

# Utjecaj oplemenjivanja na kvalitetu otisaka

---

**Marček, Dino**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2019**

*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:216:720129>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-21**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Graphic Arts Repository](#)





Sveučilište u Zagrebu  
Grafički fakultet

# ZAVRŠNI RAD

Dino Marček



Sveučilište u Zagrebu  
Grafički fakultet

Smjer: Tehničko-tehnološki

# ZAVRŠNI RAD

## UTJECAJ OPLEMENJIVANJA NA KVALITETU OTISAKA

Mentor:

Doc.dr.sc. Tomislav Cigula

Student:

Dino Marček

Zagreb, 2019.

## SAŽETAK

Proces oplemenjivanja otisaka upotrebljava se kao utjecaj na konačni dizajn grafičkog proizvoda ili za poboljšanje mehaničkih karakteristika tog proizvoda. Cilj ovog rada je odrediti i pojasniti utjecaj svojstava otisaka na prijenos zaštitnih lakova, odnosno premaza te kako navedeno oplemenjivanje otisaka utječe na njihova svojstva.

Za provedbu ovog istraživanja pripremljeni su otisci primarnih boja na mat i sjajni papir za umjetnički tisak. Otiskivanje je provedeno na uređaju za probno otiskivanje koji simulira plošni tisak. Na otiscima je određena slobodna površinska energija te su aplicirani premazi izrađeni umješavanjem određene mase silicijevog dioksida (maseni udjeli 0,75 %; 1,5 % i 2,3 %) u vodeni lak. Utjecaj premazivanja na otiske određen je određivanjem spektrofotometrijskih koordinata, otiranja i kidanja pripremljenih uzoraka.

Rezultati istraživanja su pokazali da karakteristike papirne podloge utječu na prijenos tiskarske boje kao i da osušeni film boje nema jednaku površinsku energiju. Naneseni premazi imaju utjecaj na kolorimetrijske razlike s time da su najveće razlike u boji vidljive na magenti, a najmanje na cyanu kod obje tiskarske podloge. Nadalje, kod svih otisnutih boja nije primijećen značajni utjecaj masenog udjela silicijevog dioksida na otpornost na kidanje.

Iz ovog istraživanja može se zaključiti da pripremljeni otisci imaju dobru otpornost na otiranje te ih nije potrebno dodatno štiti. Količina silicijevog dioksida nema značajan utjecaj na otpornost papira na kidanje, ali sam proces lakiranja značajno povećava otpornost na kidanje.

### **Ključne riječi:**

ofset, oplemenjivanje, lakiranje, lak, papir, karton

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	1
1.1. Izbor teme završnog rada .....	1
1.2. Cilj završnog rada.....	1
<b>2. TEORIJSKI DIO</b> .....	2
2.1. Ofset tehnika tiska .....	2
2.1.1. Lakiranje u ofset tehnici tiska .....	3
2.1.2. Aniloks valjak.....	6
2.3. Oplemenjivanje .....	8
2.3.1. Otiskivanje dodane vrijednosti ( <i>added value</i> ).....	8
2.3.2. Termokromne boje .....	9
2.3.3. Taktilni otisci .....	10
2.3.4. Funkcionalni premazi ( <i>functional coating</i> ) .....	11
2.4. Materijali u grafičkoj tehnologiji.....	11
2.4.1. Tiskovne podloge.....	11
2.4.1.1. Papir .....	11
2.4.1.2. Karton.....	13
2.4.2. Ofsetni lakovi .....	14
2.4.2.1. Lak na bazi ulja .....	14
2.4.2.2. Vododisperzivni lak.....	15
2.4.2.3. UV lak .....	16
2.4.3. Ofsetno tiskarsko bojilo.....	18
2.4.4. Silicijev dioksid .....	20
<b>3. EKSPERIMENTALNI DIO</b> .....	21
3.1. Priprema uzoraka .....	21
3.1.1. Određivanje slobodne površinske energije.....	21
3.1.1.1. Određivanje slobodne površinske energije pomoću goniometra .....	21
3.1.1.2. OWRK metoda.....	22
3.1.2. Spektrofotometrijska mjerenja .....	23
3.1.4. Određivanje otpornosti na kidanje.....	25
3.1.5. Gravimetrijska evaluacija prijenosa tiskarske boje .....	26
3.2.1. Dataphysics OCA 30 goniometar .....	26
3.2.4. Analitička vaga Mettler Toledo XS205DU Dual Range Analytic Scale .....	30
3.2.5. Frank kidalica .....	31
<b>4. REZULTATI I RASPRAVA</b> .....	32

4.1. Prijenos tiskarske boje.....	32
4.2. Slobodna površinska energija otisaka.....	32
4.3. Kolorimetrijske razlike između otisaka .....	33
4.4. Rezultati otiranja .....	37
4.5. Rezultati otpornosti na kidanje.....	37
<b>5. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>40</b>
<b>6. POPIS LITERATURE.....</b>	<b>41</b>

# 1.UVOD

## 1.1. Izbor teme završnog rada

Proces lakiranja otisaka sve se više koristi u grafičkoj industriji. Danas je gotovo neizostavan korak u tisku ambalaže i grafičkih proizvoda sa dodanom vrijednosti. Lakom se postižu efekti koji mehanički i vizualno utječu na proizvod, kao što je zaštita otiska od mehaničkih utjecaja ili oštećenja prilikom transporta proizvoda ili povećanje uočljivosti proizvoda u trgovinama, gdje privlači kupca da kupi proizvod i samim time osigurava bolji plasman proizvoda na tržištu.

Rad će obuhvatiti vrste i sastav lakova koji se koriste u grafičkoj industriji za proces oplemenjivanja otisaka, na koji način se nanose na tiskovnu podlogu te u konačnici kako utječu na kvalitetu gotovog otiska. U istraživanju će se uzeti u obzir svojstva tiskovnih podloga i otisnutih boja, te određena interakcija sa apliciranim premazima.

## 1.2. Cilj završnog rada

Oplemenjivanje otisaka vrlo se često primjenjuje kao dio idejnog rješenja grafičkog dizajna ili za poboljšanja uporabnih karakteristika nekog proizvoda. Cilj ovog rada je odrediti utjecaj svojstava otisaka na prijenos zaštitnih lakova, odnosno premaza te kako navedeno oplemenjivanje otisaka utječe na njihova svojstva. Kako bi se postigao navedeni cilj, pomoću uređaja za probno otiskivanje izradit će se otisci te na njih aplicirati premazi. Određivanje utjecaja otiska na prijenos premaza provest će se mjerenjem SPE. Evaluacija utjecaja premaza na otisak odredit će se kroz kolorimetrijske karakteristike te mehanička svojstva poput otpornosti na kidanje te otpornosti na otiranje. Očekuje se da će rezultati ukazati na zavisnost između svojstava otisaka i efekta aplikacije premaza.

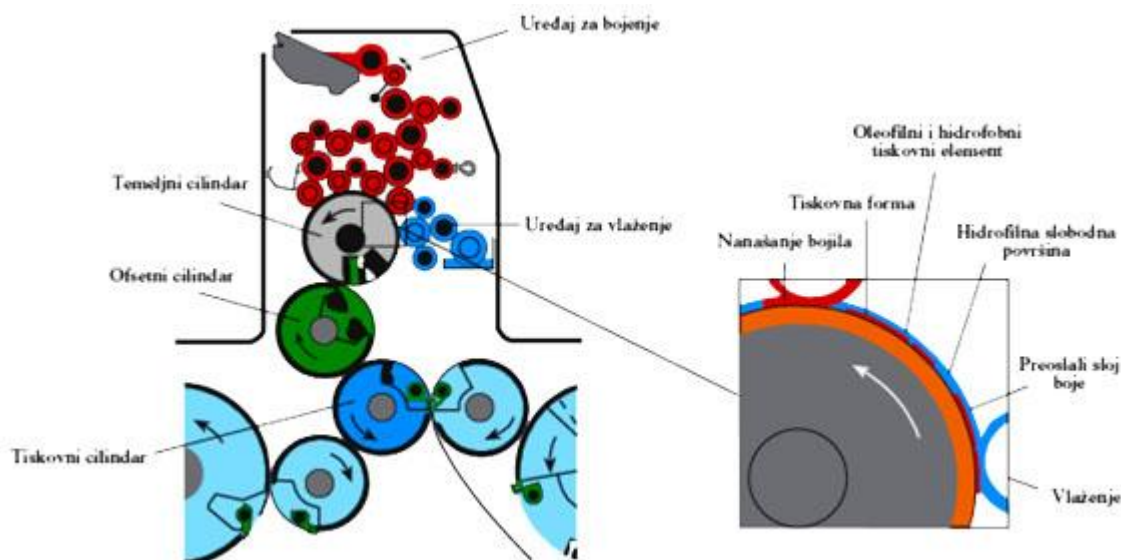
## 2. TEORIJSKI DIO

### 2.1. Ofset tehnika tiska

Ofsetni tisak je tehnika plošnog indirektnog tiska na tiskovnu podlogu. Nastanak i razvoj ove tehnike tiska započeo je izumom prve tehnike plošnog tiska – litografije. Izvorne kamene tiskovne forme su se vremenom počele zamjenjivati metalnim tiskovnim formama, a početkom 20. stoljeća uvodi se ofsetni cilindar presvučen gumenim plaštom. Ofsetni tisak 1970-ih i 1980-ih postaje prevladavajuća tehnika tiska koja se koristi za tisak knjiga, novina i sličnih grafičkih proizvoda, te je skoro u potpunosti zamijenio tehniku knjigotiska koja se do tada rabila [1]. U današnje doba tehnika ofseta se i dalje razvija. Sve više se koriste ofsetni strojevi s automatskim ulaganjem tiskovne forme (engl. *autoplate*) pa se uz to koristi i CTP tehnologija (engl. *Computer To Plate*) u kojoj se tiskovna forma izrađuje bez standardnih kopirnih predložaka, nego direktno iz računala. Također se koristi i DI (engl. *Direct Imaging*) tehnologija koja omogućuje izradu tiskovne forme unutar tiskarskog stroja. Obilježja koja su vezana uz današnju tehnologiju koja pospješuju ofsetnu tehniku tiska su računalni nadzor rada i računalno vođenje cijelog procesa tiska. Upravo ta tehnologija omogućava lakše očitavanje karakteristika tiskovne forme (CIP3), postavljanje i namještanje tiskarskog stroja na zadane postavke prije početka procesa tiska, denzitometrijski i spektrofotometrijski nadzor tiska i nadzor poklapanja boja, korekcije tiska na osnovi usporedbe otiska koji se otiskuje sa odobrenim i standardiziranim otiskom.

