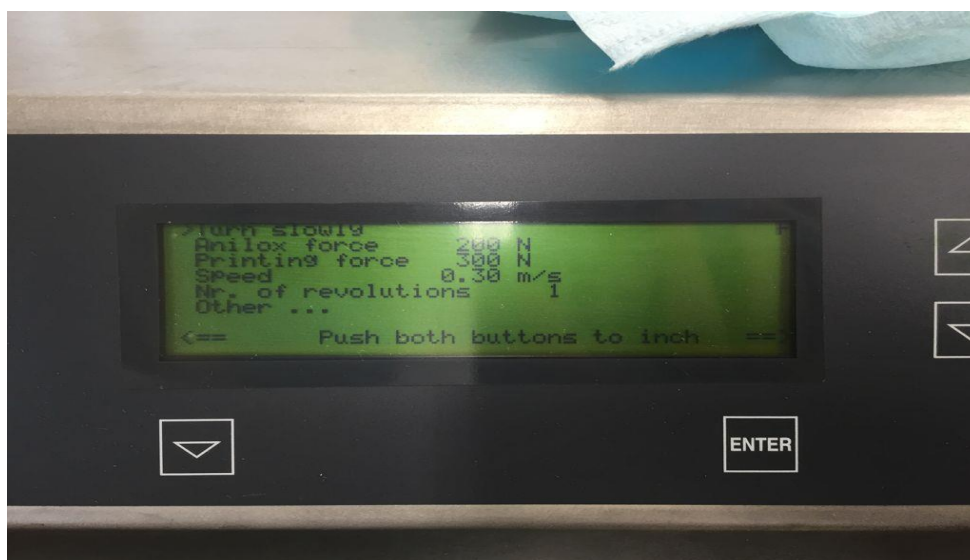
U ovom istraživanju, nanočestice silicijevog dioksida ( $\text{SiO}_2$ ) dodane su u tri različite koncentracije u UV luminiscentni lak, kako bi poboljšali mehanička svojstva tiskanih uzoraka.  $\text{SiO}_2$  koristi se kao sredstvo protiv taloženja ili kao punila za ojačavanje materijala.

Cilj ovog istraživanja bio je optimizirati mehanička i površinska svojstva UV luminiscentnog otiska dodavanjem različitih koncentracija nanočestica silicijevog dioksida  $\text{SiO}_2$  u tiskarsku boju. Opisani utjecaj nanočestica  $\text{SiO}_2$  mogao bi se koristiti kao smjernica za optimizaciju fleksografskog UV luminiscentnog ispisa na dvije uobičajene vrste papirnih podloga.

## 3.2 Korišteni materijali i uređaji

Za ovo istraživanje korištene su dvije vrste papira, bijeli ofsetni papir i 100% reciklirani papir za pakiranje. Svi uzorci papira kondicionirani su prije ispisa na temperaturi od  $24 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$  i relativnoj vlažnosti zraka 50-55% tijekom 24 sata. Bijeli ofsetni papir koristi se kao tiskarska podloga u ofsetnoj tehnici, dok se reciklirani koristi za pakiranje. Na oba papira može se dodatno tiskati UV luminiscentnim premazom koji se koristi u različite svrhe poput zaštite od krivotvorenja, označavanje bar kodova i slično.

UV luminiscentni premaz sastoji se od flekosgrafskog plavog UV luminiscentnog laka "Vernis UV VFB740" kojem su dodane tri različite koncentracije nanočestica silicijevog dioksida. Masena koncentracija nanočestica koje su dodane postavljene su na 0,5%, 1% i 1,5%. Nanočestice su miješane u UV luminiscentnom laku pomoću ultrazvučnog raspršivača (UP100H Hielscher homogenizator) 2 minute pri 100% amplitudi uređaja. Na taj način su pripremljene četiri varijacije premaza, uključujući UV luminiscentni premaz bez nanočestica. Za potrebe otiskivanja, papiri su izrezani na uzorke 5 x 70 cm. Proces tiska je proveden pomoću IGT Printability Tester F1 u laboratoriju, pri relativnoj vlažnosti od 55% i  $23 \text{ }^\circ\text{C}$ . Korišten je anilox valjak od 90 l/cm i  $18 \text{ ml/m}^2$ . Pritisak između aniloksa i tiskovne forme postavljen je na 300 N, a brzina tiska na 0,3 m/s. Pritisak u tisku postavljen je na 300 N - pritisak koji je odabran eksperimentalno, zbog hrapave površine korištenih papira.



Slika 9: IGT Printability Tester F1 sa podešenim vrijednostima



Za svaku varijaciju UV luminiscentnog premaza proizvedena su četiri otiska, ali je prvi otisak odbačen zbog različite početne interakcije suhe fleksografske tiskovne forme i premaza. Tiskovna forma bila je Flintova NEXT forma, s mikro uzorkom na površini.

Otisnuti uzorci sušeni su UV zračenjem u uređaju za sušenje UV izvorom zračenja Technigraf Aktiprint L 10-1, brzinom prolaza otiska u uređaju od 4 m/s, u dva prolaza. Nakon stabilizacije otisaka tijekom 24 sata, provedene su sve metode mjerenja i analize.

### 3.3 Mjerenja i analiza

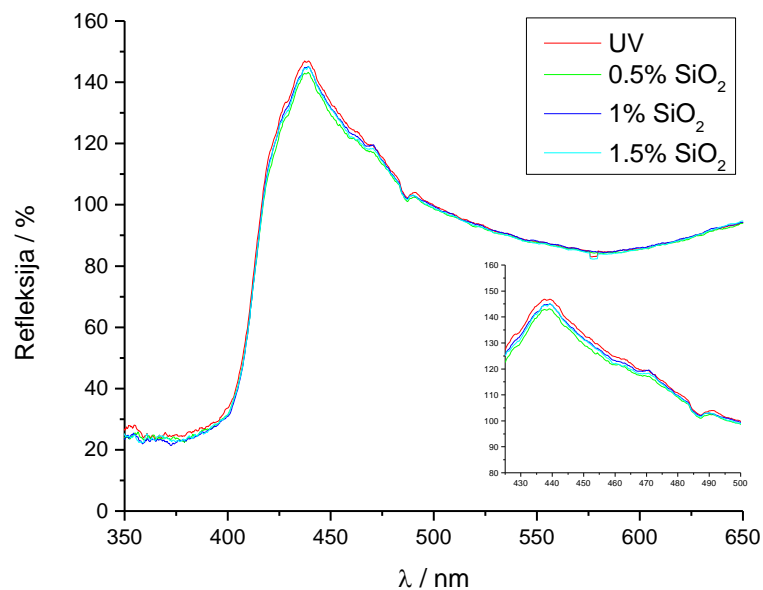
#### 3.3.1 Spektralna refleksija UV luminiscentnog premaza

Spektralna refleksija refleksije UV luminiscentnih premaza na papirnim podlogama mjerena je pomoću spektrometra Ocean Optics USB 2000+ i izvora UV svjetlosti DH-2000 deuterij-volfram halogene lampe.



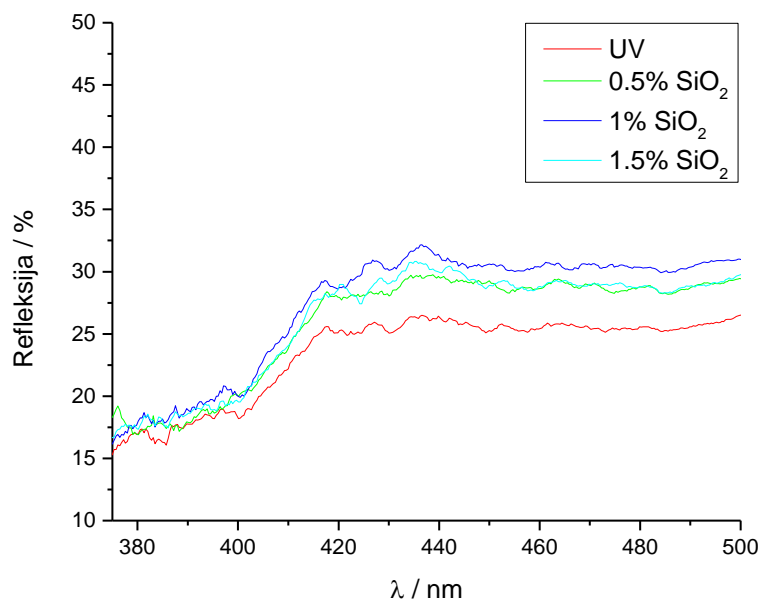
Slika 10: Ocean Optics USB 2000+

Spektri refleksije plavih UV luminiscentnih čestica uočeni su u području između 400 nm i 475 nm. Ovo područje refleksije također se preklapa s optičkim bjelilima u papiru, pa sam efekt luminiscencije nije izolirano izražen. Slika 11. prikazuje spektralnu refleksiju UV luminiscentnog premaza sa dodatkom nanočestica  $\text{SiO}_2$  na ofsetnom papiru. Spektralna refleksija mjerena je kako bi se utvrdilo utječu li nanočestice na luminiscentna svojstva premaza.