Kod tehnike plošnog tiska tiskovni elementi i slobodne površine su u istoj ravnini. Prvo se na tiskovnu formu nanosi otopina za vlaženje, nakon čega valjak s bojom prelazi preko tiskovne forme preko slobodnih i tiskovnih površina. Tiskovne površine i slobodne površine imaju različita fizikalno-kemijska svojstva. Slobodne površine prihvaćaju otopinu za vlaženje (hidrofilnost) te odbijaju boju (oleofobnost). Tiskovne površine odbijaju otopinu za vlaženje (hidrofobnost) te prihvaćaju boju (oleofilnost). Površine na kojima se prihvatila otopina za vlaženje (slobodne površine) neće prihvatiti tiskarsku boju. Pritiskom temeljnog i ofsetnog cilindra boja se prenosi na ofsetni cilindar. Pritiskom tiskovnog i ofsetnog cilindra boja se prenosi na papir koji se nalazi na tiskovnom cilindru (slika 1.).





**Slika 1.** Osnovna ofsetna tiskarska jedinica

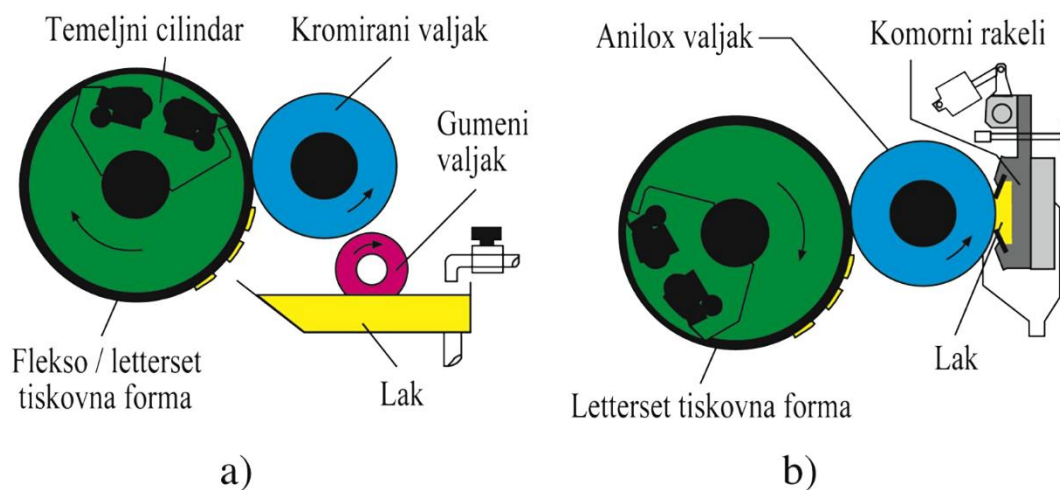
(Izvor: Macinić D.; diplomski rad; Utjecaj lakiranja na mehanička svojstva ambalaže)

### 2.1.1. Lakiranje u ofset tehnici tiska

Konstruktivna rješenja ofsetnih tiskarskih strojeva omogućuju produktivno otiskivanje sa zadovoljavajućom kvalitetom tiska. Strojevima uz ofsetni dio lako se mogu montirati dodatne tiskarske jedinice koje imaju mogućnost nanošanja transparentnih lakova.

Zahvaljujući dodatku tiskarskih jedinica koje mogu izvršiti proces lakiranja, ofsetni strojevi mogu obaviti lakiranje na dva načina: *off-line* (stroj ima tiskarske jedinice samo za nanos tiskarskog bojila, dok je jedinica za lakiranje fizički odvojena) i *in-line* metoda za nanos laka (proces nanošanja bojila i laka izvodi se istovremeno tijekom jednog prolaza tiskovne podloge kroz tiskarski stroj) [2].

Nanašanje laka na tiskovnu formu moguće je obaviti na dva načina: pomoću jedinice sa dva nanoseća valjka i pomoću tiskovne jedinice s aniloks valjkom i komornim rakelom (slika 2.).

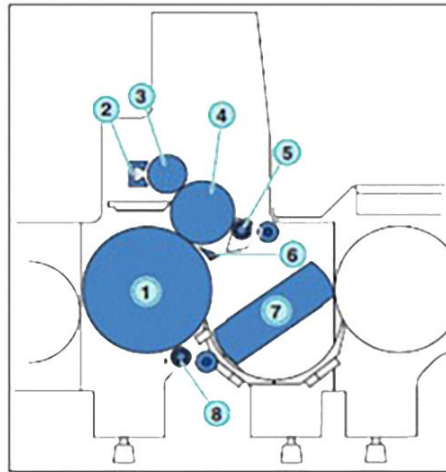


**Slika 2.** a) Jedinica za nanos laka sa gumenim valjkom nanosačem

b) Jedinica za nanos laka s komornim rakelima

(Izvor: Mjeriteljstvo u tisku i periferne jedinice)

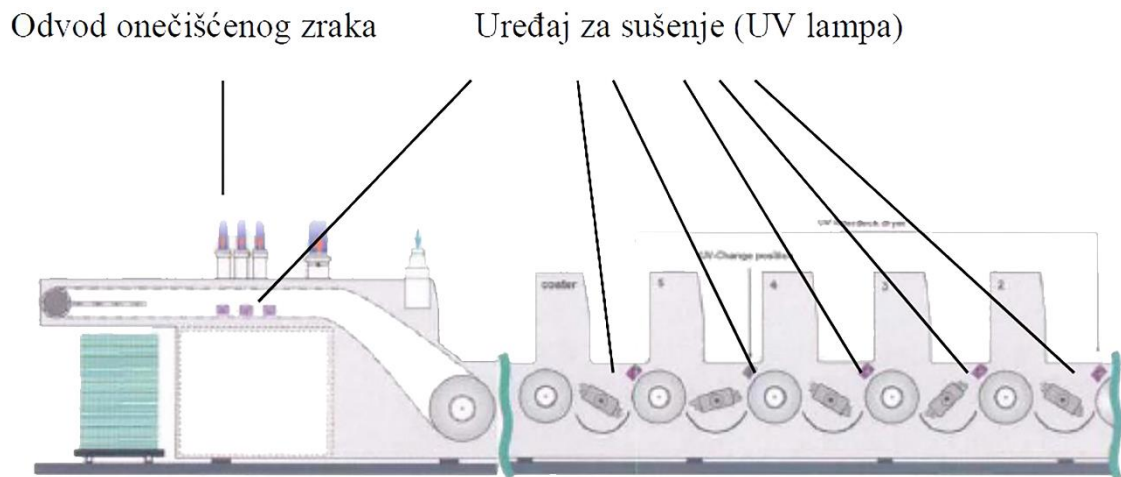
Jedinice za nanos laka smještene su iza posljednje montirane ofsetne tiskovne jedinice i konstrukcijski su građene slično kao tiskarske jedinice za nanos bojila, od kojih se najbolje pokazala flekso tiskarska jedinica. Temeljni cilindar je u direktnom kontaktu s aniloks valjkom koji ima funkciju da regulira količinu laka koji će se prenijeti na tiskovnu formu, pa zatim i na tiskovnu podlogu. Lak se pod pritiskom dovodi u komoru sa rakelima iz koje se direktno nanosi na aniloks valjak. Funkcija donjeg i gornjeg rakel je da skidaju višak bojila s aniloks valjka, dok lak ostaje u ćelijama. Višak laka koji je skinut s aniloks valjka vraća se u spremnik iz kojeg se opet cijevima vraća u komorni rakel. Tijekom cijelog procesa tiska lak konstantno cirkulira u sustavu pri čemu dolazi do pročišćavanja (slika 3.).



**Slika 3.** Jedinica za lakiranje

(Izvor: Macinić D.; završni rad; Utjecaj efekta lakiranja na optička svojstva otisaka)

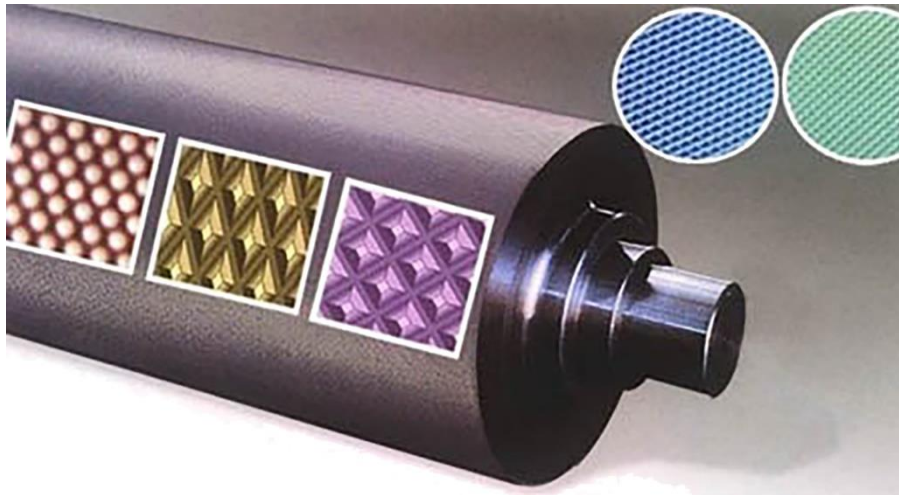
Uređaj za sušenje nalazi se iza zadnje tiskovne jedinice, a njegova funkcija je da osuši otisak. Ako se koristi konvencionalno bojilo u ofsetu, sušenje se provodi procesom oksipolimerizacije. Ako se pri tisku koristi UV lak, umjesto klasičnog uređaja za sušenje koristi se sušenje UV zračenjem [3] (slika 4.).



**Slika 4.** Prikaz jedinice za sušenje UV laka i UV bojila (Roland i KBA)

(Izvor: Macinić D.; završni rad; Utjecaj efekta lakiranja na optička svojstva otisaka)

Zbog niskog viskoziteta laka, osnovu fleksografske jedinice za obojenje čini aniloks valjak koji može biti od kroma, keramike ili čelika. Aniloks valjak svojom različitom linijaturom i volumenom može direktno nanositi različitu količinu laka [4] (slika 5.).