Slika 11: Spektralna refleksija UV luminiscentnog premaza tiskanih na bijelom ofestnom papiru

Refleksija je veća od 100% u rasponu između 400 nm i 475 nm. Područje između tih valnih duljina ukazuje da nanočestice silicijevog dioksida  $\text{SiO}_2$  smanjuju refleksiju UV luminiscentnog otiska, ali ne značajno. Nanočestice silicijevog dioksida  $\text{SiO}_2$  mogu se dodavati u UV luminiscentni premaz i tiskati na bijelom ofsetnom papiru bez smanjivanja kvalitete tiskanog sloja u smislu luminiscentnih svojstava.



Slika 12: Spektralna refleksija UV luminiscentnog premaza tiskanih na recikliranom papiru

Na slici 12. je prikazana spektralna refleksija UV luminiscentnih premaza sa dodatkom nanočestica silicijevog dioksida SiO<sub>2</sub> na recikliranom papiru. Refleksija UV luminiscentnih čestica na recikliranom papiru znatno je niža nego na bijelom papiru što možemo zaključiti usporedbom slika 11. i 12.. Učinak luminiscencije na recikliranom papiru znatno je smanjen zbog njegovih svojstava. Reciklirani papir koji je korišten u istraživanju ima specifičnu smeđu nijansu i hrapaviju površinu nego ofsetni bijeli papir. No, vidljivo je da je dodavanjem nanočestica SiO<sub>2</sub> pojačan luminiscentni učinak što nije bilo uočljivo na bijeloj podlozi zbog utjecaja optičkih bjelila u papiru.

### 3.3.2 Slobodna površinska energija

Površinska slobodna energija (SPE) i kontaktni kutovi na uzorcima analizirani su pomoću goniometra Data Physics OCA 30. Voda, dijodometan i glicerol kao tri referentne tekućine sa poznatom površinskom napetošću aplicirane su na svaki uzorak bijelog i recikliranog papira. Pomoću njih mjereni su kontaktni kutovi na svakom uzorku papira. Slobodna površinska energija referentnih tekućina i njihovi kontaktni kutevi na uzorcima korišteni su za izračun slobodne površinske energije ispitivanih uzoraka. Izmjereno je osam kontaktnih kuteva za svaki uzorak na različitom položaju. Kapljica je imala sferni oblik, a volumen jedne kapljice je bio 1  $\mu\text{l}$ . Mjerenje kontaktnih kuteva provedena su 0,4 sekunde nakon što bi kap dotaknula površinu papira. SPE je izračunata primjenom formule:

$$\frac{(1 + \cos\theta) \cdot \gamma_l}{\sqrt{\gamma_l^d}} = \sqrt{\gamma_s^p} \sqrt{\frac{\gamma_l^p}{\gamma_l^d}} + \sqrt{\gamma_s^d}$$

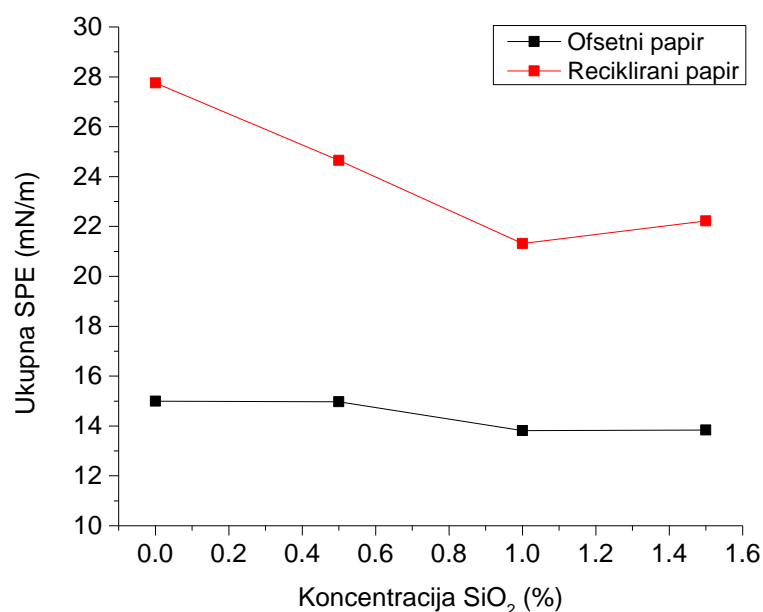
$\gamma_s$  – površinska napetost krutine

$\gamma_l$  – površinska napetost tekućine

$\gamma_p$  – polarna faza površinske napetosti

$\gamma_d$  – disperzivni dio površinske napetosti

$\theta$  - kontaktni kut



Slika 13: Slobodna površinska energija otisaka na bijelom i recikliranom papiru

Izračunate vrijednosti ukupne površinske energije prikazane si na slici 13. Vidljivo je da nanočestice SiO<sub>2</sub> imaju primjetan učinak na SPE. Povećana koncentracija SiO<sub>2</sub> u UV luminescentnom premazu uzrokuje smanjenje ukupne za maksimalno 6,44 mN/m za otiske na recikliranom papiru, a max. 1,15 mN/m za otiske na bijelom ofsetnom papiru. Učinak nanočestica izraženiji je na recikliranom papiru zbog njegovih svojstava hrpravosti i poroznosti.