**Slika 5.** Aniloks valjak i različite ugravirane ćelije na površini

(Izvor: [https://www.alibaba.com/product-detail/anilox-roller\\_387435948.html](https://www.alibaba.com/product-detail/anilox-roller_387435948.html))

Pri *in-line* lakiranju, jedinica za lakiranje mora koristiti drugačiju TF (tiskovnu formu). Umjesto tiskovne forme za plošni tisak upotrebljava se tiskovna forma za fleksotisak ili letterset. Montažom TF na temeljni cilindar ostvaruje se kontakt sa aniloks valjkom (krom, keramika, čelik) koji će prenijeti odgovarajuću količinu laka na tiskovnu formu, odnosno na tiskovnu podlogu [5].

### 2.1.2. Aniloks valjak

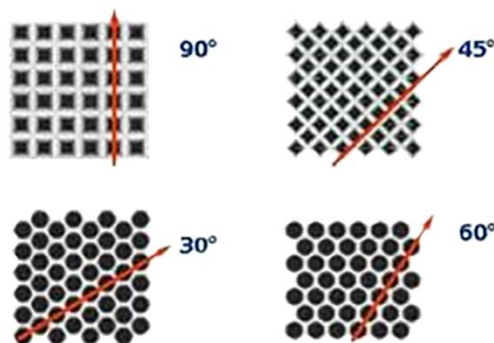
Aniloks valjak je tvrdi valjak proizveden od keramike ili čelika, presvučen slojem bakra ili kroma. Površinu valjka čini veliki broj jako finih udubljenja koje nazivamo ćelijama. Koristi se u fleksotisku i ofsetu te služi za reguliranje nanosa bojila ili laka, pri čemu različita linijatura daje različite rezultate.

Ćelije ili udubljenja na aniloks valjku najčešće nastaju elektrogravirnom iglom (čiji je vrh izrađen od dijamanta, potrebna velika izdržljivost i čvrstoća) ili laserskim graviranjem. Nakon procesa graviranja, obrađena površina se pokriva vrlo tankim slojem kroma (5-8  $\mu\text{m}$ ) koji ima zaštitnu ulogu i upravo time se omogućava otiskivanje velikih naklada. Struktura i oblik ćelija može varirati, najuobičajenija ćelija aniloks valjka je oblik okrenute piramide, tj. krnje piramide. Volumen pojedinačne ćelije može se izračunati koristeći izraz:

$$V = \frac{D}{3 \cdot [(A_1 + A_2) + \sqrt{A_1 \cdot A_2}]} \quad (1)$$

gdje je  $D$  dubina ćelije,  $A_1$  površina otvora ćelije na površini valjka i  $A_2$  je površina ćelije u svojoj najnižoj točki [6]. Dobiveni volumen se tada množi sa ukupnim brojem ćelija na valjku, pri čemu se dobije ukupni volumen bojila koji valjak može prenijeti.

Karakteristike aniloks valjka koje utječu na količinu prenesenog valjka su: kut i volumen ćelija. Manji volumeni dati će manju količinu bojila. Kut od  $60^\circ$  omogućava maksimalno zasićenje aniloks valjka. Osim kuta od  $60^\circ$  postoje i kutovi od  $30^\circ$ ,  $45^\circ$  i  $90^\circ$  (slika 6.). Različiti kutovi služe za postizanje različitog nanosa u definiranom prostoru. Definiranje aniloks valjka vrši se mjerenjem njihove linijske barijere ili brojanjem čašica na površini. Valjci sa manjom linijskom barijerom koriste se kada je potrebno dobiti deblji nanos bojila ili laka, dok će veća linijska barijera dati manji nanos bojila što omogućuje dobivanje finijih detalja.



**Slika 6.** Gravirane ćelije sa različitim kutevima

(Izvor: <https://www.linkedin.com/pulse/role-anilox-roller-flexo-printing-partha-pratim-sanyal>)

Osim podjele po kutu izrezivanja, postoji podjela i po specifičnom obliku ćelija. Postoje trihelične ćelije (duža linija urezana pod kutem od  $45^\circ$ ), kvadrangularne ćelije (oblik piramide sa odrezanom točkom) i heksagonalne ćelije (svaka ćelija povezana je sa tankim ugraviranim kanalom).

Jako bitan faktor za kvalitetu obojenja i lakiranja kod aniloks valjka je trošenje (habanje) ćelija uslijed djelovanja vanjskih mehaničkih sila. Ćelije s najvećim volumenom su najosjetljivije na proces trošenja. Habanje materijala procjenjuje se od strane proizvođača pomoću mikroskopskih uređaja [7].

### 2.3. Oplemenjivanje

Procesom oplemenjivanja tiskovnim podlogama (papiri, kartoni, ljepenke...) daju se dodatna svojstva, čime se povećava njihova vrijednost i veća mogućnost uporabe. Oplemenjivanjem se mogu postići sljedeći efekti: poboljšanje tiskovnih svojstava (kromo papiri, papiri za umjetnički tisak), dekorativni efekti (obojeni i tapetni papiri), tehnički i kemijski efekti (svjetloosjetljivi, teško upaljivi, ljepljivi...), zaštitna svojstva kod omotnih papira (vodoodbojnost i nepromočivost postignuti impregnacijom, kaširanjem i slojevitom građom), efekti postignuti kemijskom promjenom strukture vlakna (pergament, papir) [8].

Oplemenjivanjem se mogu postići najrazličitiji efekti, tako da se može reći da se papiri mogu izrađivati „po mjeri“ tj. papirima se mogu dati točno određena svojstva.

Postupke oplemenjivanja možemo podijeliti na: oplemenjivanje impregnacijom u masi, oplemenjivanje površine (premazivanje, oslojavanje, lakiranje), lijepljenje (kaširanje), nabiranje, naročiti postupci koji strukturu vlakna kemijski mijenjaju, bezbojno deseniranje, obojavanje [8].

#### 2.3.1. Otiskivanje dodane vrijednosti (*added value*)

*Added value* proces oplemenjivanja je tisak s dodatnom vrijednošću koji pomaže tvrtkama koje se bave tiskarstvom da njihovi proizvodi postanu kvalitetniji i raznovrsniji. Industrijskim procesom lakiranja utječe se na vrijednost proizvoda pomoću sjaja i drugih efekata na raznovrsnim tiskovnim podlogama. Proces lakiranja se podrazumijevao kao lakiranje koje se nanosilo pomoću tiskarske jedinice, ali danas je dostupan veliki broj lakova na bazi vode ili UV lakova koji se suše u jednom prolazu, kojii se mogu nanositi jednostruko ili dvostruko, na početku/sredini/kraju stroja bez smanjenja brzine tiska i uz visoku kvalitetu.

Tisak UV bojama i lakiranje su još jedan iskorak prema povećanju vrijednosti proizvoda. Prije nekoliko desetljeća ta tehnologija apliciranja bila je dostupna samo šačici specijalista koji su tu tehnologiju koristili za sofisticirane proizvode. Postoji više metoda apliciranja pomoću strojeva različitih konstrukcija: nanos UV sloja, mješoviti UV sloj (miješani UV i normalni ofsetni stroj), zaštitni UV sloj (kombinacija normalnog

ofseta, zaštitnog lakiranja i UV lakiranja), hibridni UV sloj (varijante UV boja) ili UV sloj smanjene topline (za podloge kao što je folija).

Uz lakiranje visokoga sjaja i UV aplikacije, postoji još jedna razina povećanja vrijednosti proizvoda – oplemenjivanje materijala, koji je klasičan oblik poboljšanja tiska. Desetljećima je to uključivalo procese brončanja ili nanošenja folije vrućim postupkom preko štanci i knjigoveških strojeva, najprije preko ofsetne boje, a poslije preko lakova i metalik lakova. Dodavanje vrijednosti proizvodu ne završava procesom proizvodnje kao takvim, nego mjerenjem, ocjenjivanjem i kontroliranjem rezultata te pružanja jamčene kvalitete korisniku [9].

### 2.3.2. Termokromne boje

Termokromne boje su boje kod kojih dolazi do promjene obojenja uslijed promjene temperature. Termokromni materijali općenito mogu biti monomeri ili polimeri, organskog ili anorganskog sastava i mogu se sastojati od jedne ili više komponenti (Seeboth i Löttsch, 2014; Seeboth et al., 2014). Sastoje se od mikrokapsuliranog aktivnog termokromnog materijala dispergiranog u vezivu. Odabir tehnike tiska uvjetuje sastav veziva termokromne tiskarske boje i definira mehanizam sušenja boje. Nositelj obojenja ove vrste tiskarskih boja je mikrokapsulirani aktivni termokromni materijal koji ima funkciju pigmenta. Ovako formuliran sustav nositelja obojenja upućuje na veliku razliku u odnosu na pigmente koji dominiraju kao nositelji obojenja u konvencionalnim tiskarskim bojama. Aktivni termokromni materijal boja na bazi tekućih kristala potrebno je zaštititi mikrokapsulama od štetnih utjecaja okoline. Ovisno o vrsti aktivnog kromogenog materijala unutar mikrokapsula, njihova veličina može sezati do 50  $\mu\text{m}$ , što je i do 10 puta više od veličine konvencionalnih pigmenata tiskarskih boja [10].

Za razliku od pigmenata, mikrokapsule nisu potpuno inertne i netopive, što ima dodatni utjecaj na trajnost boje i otiska (Kulčar, 2010). Osim zaštite, mikrokapsulacija aktivnog kromogenog materijala omogućuje miješanje različitih vrsta kromogenih tiskarskih boja, kao i miješanje kromogenih i konvencionalnih tiskarskih boja.

Termokromne boje dijele se s obzirom o tipu mikrokapsuliranog aktivnog termokromnog materijala na boje na bazi leuko boja i boje na bazi tekućih kristala. Osnovna razlika između ove dvije vrste termokromnih boja je u mogućnostima

promjene obojenja unutar vidljivog spektra. Neovisno o vrsti mikrokapsuliranog aktivnog termokromnog materijala, do promjene obojenja dolazi na temperaturi aktivacije,  $T_A$  (engl. *activation temperature*). Kod termokromnih boja na bazi leuko bojila,  $T_A$  uzrokuje promjenu obojenja iz obojenog u neobojeno stanje, ili u nekim slučajevima iz jedne boje u drugu. Kod termokromnih boja na bazi tekućih kristala  $T_A$  uzrokuje kontinuiranu promjenu obojenja duž cijelog vidljivog spektra. Budući da se ove boje mogu nalaziti u više različitih optičkih stanja, u literaturi se nazivaju i dinamičkim bojama [25].

Kao i druge vrste kromogenih boja, termokromne boje dijele se prema kriteriju trajanja promjene obojenja na reverzibilne i ireverzibilne. Kod idealne reverzibilne termokromne boje promjena obojenja je povratna, odnosno višekratna, što znači da se boja uzorka vraća u početno stanje nakon cijelog ciklusa zagrijavanja i hlađenja. Ireverzibilne termokromne boje mogu u početku biti obojene ili neobojene, a nakon što se dostigne  $T_A$  nepovratno mijenjaju ton boje, odnosno promjena obojenja je jednokratna i trajna [10].

Termokromne boje primjenjuju se za pametnu ambalažu (indikatori svježine i temperature proizvoda), sigurnosni tisak (čekovi, ulaznice, recepti za lijekove...) i komercijalne svrhe (promotivni materijali, dekorativne svrhe, dizajnerska rješenja).

### 2.3.3. Taktilni otisci

Višeslojnim digitalnim tiskom može se postići promjena u veličini znakova, visini točkica i obliku čime dobivamo taktilne otiske. Ponajviše se koriste kao taktilni elementi na novčanicama, koji omogućuju izvrsnu zaštitu od reprodukcija. Zbog velike količine boje tijekom tiska lako se osjeti specifičan reljef koji osim zaštitne funkcije može omogućiti slijepim ili slabovidnim osobama pristup informacijama ili mogu imati estetsku svrhu. Prvi taktilni otisci otiskivali su se pomoću slijepog tiska, dok se u današnje vrijeme uglavnom koristi intaglio tehnika.



#### 2.3.4. Funkcionalni premazi (*functional coating*)

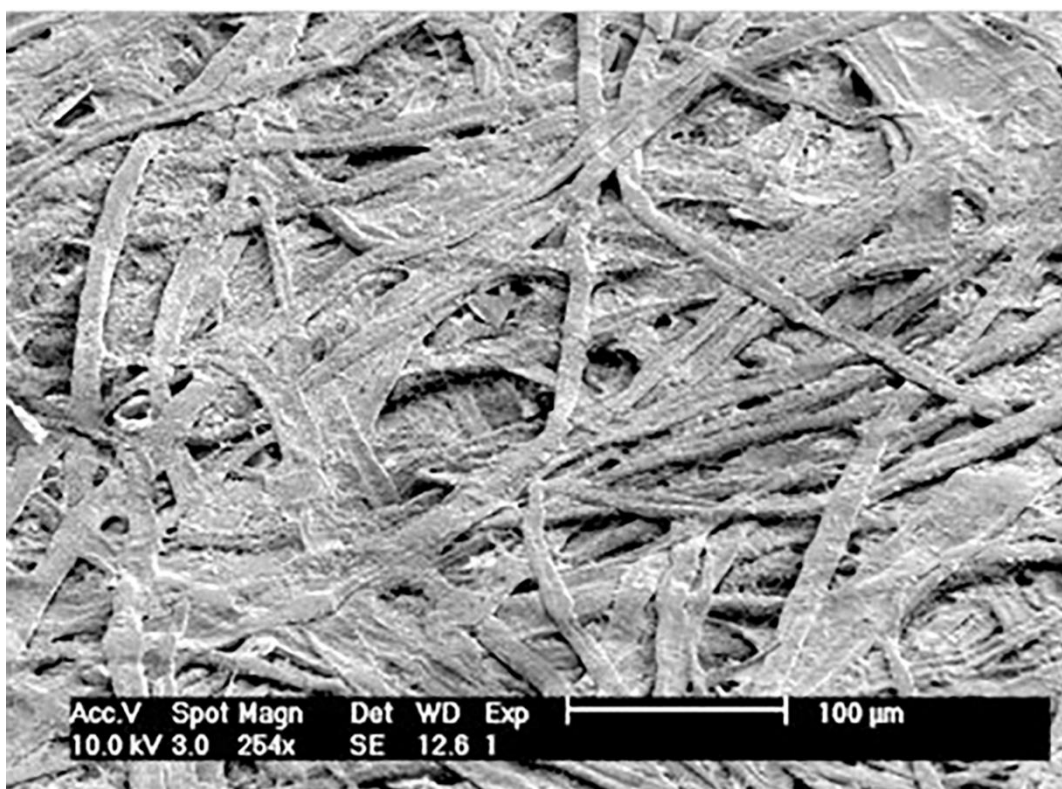
Premazivanje se općenito definira kao materijal (obično tekućina) koji se nanosi na površinu i pojavljuje se ili kao kontinuirani ili diskontinuirani film nakon sušenja. Premazi se uglavnom nanose na površine za dekorativne, zaštitne ili funkcionalne svrhe. Pojam "funkcionalni premazi" opisuje sustave koji osim klasičnih svojstava prevlake (tj. dekoracije i zaštite) posjeduju dodatnu funkcionalnost. Ova dodatna funkcionalnost može biti različita i ovisiti o stvarnoj primjeni obloženog supstrata. Tipični primjeri funkcionalnih prevlaka su samočisteći, antistatički, antirefleksivni i antibakterijski, dok su tipična očekivanja od funkcionalnih premaza dugotrajnost, obnovljivost, lakoća primjene i ekonomičnost, morfologija površine po mjeri i ekološka prihvatljivost.

### 2.4. Materijali u grafičkoj tehnologiji

#### 2.4.1. Tiskovne podloge

##### 2.4.1.1. Papir

Papir je porozni, plošni i tanak proizvod dobiven iz vodene suspenzije biljnih vlakana na stroju sa finim sitom, koje omogućuje njihovo prepletanje i oblikovanje u vrlo tanak list (slika 7). Pod pojmom papir u širem smislu obuhvaćeni su i karton i ljepenka (tablica 1). Uz vlakanca, papir još sadrži punila, keljiva i boje. Upravo papir kao proizvod se najčešće koristi kao tiskovna podloga u tisku. Pri proizvodnji papira upotrebljavaju se vlakna biljnog podrijetla (celuloza, drvenjača, otpadni papir, polutvorina), ali mogu se koristiti i vlakna životinjskog, mineralnog i sintetičkog podrijetla. Sirovine koje se koriste za proizvodnju papira su: tehnička celuloza, polutvorevina, drvenjača, poluceluloza i otpadni papir.



**Slika 7.** Mikroskopski prikaz površine papira

(Izvor:

[https://www.reddit.com/r/askscience/comments/14q05r/why\\_does\\_paper\\_remember\\_when\\_its\\_been\\_rolled\\_up/](https://www.reddit.com/r/askscience/comments/14q05r/why_does_paper_remember_when_its_been_rolled_up/))

**Tablica 1.** Gramatura papira po Klemm-u [26]

Papir	6 – 150 g/m <sup>2</sup>
Kartoni	250 – 500 g/m <sup>2</sup>
Ljepanke	600 – 5000 g/m <sup>2</sup>

Ovisno o vrsti i kvaliteti papira, dodatkom keljiva, punila i boja u većim ili manjim količinama, ostvaruju se različita svojstva papira. Svaki od spomenutih dodataka papiru ima svoju funkciju i utjecat će na svojstva gotovog proizvoda. Navedeni dodaci papiru se mogu dodavati tijekom proizvodnje papira u masi, ali se mogu i nanositi na gotov papir u obliku površinskog premaza.

Punila su anorganski, najčešće mineralni dodaci u proizvodnji papira koji se mogu dodavati u masi prilikom proizvodnje u obliku praškastih bijelih pigmenata ili naknadno u obliku površinskog premaza. Najčešće se koriste karbonati (kalcijev karbonat), oksidi (titan dioksid), silikati (magnezijev silikat). Čestice punila smještaju se između vlaknaca i ispunjavaju šupljine u vlaknatoj strukturi papira. Imaju višestruku ulogu u

proizvodnji papira, primjerice dodatkom punila utječe se na mogućnost povećanja gramature papira, doprinose optičkim svojstvima papira (povećanje svjetline, bjeline, opaciteta). Također dodatkom punila pospješuju se i tiskovna svojstva papira tj., podatniji su za tisak jer su kompaktniji te im je površina glađa.

Keljiva su organski dodaci koji se mogu dodavati istim principom kao i punila, u masu prilikom proizvodnje papira ili u obliku tankog površinskog premaza. Mogu biti biljnog, životinjskog ili sintetičkog podrijetla. Uloga keljiva je homogenizirati strukturu papira i doprinjeti smanjenju upojnosti, čime se utječe na dimenzionalnu stabilnost papira. Dodatkom keljiva ne može se utjecati na svojstvo higroskopsnosti vlakana, ali može se utjecati na smanjenje ili potpuno sprječavanje kontakta vlakana s vodom, u ovom slučaju s otopinom za vlaženje tijekom plošnog, odnosno ofsetnog tiska.

Bojila su dodaci papiru koji se u većini slučajeva dodaju u masu prilikom proizvodnje papira, mogu biti topiva ili pigmentna. Glavna uloga im je da povećavaju stupanj bjeline kod izrade bijelih papira ili daju ton papiru kod obojenih papira. Za izradu izrazito bijelih papira koristi se poseban dodatak za izradu, a to su optička bjelila. To su pigmenti koji djelomično apsorbiraju UV zračenje, a reflektiraju zrake iz vidljivog dijela spektra u ljubičasto-plavom ili plavom dijelu spektra čime stvaraju dojam iznimno bijele površine papira anulirajući žućkastu boju celuloze.

#### 2.4.1.2. Karton

Pod nazivom karton općenito se misli na papire gramature iznad  $250 \text{ g/m}^2$  [11].

Razlikujemo jednostavne i složene (sastavljeni od dva ili više slojeva) kartone. Mogu se razlikovati i prema kvaliteti: kartoni koji se izrađuju od otpadnih papira ili celuloze uz dodatak drvenjače i kartoni koji se izrađuju od 100% izbijeljene kemijske pulpe.

Kartoni koji su kvalitetnije građe imaju premaz te su strojno glatki ili jednostrano glatki.

Primjena im se određuje prema sastavu i kvaliteti. Karton se koristi za izradu ambalaže (40-50%), korica knjiga, razglednica, fascikla i sličnih proizvoda. Sirovine koje se koriste za proizvodnju kartona su: celuloza, drvenjača i otpadni papir, te kao pomoćni materijal koriste se punila, keljiva i bojila. Svojstva kartona ovise o vrsti materijala koji se koristio za građu, kao npr. o vrsti i količini vlakana te ovise o procesu proizvodnje. Svojstva kartona mogu se mijenjati, pa se tako kontrolira kvaliteta ulaznog materijala, tj. operacija u fazi pripreme kartona za tisak.