Parametri adhezije izračunati su iz ukupne, polarne i disperzne slobodne površinske energije za slojeve u kontaktu (papir i pojedina vrsta UV luminniscentnog premaza) te prikazani u Tablici 5.

Termodinamički rad adhezije  $W_{12}$  izračunat je koristeći formulu:

$$W_{12} = \gamma_1 + \gamma_2 - \gamma_{12},$$

gdje se  $\gamma$  odnosi na slobodnu energiju površine svake krute tvari, u slučaju ovog istraživanja papira ( $\gamma_1$ ) i papira s otiskom ( $\gamma_2$ ), a  $\gamma_{12}$  označava njihovu slobodnu površinsku energiju međufaze. Ona je određena pomoću formule prema Owens-Wendt metodi izračuna:

$$\gamma_{12} = \gamma_1 + \gamma_2 - 2(\sqrt{\gamma_1^d \times \gamma_2^d} + \sqrt{\gamma_1^p \times \gamma_2^p}).$$

Kao treći parametar adhezije, močenje ( $S_{12}$ ) određeno je formulom:

$$S_{12} = \gamma_1 - \gamma_2 - \gamma_{12},$$

Optimalna adhezija postiže se ako su ispunjeni sljedeći uvjeti parametara adhezije: termodinamički rad adhezije mora biti maksimalan, međufazna napetost mora biti minimalna i blizu nule, a močenje mora biti jednako ili veće od nule.

Tablica 5. Parametri adhezije u sustavu "papir-luminiscentna boja"

<b>Površine</b>	<b>Parametri adhezije (mN/m)</b>		
	$\gamma_{12}$	$W_{12}$	$S_{12}$
Papir B - UV + 0% SiO <sub>2</sub>	2.18	41.24	-15.62
Papir B - UV + 0.5% SiO <sub>2</sub>	2.30	41.09	-15.76
Papir B - UV + 1% SiO <sub>2</sub>	2.67	39.57	-17.28
Papir B - UV + 1.5% SiO <sub>2</sub>	2.60	39.67	-17.19
Papir R - UV + 0% SiO <sub>2</sub>	7.22	49.15	-8.07
Papir R - UV + 0.5% SiO <sub>2</sub>	9.13	44.13	-13.09
Papir R - UV + 1% SiO <sub>2</sub>	9.44	40.47	-16.74
Papir R - UV + 1.5% SiO <sub>2</sub>	8.05	42.78	-14.44

Iz prikazanih rezultata izračuna parametara adhezije moguće je zaključiti da je adhezija najbolja između recikliranog papira i UV laka bez dodatka nanočestica. Ipak, potrebno je naglasiti i da zbog negativne vrijednosti močenja, ono nije potpuno ni za koju kombinaciju UV luminiscentnog premaza i papira. Vidljivo je da dodatak nanočestica ne utječe značajno na adheziju premaza na ofsetnom papiru, dok na recikliranom papiru ipak zamjetno smanjuje termodinamički rad adhezije i močenje. Stoga bi bilo preporučljivo korištenje UV luminiscentni lak s nanočesticama primarno aplicirati na papirne podloge na kojima nanočestice neće dodatno narušiti adheziju koja na korištenim vrstama papira nije inicijalno optimalna.

### 3.3.3 Otpornost na kidanje papira s UV luminiscentnim premazima

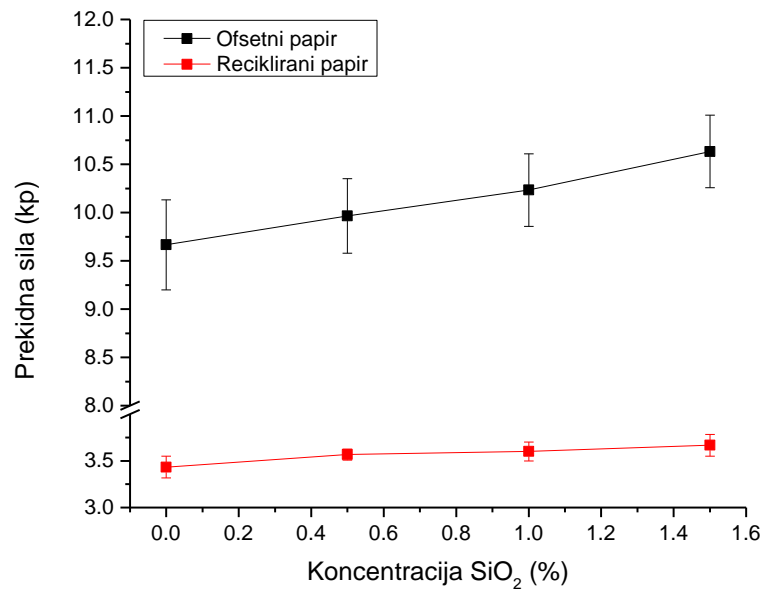
Uzorci papira pripremljeni za ispitivanje otpornosti na kidanje izrezani su na dimenzije 15 mm x 220 mm. Testiranje je provedeno na uređaju zvanom kidalica (Frank). Uzorci su bili učvršćeni sa dva držača koji se nakon pokretanja uređaja krenu udaljavati jedan od drugoga ispitujući vlačnu čvrstoću uzorka. Kada ispitani uzorak pukne zabilježi se sila potrebna za kidanje uzorka papira koji se ispituje. Ispitivanje je provedeno prema standardu TAPPI: T 404 cm - 92.



Slika 14: Kidalica (Frank)

Početna prosječna otpornost na kidanje papira bez premaza bila je 9,8 kp za bijeli ofsetni papir i 2,7 kp za reciklirani papir. Dodavanjem nanočestica  $\text{SiO}_2$  povećala se vlačna čvrstoća uzorka. Vidljivo je da dodavanje nanočestica  $\text{SiO}_2$  povećava vlačnu čvrstoću otisnutih uzoraka papira (Slika 15). Konkretno, maksimalno povećanje otpornosti na kidanje postignuto je za koncentraciju  $\text{SiO}_2$  od 1,5%, a iznosilo je 10%, odnosno 7% za bijele ofsetne i reciklirane

papire. Ovaj je rezultat pokazatelj da bi se veće koncentracije  $\text{SiO}_2$  mogle koristiti za povećanje otpornosti na kidanje, budući da nanočestice  $\text{SiO}_2$  nisu utjecale na učinak luminiscencije u bilo kojem negativnom smislu. Može se zaključiti da nanočestice  $\text{SiO}_2$  mogu poboljšati mehanička svojstva tiskanog proizvoda čak i u niskim koncentracijama.