#### 2.4.2. Ofsetni lakovi

U grafičkoj industriji koriste se tri vrste laka: lakovi na bazi ulja, vododisperzivni lakovi i lakovi koji se suše UV svjetlošću. Ovisno o metodi apliciranja (premazivanjem, prskanjem, uranjanjem) lakovi se mogu koristiti u tekućem ili praškastom agregatnom stanju. Nakon nanašanja započinje fizikalno ili kemijsko sušenje što u konačnici rezultira zaštitnim ili dekorativnim premazom [12].

Glavna sastavnica lakova je vezivo u koje se dodaju različiti dodaci (aditivi), otapala i omekšivači. Vezivo je općenito organskog podrijetla te mu je zadaća da formira zaštitni film ravnomjerne debljine, držanje komponenta na okupu i osigurava prihvaćanje laka za tiskovnu podlogu na kojoj se vrši proces lakiranja.

U ofsetnim lakovima koriste se lako hlapiva otapala koja tijekom sušenja u potpunosti isparavaju. Najčešće su: aceton, tetral, terpentinsko ulje, ksilol, specijalni derivati benzina, etilacetat, tetrahidrofur, metiletilketon, cikloheksanon. Osnovna zadaća otapala je otopiti guste komponente veziva i prevesti ih u manje viskozni oblik.

Dodatkom male količine aditiva ofsetnim lakovima poboljšavaju se svojstva nanesenog premaza laka. Najčešće su to: ubrzivači procesa stvrdnjavanja, sredstva za umrežavanje, sredstva za spriječavanje stvaranja nabora i sredstva za spriječavanje razlijevanja.

Omekšivači su hlapljivi organski spojevi čija je viskoznost veća od standardnih otapala. Koriste se za omekšivanje sintetičkih veziva koji suše polimerizacijom. Prednost im je niža radna temperatura i veća elastičnost lakirane površine.

##### 2.4.2.1. Lak na bazi ulja

Lakovi na bazi ulja najduže se koriste u grafičkoj industriji, neškodljivi su za okoliš i lako se prerađuju. Nastali sloj laka je žilav, negativna strana je što starenjem požute i upravo to smanjuje kvalitetu otiska. Za proces lakiranja koriste se ofsetne tiskovne jedinice (u slučaju višebojnog tiskarskog stroja iza posljednje tiskovne jedinice, a kod jednobojnog tiskarskog stroja nakon dijela za sušenje). Zbog mogućeg neosušenog otiska na višebojnim tiskarskim strojevima može doći do smanjenja kvalitete lakiranja, te kako bi se to spriječilo, preporučuje se korištenje posebnog tiskarskog stroja i lakiranja na prethodno osušenu boju. Prednost ovog lakiranja je korištenje iste

procedure kao i za standardno ofsetno bojilo, čime se vrijeme pripreme smanjuje i stvara se mogućnost korištenja istih pomoćnih kemikalija.

Sastoje se od mineralnih ulja, sušivih ulja, alkidnih smola, sikativa i različitih aditiva. Kao veziva mogu biti biljna ulja, ulja drvene baze, sojino ulje ili laneno ulje. Udio suhe tvari u ovoj vrsti laka iznosi oko 75%. Proces sušenja lakova na bazi ulja odvija se apsorpcijom i oksidacijom, tj. prodiranjem u papir te vezanjem kisika iz zraka gdje komponenta sikativa obavljaju funkciju katalizatora.

Kao i ofsetna tiskarska boja ovakvi lakovi suše oksidacijom, tj. dvostruke veze nezasićenih masnih kiselina ( $C=C$ ) privlače kisik iz zraka i uz pomoć sušila ih vežu u nove C-C spojeve. Reakcije sa kisikom teško je kontrolirati a samim time i oksidacijsko sušenje. Time dolazi i do različitih popratnih reakcija. Nezasićene masne kiseline se mogu razgraditi i formirati niskomolekularne spojeve, kao što su hlapljivi ketoni, aldehidi i hidroksilni spojevi [13].

Kada se govori o prednostima korištenja lakova na bazi ulja onda su to: jednostavan postupak lakiranja, nije potrebno korištenje posebnih lak agregata, lak je relativno neosjetljiv na vlagu, dobra interakcija s nealkidnim bojilima, jednostavno izvođenje parcijalnog lakiranja. Međutim, osim prednosti koje omogućuje lakiranje na bazi ulja, postoje i nedostaci koji su upotrebu ovakvog lakiranja sveli na minimum, posebno u ambalažnoj industriji. Nedostaci ovakvih lakova mogu se pronaći u sporom sušenju, povećanom pudranju tijekom tiska, malom nanosu laka, slabom sjaju, žućenju otiska nakon određenog vremenskog perioda, neugodnom mirisu, otežanom lijepljenju na lakiranim mjestima. U industriji ambalaže lakiranje na bazi ulja potpuno je izgubilo na značenju te se gotovo i ne primjenjuje. Lakiranjem se dobije samo mehanička zaštita npr. prilikom transporta ili korištenje proizvoda dok je efekt sjaja minoran. Za postizanje boljeg estetskog izgleda treba se koristiti vododisperzivni ili UV lak [7].

#### 2.4.2.2. Vododisperzivni lak

Lakiranje pomoću ove vrste laka izvodi se tako da voda iz laka prvo penetrira u tiskovnu podlogu da bi nakon nekoliko sekundi započelo isparavanje pri izlaganju otiska vrućem zraku ili IR zračenju. Vododisperzivni lakovi se koriste za lakiranje cijele površine koja je prethodno otisnuta. Ovaj tip laka daje veći sjaj, brže sušenje otisaka, bolju mehaničku zaštitu grafičkog proizvoda na kojem se vrši proces lakiranja, ekološki

je prihvatljiv, omogućuje lakše čišćenje jedinice za lakiranje, ne mijenja ton otiska (ne postaje žut), bezmirisan lak te ima jednak omjer faktora trenja na otisnutim i neotisnutim mjestima. Nedostatak se pojavljuje kod tiska na tanjim tiskovnim podlogama gdje može doći do pojave razvlačenja papira uslijed vlaženja [13].

Vododisperzivni lakovi sastoje se od dispergirane mješavine modificiranih akrilnih smola, vodotopivih smola, voskova i aditiva u vodi. Udio suhih tvari se kreće između 35-45%. Bitnu ulogu u ovom laku imaju smole na bazi amonijevih soli koje tako postaju topive u otapalu (u ovom slučaju vodi). Dodatkom aditiva može se utjecati na površinsku napetost, mazivost, umreženost, otpornost na trenje [2].

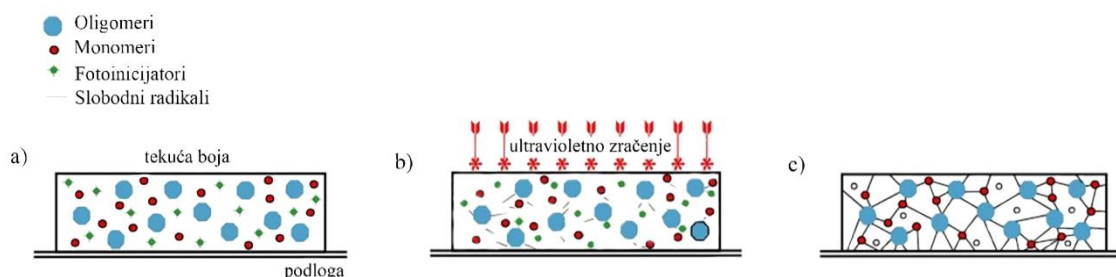
Kako bi se uspješno izvršilo lakiranje sa vododisperzivnim lakovima, otisci se nakon lakiranja izlagaju povišenoj temperaturi pomoću vrućeg zraka ili IR zračenja, pri čemu tekuće komponente iz laka prvo penetriraju u tiskovnu podlogu, te zatim počinje faza isparavanja. Pošto se radi pri višim temperaturama, tiskarski sustav u kojem vršimo ovaj proces lakiranja mora imati ugrađenu jedinicu za hlađenje kako bi se omogućilo hlađenje lakiranih otisaka na sobnu temperaturu, u suprotnom bi pri visokim temperaturama došlo do ljuštenja otisnutog bojila. Jedinica za hlađenje tokom procesa sušenja kontinuirano dovodi svježiji zrak, dok se zagrijani zrak izbacuje iz sustava. Također previsoka temperatura može izazvati prodiranje bojila u sloj laka uslijed promjene viskoznosti bojila. Kvarom ili nedovoljno efikasnim procesom hlađenja može doći do povećanja koncentracije vlage u zraku, što prouzrokuje razvlačenje papira (rubne deformacije), može doći do nastanka problema sa sušenjem i lijepljenja lakiranih otisaka [7].

#### 2.4.2.3. UV lak

UV lakovi u ofsetnim strojevima omogućavaju najveći efekt sjaja, najveću otpornost na mehaničko otiranje, trenutno sušenje apliciranog laka koji ne zahtjeva pudranje i tisak na neupojnim tiskovnim podlogama. Time se stvaraju mogućnosti za izvedbu različitih vizualnih i mirisnih efekata.

UV lakovi sastoje se od fotoinicijatora, monomera, oligomera, aditiva i različitih pigmenata. Nakon nanosa laka na željenu tiskovnu podlogu, fotoinicijatori započinju apsorbirati EM (elektromagnetsko) zračenje emitirano iz UV (ultraljubičastog) izvora, čime se pokreće niz lančanih reakcija. Zapčinje međusobno umreživanje molekula u

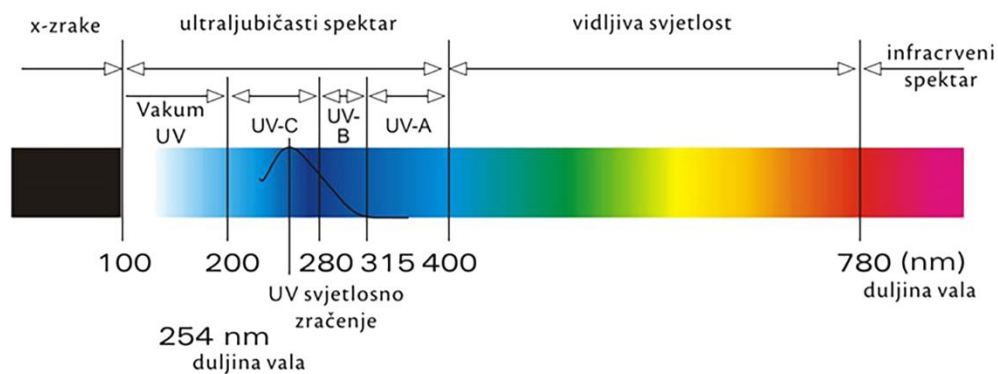
laku. Fotoinicijatori se raspadaju na dva radikala koji potiču polimerizaciju jednostavnijih monomera i složenijih oligomera, nakon čega se formira čvrsti film laka. Bez djelovanja odgovarajućeg UV zračenja nanoseni lak bi ostao u tekućem agregatnom stanju i ne bi došlo do iniciranja procesa sušenja (slika 7).