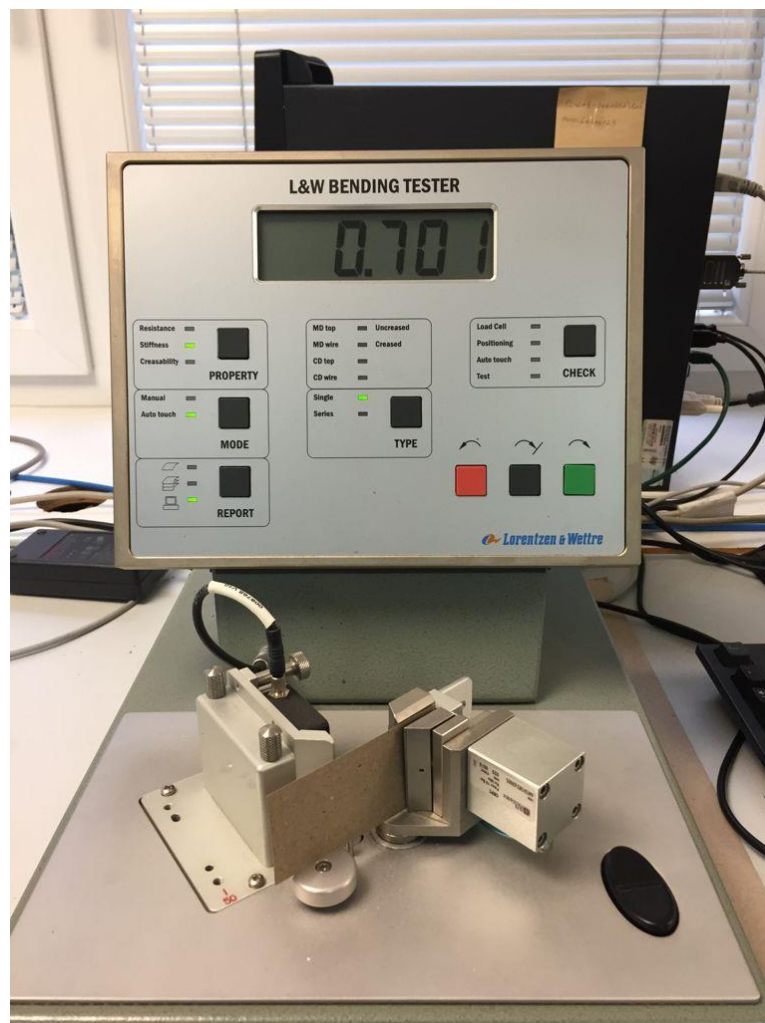


Slika 15: Vlačna čvrstoća papira tiskanih UV luminiscentnim premazima



### 3.3.4 Krutost pri savijanju

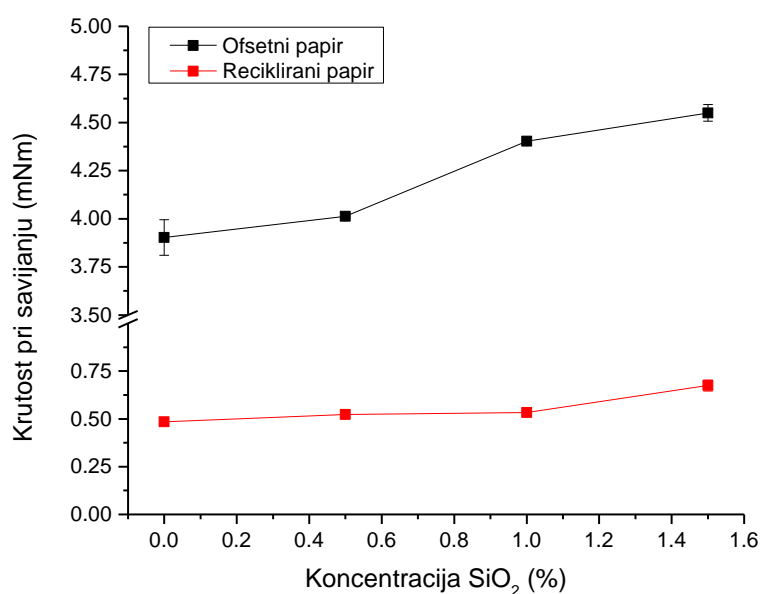
Krutost pri savijanju papira s UV luminiscentnim premazima mjerena je pomoću ispitivača savijanja Lorentzen & Wettre (ABB AB / Lorentzen & Wettre). L&W Tester savijanja koristi se za određivanje krutosti papira i prema savijanju, odnosno otpora koji materijal pruža pod odabranim kutom savijanja. Krutost pri savijanju mjerena je 3 puta za svaku vrstu tiskanih uzoraka pod kutom od  $7,5^\circ$ . Krutost uzoraka izmjerena je kako bi se analizirao utjecaj nanočestica  $\text{SiO}_2$  na mehanička svojstva otisnutih uzoraka papira.



Slika 16: Lorentzen & Wettre (ABB AB / Lorentzen & Wettre)

Dodavanje nanočestica silicijevog dioksida  $\text{SiO}_2$  u UV luminiscentni premaz značajno se poboljšala krutost pri savijanju. S obzirom na moguće primjene UV fluorescentnih premaza, krutost pri savijanju važna je za procjenu primjenjivosti i trajnosti otisnutih proizvoda.

Promatrajući sliku 17, može se zaključiti da je dodavanje nanočestica SiO<sub>2</sub> u UV luminiscentni lak značajno poboljšalo krutost pri savijanju. Konkretno, krutost pri savijanju otisaka s UV luminiscentnim premazom na bijelom ofsetnom papiru povećala se za 16% nakon dodavanja 1,5% SiO<sub>2</sub>. Krutost pri savijanju otisaka s UV luminiscentnim premazom na recikliranom papiru povećana je za 39% nakon dodavanja 1,5% SiO<sub>2</sub>. Može se zaključiti da nanočestice SiO<sub>2</sub> mogu značajno poboljšati ovu važnu značajku tiskanih papirnih podloga, čak i kad se dodaju u niskim koncentracijama.



Slika 17: Krutost savijanja papira otisnutih UV luminiscentnim premazima

## 4 ZAKLJUČAK

Kvaliteta fleksotiska svakoga dana raste te već sada na tržištu ambalaže zauzima ugledno mjesto. Strojevi su unaprijeđeni, stvaraju se novi moderniji sustavi za tiskanje, primjenjuje se veliki raspon boja i omogućeno je stvaranje kvalitetnih otisaka na jako puno različitih materijala, posebno ambalaže.