**Slika 7.** Proces stvrdnjavanja laka a) tekući lak, b) proces polimerizacije, c) tvrdi film (Izvor: Peštelić A., Štukar I.;Optička i mehanička svojstva metalnih Inkjet otisaka uzrokovanih dodatnom termalnom obradom)

Oligomeri svojom većom molekularnom masom daju otvrdnutom filmu najvažnija svojstva: kemijsku postojanost, tvrdoću, sjaj i adhezivnost. Dodatkom aditiva mogu se poboljšati reološka svojstva laka, dok se dodatkom pigmentata mogu stvoriti specifična obojenja koja u konačnici gotovom grafičkom proizvodu daju veću estetsku vrijednost.

Kako bi se UV lak uspješno primjenio, ofsetni tiskarski strojevi moraju sadržavati dodatnu jedinicu za sušenje, koja će sušiti otiske djelovanjem UV zračenja. UV zračenje obuhvaća EM zračenje s valnim duljinama od 100nm do 400nm, s energijom fotona od 3eV do 124eV. Zbog različite mogućnosti primjene, UV spektralno područje može se podijeliti u tri podskupine: UV-A (315-440nm), UV-B (280-315nm) i UV-C (<280nm). Najvažnije je UV-C zračenje koje je zaslužno za pokretanje procesa polimerizacije, dok UV-A i UV-B su zadužene za održavanje prethodno pokrenutih reakcija (slika 8) [14].



**Slika 8.** Područje UV dijela spektra u odnosu na različite frekvencije EM zračenja

(Izvor: <http://www.hoya.hr/zanimljivost/sunce-i-uv-zracenje/73/>)

Nanošanje UV laka moguće je ostvariti na tri načina: UV lakiranje otisaka otisnutih s klasičnim ofsetnim bojilima, UV lakiranje na otiscima otisnutih s UV ofsetnim bojilima i UV lakiranje otisaka otisnutih s hibridnim bojilima. Zato je za uspješno nanašanje UV laka važna interakcija između ofsetnog bojila i UV laka.

#### 2.4.3. Ofsetno tiskarsko bojilo

Bojilo za ofsetni tisak sastoji se od različitih sastojaka kao što su: pigmenti, veziva, punila, sušila i dodaci.

Pigment je kruta, kemijski čista tvar koji pomiješan s prikladnim vezivom tiskarskom bojilu daje obojenje. Netopivi su u vodi i/ili vezivima u kojima se raspšuju i s kojima se trebaju dobro močiti. Osnovni i sastavni su dio tiskarske boje koji je vidljiv oku pri tisku. Najvažnije svojstvo im je boja, koja ovisi o apsorpciji, odnosno refleksiji vidljivog dijela spektra. Zato možemo reći da pigmenti daju obojenje boji zbog selektivne apsorpcije i refleksije svjetlosti. Pigmenti koji se koriste pri proizvodnji tiskarskih boja moraju posjedovati određena svojstva: jasan i čisti ton, sposobnost dispergiranja, pokrivenost i izdašnost, svjetlostalnost, otpornost na blage kiseline i lužine, otpornost prema vodi, otpornost prema povišenoj temperaturi. Postoji više vrste podjela pigmenta, prema podrijetlu (prirodni-mineralni, biljni i životinjski, umjetni ili sintetički), prema kemijskom sastavu (organski i anorganski), prema boji (akromatski-bijele i crne, kromatski-obojeni i šareni), prema strukturi (amorfni-nemaju pravilnu strukturu, kristalni-pravilna kristalna rešetka) i prema namjeni (optički-daju obojenje, pigmenti sa specijalnim svojstvima-magnetski i fluorescentni).



Vezivo je tekuća komponenta tiskarske boje koja nosi čestice pigmenta i služi kao sredstvo za disperziju. Boji daji plastičnost, viskozitet, tečenje, omogućuje prijenos boje i vezanje pigmentnih čestica za tiskovnu podlogu. Odabir vrste veziva uvjetovan je vrstom tiskarskog procesa, brzinom tiska, tipovima strojevima i vrstama tiskovnih podloga. Glavni zadatak veziva je da osigura put boje od bojanika do tiskovne forme, pa s tiskovne forme na tiskovnu podlogu. Mora posjedovati određena svojstva kao što su: točno definirana ljepljivost kojom se osigurava vezivanje boje na površinu tiskovne podloge, moraju biti bistri i potpuno kemijski inertni (ne smiju utjecati na čistoću i ton boje, niti reagirati s bilo kojom sastavnicom tiskarske boje), moraju imati sposobnost i definiranu brzinu sušenja i to tek kada je boja na tiskovnoj podlozi i veziva ne smiju sadržavati lako hlapljiva organska otapala neugodnog mirisa i štetnog utjecaja na ljudski organizam. Vezivo po sastavu može biti: viskozna tekuća tvar, otopina dobivena otapanjem krute smole u ulju (guste boje), otopina dobivena otapanjem krute smole u organskom otapalu (rijetke boje) i vodena emulzija dobivena emulgiranjem krute smole s vodom. Po kemijskom sastavu dijele se na sušiva uljna veziva, nesušiva kompozicijska veziva, sušiva kompozicijska veziva i hlapiva veziva.

Punila tiskarskih boja su krute anorganske tvari prirodnog ili umjetnog podrijetla. Djelomično zamjenjuju skupe pigmente te smanjuju cijenu tiskarskih boja i mijenjaju reološka svojstva tiskarskih boja. U pravilu ne mijenjaju ton tiskarske boje, ali mogu smanjiti intenzitet obojenja. Moraju biti otporna prema vezivima i pigmentima. Postoje prirodna i umjetna punila. Najpoznatija punila u grafičkoj industriji su: barijev sulfat, talk, kaolin, magnezijev karbonat, aluminijski hidroksid, kalcijev karbonat, glina i silicijev dioksid.

Sušila ili sikativi su tvari koje se dodaju tiskarskoj boji s ciljem poboljšanja njene sušivosti. Ubrzavaju sušenje tiskarskih boja koje se suše oksipolimerizacijom. Po kemijskom sastavu su organski spojevi, oleati, rezinati i naftenati kobalta, mangana i olova. Postoje pastozna i tekuća sušila, bitne razlike između njih nema. Sušenje ofsetne boje na tiskovnoj podlozi može se provesti fizički (apsorpcijom) i kemijski (oksidacijom).

Dodaci tiskarskih boja poboljšavaju određena svojstva tiskarskih boja i otklanjaju nepoželjne pojave u tisku. Postoje različiti dodaci: voskovi, ulja i masti, antioksidansi, tvari za močenje, tvari protiv sljepljivanja otisaka, mirisi i drugi.

#### 2.4.4. Silicijev dioksid

Silicijev dioksid ( $\text{SiO}_2$ ) poznat i pod imenom silika, pojavljuje se kao prirodni mineral u obliku kremenita, kvarca, opala i u još 15 različitih oblika. Ima izrazito visoku temperaturu taljenja od  $1713^\circ\text{C}$ . Pojavljuje se u više različitih amornih i kristalnih modifikacija. Koloidni silicijev dioksid je disperzija amornog silicijevog dioksida u tekućini, najčešće vodi. Amorfne nanočestice se klasificiraju po načinu proizvodnje. Dijele se na „vlažni“ proces (engl. *wet process*) kojim se dobivaju silikati i silika gelovi; i na pirogene silike koje se dobivaju na visokim temperaturama i najčešće ih se naziva „dimljena“ silika (engl. *fumed silica*). Osnovnu strukturnu jedinicu većine silika i silikatnih minerala čini tetraedarski raspored četiri kisikova atoma koja okružuju centralni atom silicija.  $\text{SiO}_2$  kao nanočestica se istražuje za primjenu u različitim područjima. Koristi se kao punilo za ojačavanje materijala, a kao sredstvo protiv pjenjenja se najčešće koristi u proizvodnji papira, boja i tekstila. Zbog svojstava električne izolacije i niske toplinske provodljivosti često se upotrebljava u proizvodnji akumulatora i elektroničkih uređaja. Može imati hidrofilna ili hidrofobna svojstva. Primjenjuje se još kao univerzalno sredstvo za zgušnjavanje i protiv zgrušavanja [15].

### 3. EKSPERIMENTALNI DIO

#### 3.1. Priprema uzoraka

Uzorci za potrebe ovog istraživanja bili su izrađeni od sjajnog (nadalje uzorci Gloss) i mat (nadalje uzorci Mat) premazanog papira za umjetnički tisak proizvođača UPM, trgovačkog naziva *Finesse silk* i *Finesse gloss*, gramature 300 g/m<sup>2</sup>. Otiskivanje je provedeno coldset ofsetnim procesnim bojama (CMYK), proizvedene od *SunChemical* (USA), trgovačkog naziva *SunLit Express*. Uređaj na kojem se provodilo probno otiskivanje bio je Pruefbau MZ II, brzine tiska od 1 m/s, vremenom razribavanja 30 s i nanosom na tiskovnu formu u 30 ciklusa. Količina boje koja se stavila u razribači dio bila je 0,12 cm<sup>3</sup>.

Prilikom lakiranja korišten je sjajni flexo vodeni lak sa različitim masenim udjelom silicijevog oksida: 0% – bez dodatka nanočestica, 0,75%, 1,5% i 2,3%. Određivanje mase laka i nanočestica izvršeno je pomoću analitičke vage Mettler Toledo XS205 DU. Komponente su miješane magnetnom mješalicom 2,5 sata na 1000 rpm (engl. *revolutions per minute*) na sobnoj temperaturi.