Danas, vjerojatno najveći izazov predstavlja brzi razvoj tehnologije i utjecaj digitalne tehnologije na fleksotisk. Stari strojevi se zamjenjuju novima, izrada formi je postala brža, jednostavnija, a i jeftinija je.

Provedena istraživanja u ovom radu bazirala su se na otkrivanje kako poboljšati mehanička i površinska svojstva materijala za primjenu u fleksotisku. Ispitivana su svojstva UV luminiscentnih premaza poboljšanih nanočesticama silicijevog dioksida i otisnutih na bijelim ofsetnim i recikliranim papirima.

Rezultati istraživanja pokazali su da dodavanje nanočestica  $\text{SiO}_2$  ne utječe značajno na refleksiju UV luminiscentnog premaza, kada se tiska na bijelom ofsetnom papiru. S druge strane, refleksija se povećala dodavanjem  $\text{SiO}_2$  u UV luminiscentni premaz otisnut na recikliranom papiru. Zaključno, nanočestice  $\text{SiO}_2$  nisu utjecale na vizalni efekt luminiscencije na bilo koji negativan način.

Analiza površinskih svojstava pokazala je da su nanočestice  $\text{SiO}_2$  uzrokovale smanjenje slobodne površinske energije otisnutog premaza, posebno na recikliranom papiru. Ovu pojavu treba uzeti u obzir prilikom tiska s drugim vrstama boje u istom sustavu kao i UV luminiscentni lak. Također, pokazalo se da parametri adhezije između oba papira i UV luminiscentnog laka nisu inicijalno optimalni, iako je lak namijenjen i za papirne tiskovne podloge u fleksotisku. Nanočestice nisu utjecale na pogoršanje adhezije premaza na ofsetnom papiru, dok su na recikliranom negativno utjecale na termodinamički rad adhezije i na močenje.

UV luminiscentni lakovi modificirani nanočesticama  $\text{SiO}_2$  pokazali su poboljšanje određenih mehaničkih svojstava, posebno otpornosti na kidanje i krutosti pri savijanju. Dok se otpornost na kidanje uzoraka povećala maksimalno do 10% kada je 1,5%  $\text{SiO}_2$  dodano u UV luminiscentni lak otisnut na bijelom ofsetnom papiru, krutost pri savijanju značajno se povećala

nakon aplikacije lakova na reciklirani papir (39% za lak s 1,5 % SiO<sub>2</sub>). Rezultati ovog istraživanja obećavaju jer ukazuju na to da se nanočestice SiO<sub>2</sub> mogu dodati UV luminiscentni lak u većim koncentracijama bez umanjivanja učinka luminiscencije, poboljšavajući pritom mehanička svojstva i otvarajući mogućnost tiskanja debljeg sloja premaza kako bi se mehanička svojstva otisnutog proizvoda dodatno optimizirala.

## 5 POPIS LITERATURE

[1] Jamnicki Hanzer S. (2020.), *Tiskarske boje*, dostupno na: [https://moodle.srce.hr/2020-2021/pluginfile.php/4787532/mod\\_resource/content/1/7.%20predavanje\\_nastavni%20tekst.pdf](https://moodle.srce.hr/2020-2021/pluginfile.php/4787532/mod_resource/content/1/7.%20predavanje_nastavni%20tekst.pdf) datum pristupa: 10.8.2021.

[2] Hrvatska enciklopedija, *Luminiscencija*, dostupno na: <https://enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=37550> datum pristupa: 10.8.2021.

[3] C. Buzea, I.I. Pacheco, K. Robbie, Nanomaterials and nanoparticles: Sources and toxicity, *Biointerphases*. 2 (2007) dostupno na: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20419892/> datum pristupa: 10.8.2021.

[4] Lozo B. (2009.), *Razvoj tiskarstva*, dostupno na: <http://materijali.grf.unizg.hr/media/Nastavni%20materijali%20kolegij%20Razvoj%20tiskarstva.pdf> datum pristupa: 10.8.2021.

[5] Mahović Poljaček S. (2019.), *Tiskovna forma za visoki tisak*, dostupno na: [https://moodle.srce.hr/2019-2020/pluginfile.php/3225043/mod\\_resource/content/1/Predavanje5-tf-za.VT.pdf](https://moodle.srce.hr/2019-2020/pluginfile.php/3225043/mod_resource/content/1/Predavanje5-tf-za.VT.pdf) datum pristupa: 10.8.2021.

[6] Mahović Poljaček S. (2019.) *Razvoj i podjela CtP tiskovnih formi*, dostupno na: [https://moodle.srce.hr/2019-2020/pluginfile.php/3531545/mod\\_resource/content/1/Predavanje3-razvoj-podjela-CtP-TF.pdf](https://moodle.srce.hr/2019-2020/pluginfile.php/3531545/mod_resource/content/1/Predavanje3-razvoj-podjela-CtP-TF.pdf) datum pristupa: 10.8.2021.