##### 3.1.1. Određivanje slobodne površinske energije

###### 3.1.1.1. Određivanje slobodne površinske energije pomoću goniometra

Goniometrom je omogućena statička i dinamička karakterizacija tekućih ili čvrstih međudjelovanja, te mjerenja kontaktnih kuteva tekućina pomoću različitih metoda. Goniometar preko videosustava projicira sliku kapljice na zaslon računala, te određuje poziciju kapljice s točnošću od  $\pm 1$  mm. Točnost videosustava je po specifikacijama također  $\pm 1$  mm. Kut močenja može se odrediti računalno, pomoću metode Wilhelmy ploče ili pomoću Sessile drop metode, te može varirati od 0 do 180 °, računajući oscilaciju video sistema od  $\pm 1$  mm [16].

Elektroničkim putem kontrolira se doziranje tekućine na zadani uzorak, dok se pozicioniranje uzorka softverski kontrolira za smjer po y i z osi, a ručno u smjeru x osi. Kvalitetna snimka procesa kvašenja dobivena je zahvaljujući visokokvalitetnom sustavu leća i video sustavu velike brzine s CCD kamerom.

Za provedbu ovog istraživanja na svakom uzorku je mjereno po 10 kapi aplikacijom diiodometana, glicerola, vode i formamida kao referentnih tekućina.

### 3.1.1.2. OWRK metoda

Owensova, Wendtova, Rabelova i Kaelbleova (OWRK) metoda je standardna metoda za izračun površinske slobodne energije krutine pomoću određivanja kontaktnog kuta. Pri tome se slobodna energija površine dijeli na polarni dio i disperzni (nepolarni) dio [17].

Prema Youngovoj jednadžbi, postoji odnos između kontaktnog kuta  $\theta$ , površinske napetosti tekućine  $\sigma_l$ , međufazne napetosti  $\sigma_{sl}$  između tekućine i krutine i površinske slobodne energije  $\sigma_s$  krutine:

$$\sigma_s = \sigma_{sl} + \sigma_l \cdot \cos\theta \quad (2)$$

Da bismo mogli izračunati slobodnu površinsku energiju iz kontaktnog kuta, treba odrediti drugu nepoznatu varijablu  $\sigma_{sl}$ .

Na temelju Fowkes-ove metode izračunava se međufazna napetost  $\sigma_{sl}$  na temelju dvije površinske napetosti  $\sigma_s$  i  $\sigma_l$ , i sličnih interakcija između faza. Ove interakcije tumače se kao geometrijska sredina disperznog dijela  $\sigma^D$  i polarnog dijela  $\sigma^P$  površinske napetosti ili površinske slobodne energije:

$$\sigma_{sl} = \sigma_s + \sigma_l - 2(\sqrt{\sigma_s^D \cdot \sigma_l^D} + \sqrt{\sigma_s^P \cdot \sigma_l^P}) \quad (3)$$

Jednadžbu su dobili Owens i Wendt upotrebom jednadžbe za površinsku napetost i uvrštavanjem iste u Youngovu jednadžbu., te dobili rješenje za kontaktni kut na granici dvaju faza.

Kaelble je jednadžbu riješio kombinirajući dvije tekućine i računajući srednje vrijednosti dobivenih vrijednosti površinske napetosti.

Rabel računa polarni i disperzni dio površinske napetosti pomoću male digresije s kontaktnog kuta – kombinirao je jednadžbe njihovog zbroja s linearnom jednadžbom koja opisuje pravac  $y = mx + b$  te dobio:

$$\frac{(1+\cos\theta)\cdot\sigma_l}{2\sqrt{\sigma_L^D}} = \sqrt{\sigma_S^P \cdot \sqrt{\frac{\sigma_L^P}{\sigma_L^D}} + \sqrt{\sigma_S^D}} \quad (4)$$

OWRK metoda koristi se pri istraživanju učinka polarnih i disperznih interakcija na močljivost i adheziju. Konkretno, kontakt između površina različitog polariteta i učinak promjene polariteta, na primjer premazivanjem ili plazma obradom, može se procijeniti i optimizirati pomoću OWRK metode - u postupcima kao što su bojanje, tiskanje, lijepljenje i hidrofobno ili hidrofilno premazivanje [17].

Izračun slobodne površinske energije proveden je pomoću računalnog programa Dataphysics' SCA20. Izračun je izvršen upisivanjem srednjih vrijednosti kontaktnih kuteva apliciranih referentnih tekućina.

### 3.1.2. Spektrofotometrijska mjerenja

Spektrofotometrija je kvantitativno mjerenje refleksijskih ili prijenosnih svojstava materijala kao funkcije valne duljine. Spektrofotometrija koristi fotometre, poznate kao spektrofotometri, koji mogu mjeriti intenzitet svjetlosnog snopa kao funkciju njegove boje (valne duljine). Važna svojstva spektrofotometra su spektralna širina (raspon boja koje se mogu prenositi kroz ispitni uzorak), postotak prijenosa uzorka, logaritamski raspon apsorpcije uzorka, a ponekad i postotak mjerenja refleksije.

Spektrofotometar se uobičajeno koristi za mjerenje transmisije ili refleksije otopina, prozirnih ili neprozirnih krutina, kao što je polirano staklo ili plinova. Iako su mnoge biokemikalije obojene, one apsorbiraju vidljivu svjetlost i stoga se mogu mjeriti kolorimetrijskim postupcima, čak se i bezbojne biokemikalije često mogu pretvoriti u obojene spojeve pogodne za kromogene reakcije nastajanja boja da bi se dobili spojevi prikladni za kolorimetrijsku analizu. Međutim, oni se također mogu dizajnirati za mjerenje difuznosti na bilo kojem od navedenih svjetlosnih raspona koji obično pokrivaju oko 200nm - 2500nm koristeći različite kontrole i kalibracije [21]. Unutar tih raspona svjetlosti, kalibracije su potrebne na stroju koristeći standarde koji se razlikuju ovisno o valnoj duljini fotometrijskog određivanja [22].

Rad uređaja temelji se na rastavljanju bijelog svjetla na pojedinačne valne dužine pomoću monokromatora (prizma ili optička rešetka). Njima se osvjetljava ispitivani uzorak boje i bijeli standard (najčešće magnezij-oksidi). Postupak se provodi redom s monokromatskim svjetlima duž čitavog spektra. Reflektirano svjetlo dolazi do fotoćelije, koja ih pretvara u električne impulse. Impulsi se dalje preračunavaju tako da se na skali mogu očitati faktor refleksije ili transmisije, pri određenoj valnoj dužini, u odnosu na bijeli standard. Kao grafički prikaz mjerenja dobije se spektrofotometrijska krivulja. Spektrofotometrijska krivulja (podražajna funkcija) je najvažniji podatak kolorimetrije. Ona jednoznačno određuje boju na taj način da dvije boje s jednakom podražajnom funkcijom, pod jednakim uvjetima promatranja, standardni promatrač doživljava kao jednake. Takve dvije boje nazivaju se bezuvjetno jednakima. Dvije boje koje promatrač doživljava kao jednake, a imaju različitu podražajnu funkciju nazivaju se metamerima ili uvjetno jednakima [23].

Postoje tri načina mjerenja spektrofotometrom:

1. sferno - svjetlost je jednolično raspršena (difuzna) unutar sfere (unutrašnjost je obojana bijelom bojom, barijev sulfat). Pri mjerenju može uzeti u obzir sjajnost. Izbor kad je uzorak teksturiran, grub, hrapav ili pak jako sjajan.
2. 0/45 ili 45/0 - svjetlost na uzorak dolazi samo s jedne strane. Mjeri boju na način na koji bi je vidjelo (doživjelo) ljudsko oko. U mjerenju zanemaruje sjaj.
3. multi-angle - najnoviji način koji se koristi za mjerenje specijalnih boja (autoindustrija) [24].

Za određivanje utjecaja lakiranja na spektrofotometrijske vrijednosti primarnih boja, otisci su mjereni prije i poslije aplikacije lakova te je izračunata kolorimetrijska razlika pomoću formule:

$$\Delta E^*_{ab} = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

### 3.1.3. Određivanje otpornosti na otiranje

Temeljni dio uređaja čine dva diska različitih polumjera, koji su cijelom površinom u dodiru. Pogonjeni elektromotorom diskovi rotiraju istim kutnim brzinama. Tijekom ispitivanja se ispitivani uzorak (otisak) i bijeli ofsetni papir nalaze na diskovima, a tlak među njima regulira se postavljanjem utega različitih masa na gornji disk. Boja koja se uslijed trljanja skida s površine otiska prenosi se na bijeli ofsetni papir.

Cijev s dovodom zraka skida čestice prašine s uzorka tijekom ispitivanja. Nakon određenog broja otiranja/okretaja, uređaj se zaustavlja. Uzorke/otiske i papire za otiranje nakon otiranja vizualno se procjenjuju kako bi odredili da li je otpornost na otiranje zadovoljavajuća ili ne. Procjena se obavlja usporedbom prijenosa tiskarske boje s ispitivanog uzorka/otiska na ofsetni papir za otiranje. Uzorku/otisku najveće otpornosti na otiranje dodjeljuje se ocjena 1, a uzorku/otisku najmanje otpornosti na otiranje ocjena 5 [19].

Evaluacija otiranja izvodi se prema kriteriju:

(1) neprimjetno otiranje otisaka, (2) male naznake otiranja otisaka, (3) vidljivo otiranje otisaka, (4) izraženo otiranje otisaka, (5) vrlo izraženo otiranje otisaka.

### 3.1.4. Određivanje otpornosti na kidanje

Uzorci na kojima se ispituje otpornost prema kidanju režu se iz araka u uzdužnom i poprečnom smjeru. Rubovi epruvete moraju biti paralelni i ne smiju imati nikakva nikakva oštećenja.

Pokus kidanja služi za određivanje otpornosti prema kidanju (kp; N), prekidnog rastezanja (%; mm) čije vrijednosti se očitavaju na uređaju. Ostale veličine, kao što su prekidna jakost papira i indeks kidanja, određuju se računski iz izmjerenih vrijednosti. Test se provodi na uređaju koji se zove kidalica. Uzorci za ispitivanje pričvršćuju se na dvije hvataljke koje se uključivanjem uređaja počinju udaljavati jedna od druge sve do momenta kidanja ispitivanog uzorka. Kidalica registrira silu na vlak potrebnu da dođe do kidanja ispitivane trake papira. papira. Ta sila se naziva prekidna sila i izražava se u kp (kilopond) ili N (njutn) [20].