[7] nepoznati izvor, dostupno na: [https://nastava.asoo.hr/wp-content/uploads/2020/03/Grafi%C4%8Dki-tehni%C4%8Dar-tiska\\_Prakti%C4%8Dna-nastava\\_Fleksotisak\\_3.-razred.ppsx](https://nastava.asoo.hr/wp-content/uploads/2020/03/Grafi%C4%8Dki-tehni%C4%8Dar-tiska_Prakti%C4%8Dna-nastava_Fleksotisak_3.-razred.ppsx) datum pristupa: 10.8.2021.

[8] Mahović Poljaček S. (2019.) *Polimerna tiskovna forma za VT*, dostupno na: <https://moodle.srce.hr/2019->

[2020/pluginfile.php/3265054/mod\\_resource/content/1/Predavanje7-tf-za.VT.pdf](https://moodle.srce.hr/2020/pluginfile.php/3265054/mod_resource/content/1/Predavanje7-tf-za.VT.pdf) datum pristupa: 10.8.2021.

[9] Mahović Poljaček S. (2019.) Polimerna tiskovna forma za VT, dostupno na: [https://moodle.srce.hr/2019-2020/pluginfile.php/3768402/mod\\_resource/content/1/Predavanje6-CtFlex.pdf](https://moodle.srce.hr/2019-2020/pluginfile.php/3768402/mod_resource/content/1/Predavanje6-CtFlex.pdf) datum pristupa: 26.8.2021.

[10] nepoznati izvor, dostupno na: [https://www.tf.uni-kiel.de/matwis/amat/admat\\_en/kap\\_5/advanced/t5\\_2\\_4.pdf](https://www.tf.uni-kiel.de/matwis/amat/admat_en/kap_5/advanced/t5_2_4.pdf) datum pristupa: 26.8.2021.

[11] Robić M. (2015.) Sinteza derivata benzotiazola kao potencijalnih kromofora, , dostupno na: <https://repositorij.fkit.unizg.hr/islandora/object/fkit%3A41/datastream/PDF/view> datum pristupa: 26.8.2021.

[12] nepoznati izvor, dostupno na: <https://artyar.ru/hr/fluorescentnaya-kraska-svetitsya-v-temnote-ili-net-fluorescentnye-kraski.html> datum pristupa: 26.8.2021.

[13] Bota J. (2017.) Optimizacija svojstava premazane kartonske ambalaže s obzirom na oblikovanje, dostupno na: <https://eprints.grf.unizg.hr/2671/1/Doktorski%20rad%20Bota%20Josip.pdf> datum pristupa: 25.8.2021.

[14] nepoznati izvor, dostupno na: <http://www.pse.pbf.hr/hrvatski/elementi/si/spojevi.html> datum pristupa: 26.8.2021.

## **6 PRILOZI**

### **POPIS TABLICA**

Tablica 1. Sastav pigmentiranih boja

Tablica 2. Sastav boja temeljenih na bojilu

Tablica 3. Usporedba boja na bazi vode i na bazi organskih otapala

Tablica 4. Karakteristike fleksografskih bojila i primjena

Tablica 5. Parametri adhezije u sustavu “papir-luminiscentna boja”

### **POPIS SLIKA**

Slika 1: Princip rada fleksotiska

Slika 2: Izrada gumene tiskovne forme

Slika 3: Tiskovna forma za fleksotisak

Slika 4: LAMS postupak izrade tiskovne forme

Slika 5: Sleeve tiskovne forme s (gore) i bez (dolje) ruba

Slika 6: Fleksibilna ambalaža u fleksotisku

Slika 7: Luminiscentni pigmenti

Slika 8: Silicijev dioksid ( $\text{SiO}_2$ )

Slika 9: IGT Printability Tester F1 sa podešenim vrijednostima

Slika 10: Ocean Optics USB 2000+

Slika 11: Spektralna refleksija UV luminiscentnog premaza tiskanih na bijelom ofestnom papiru

Slika 12: Spektralna refleksija UV luminiscentnog premaza tiskanih na recikliranom papiru

Slika 13: Slobonda površinska energija otisaka na bijelom i recikliranom papiru

Slika 14: Kidalica (Frank)

Slika 15: Vlačna čvrstoća papira tiskanih UV luminiscentnim premazima

Slika 16: Lorentzen & Wettre (ABB AB / Lorentzen & Wettre)

Slika 17: Krutost savijanja papira tiskanih UV luminiscentnim premazima