Uzorci otisaka i lakiranih otisaka (epruvete) izrezani su na definiranu veličinu te su provedeni pokusi kidanja. Sve epruvete su bile rezane u uzdužnom smjeru (smjer toka vlakana).

### 3.1.5. Gravimetrijska evaluacija prijenosa tiskarske boje

Da bi se procijenio prijenos tiskarske boje na papirnu podlogu provelo se određivanje mase valjka za nanos tiskarske boje na uređaju za probno otiskivanje prije i poslije izvršenog otiskivanja. Razlika dviju masa je masa boje koja je prenesena otiskivanjem. Nadalje, obzirom na poznatu površinu otiska može se odrediti masa filma boje po površini:

$$M = \frac{(G_1 - G_2)}{A} \quad (6)$$

gdje je  $G_1$  masa valjka za nanos prije otiskivanja,  $G_2$  masa valjka za nanos poslije otiskivanja i  $A$  površina otiska.

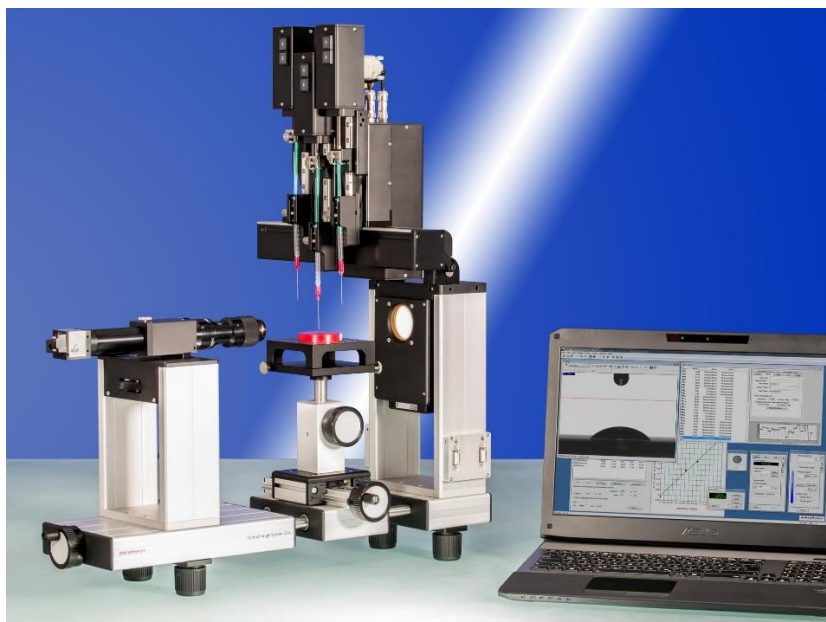
## 3.2. Korišteni mjerni uređaji

### 3.2.1. Dataphysics OCA 30 goniometar

OCA 30 je univerzalni mjerni uređaj za mjerenje kontaktnog kuta i analizu oblika kapljica. OCA 30 goniometar omogućuje statičku i dinamičku karakterizaciju tekućih/čvrstih međudjelovanja, te mjerenje kontaktnog kuta tekućina različitim metodama (otopina za vlaženje, bojilo, otapala,...).

Radna podloga OCA 30 goniometra može se podesiti duž sva tri smjera u prostoru pomoću preciznih osi s ručnim kotačićima. Stoga je uvijek zajamčeno brzo i točno ručno pozicioniranje uzorka.





**Slika 9.** Dataphysics OCA 30 goniometar

(Izvor: <https://www.dataphysics-instruments.com/us/products/oca/>)

Tehničke značajke: - kontaktni kut:  $0^{\circ}$ - $180^{\circ}$ ;  $\pm 0.1^{\circ}$

- napetost površine:  $10^{-2} - 2 \cdot 10^3$  mN/m;  $\pm 0.01$  mN/m

- USB-CCIR kamera: 768x576 piksela

- FOV: 1,32x0,99 – 8,50x6,38 mm

- integrirani termometar:  $-60$ - $700$  °C

- dimenzije: 660x230x365 mm

- težina: 18 kg

[27]

### 3.2.2. X-Rite eXact

Spektrofotometar eXact služi za spektrofotometrijska i kolorimetrijska mjerenja na širokom rasponu različitih materijala od papira do tekstila.

Spektrofotometar eXact posebno je dizajniran kako bi se osigurala validacija CMYK boja i tinti u boji, i također koristi industrijske standarde za boje kako bi obavio zadaću povećane kontrole procesa tiska.



**Slika 10.** Spektrofotometar X-Rite eXact

(Izvor: <https://www.xrite.com/categories/portable-spectrophotometers/exact>)

Tehničke značajke: - raspon valnih duljina: 400-700nm

- raspon mjerenja: 0-200% reflektancija
- brzina mjerenja: 2s
- optička razlučivost: 10nm
- geometrija 45°/0°
- standardni promatrač: 2°/10°
- mjerna površina: Ø1.5, Ø2, Ø4 i Ø6mm
- standard: ISO 13655:2009
- USB 2.0

[27]

### 3.2.3. Hanatek Rub and Abrasion Tester

Hanatek tester za trenje rubova i abrazije donosi nove razine ponovljivosti i praktičnosti za ispitivanje trajnosti tinte i premaza na bilo kojem tiskanom materijalu. Uređaj je namijenjen ispitivanju otpornosti otisaka (boja, premaza) na otiranje i struganje (abraziju). Ispitivanje je moguće provesti na otiscima otisnutim na različitim materijalima.

Ovo usporedno ispitivanje djeluje brušenjem tiskanog uzorka na referentni materijal pod poznatim uvjetima.

Rezultati se mogu koristiti za identifikaciju alternativnih podloga, bolju formulaciju tinte i premaza ili prikladnost gotovih kartona, filmova ili tiskanih knjiga, časopisa i promotivnih materijala.



**Slika 11.** Hanatek Rub and Abrasion tester

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

Tehničke značajke: - standard: BS 3110

- utezi: 0.5, 1.0 i 2.0 psi

- brzina: 60 rpm

- težina: 10 kg

[27]

### 3.2.4. Analitička vaga Mettler Toledo XS205DU Dual Range Analytic Scale

Precizna analitička vaga koja omogućuje mjerenje u rasponu od 0 do 220 g, s preciznošću od 0,01 mg/ 0,1 mg.



**Slika 12.** Mettler Toledo XS205DU Dual Range Analytic Scale

(Izvor:

[https://www.mt.com/nz/en/home/products/Laboratory\\_Weighing\\_Solutions/Analytical/Excellence/XS\\_Analytical\\_Balance/XS205DU.html](https://www.mt.com/nz/en/home/products/Laboratory_Weighing_Solutions/Analytical/Excellence/XS_Analytical_Balance/XS205DU.html))

Tehničke značajke: - mjerni raspon: 0 – 81 g / 0 – 220 g

- rezolucija: 0,01 mg / 0,1 mg

- ponovljivost: 0,02 mg / 0,05 mg

- linearnost: 0,2 mg

- automatska interna kalibracija (temperaturno kontrolirana)

- RS232

[27]

### 3.2.5. Frank kidalica

Uzorci za ispitivanje pričvršćuju se na dvije hvataljke koje se uključivanjem uređaja počinju udaljavati jedna od druge sve do momenta kidanja ispitivanog uzorka.

Kidalica registrira silu na vlak potrebnu da dođe do kidanja ispitivane trake papira. Ta sila se naziva prekidna sila i izražava se u kp\* (kilopondima) ili N. Prekidna sila djeluje na uzorak jednodimenzionalno.

Ispitivanje se provodi prema standardima:

TAPPI: T 404 cm – 92 Tensile breaking strength and elongation of paper and paperboard i HRN ISO 1924-1: Papir i karton – Određivanje vlačnih svojstava – 1. dio: Metoda stalnog opterećenja (ISO 1924-1:1992) [20].



**Slika 13.** Frank kidalica

(Izvor: Sirutka Š., Karakterizacija kraft papira za izradu papirnatih ambalažnih vreća, diplomski rad, 2013.)

## 4. REZULTATI I RASPRAVA

### 4.1. Prijenos tiskarske boje

U tablici 2. prikazane su vrijednosti mase prenesene boje na tiskovnu podlogu. Možemo primijetiti kako se više boje prenosi, a time i potroši u otiskivanju na mat papir u odnosu na sjajni papir za sve korištene boje. Najmanja potrošnja boje se može očekivati kod otiskivanja magente na gloss papir, dok će se najviše boje potrošiti otiskivanjem crne na mat papir.

**Tablica 2.** Količina prijena boje na tiskovnu podlogu

	Mat	Gloss
Cyan	8,70 ± 1,06 mg	8,77 ± 1,41 mg
Magenta	9,83 ± 0,86 mg	8,62 ± 1,50 mg
Žuta	9,74 ± 1,09 mg	9,08 ± 1,35 mg
Crna	10,13 ± 0,89 mg	9,08 ± 1,35 mg

Obzirom da je prijenos boje pored pritiska u tisku i posljedica površinskih svojstava papira, mat papir ima neravnine koje uzrokuju raspršenu refleksiju svjetla te postiže mat efekt, ali istovremeno uzrokuje i veći prijenos boje. Dobiveni rezultati se trebaju uzeti u obzir kad se planira neki posao.

### 4.2. Slobodna površinska energija otisaka

Tablica 3. sadrži izmjerene vrijednosti slobodne površinske energije (SFE, engl. *Surface Free Energy*) korištenog laka na otiscima izrađenim na mat i gloss podlozi. Iz izračunatih vrijednosti može se primijetiti da za razliku od prijena boje, papirna podloga nema značajnu ulogu u slobodnoj površinskoj energiji otiska već je ona zavisna o otisnutoj boji. Dodatno, može se primijetiti da su sve boje osim magente dominantno disprzne.

Navedeni rezultati ukazuju na značajnu ulogu otisnutog filma boje na adheziju lakova ili drugih sredstava za oplemenjivanje.

**Tablica 3.** Tablični prikaz vrijednosti slobodne površinske energije [mN/m]

	Mat			Gloss		
	Ukupna SFE	Disperzna faza	Polarna faza	Ukupna SFE	Disperzna faza	Polarna faza
Cyan	27,15	22,49	4,66	27,73	23,37	4,36
Magenta	29,5	6,92	22,58	31,08	7,09	23,99
Žuta	26,12	19,14	6,98	26,23	15,01	11,22
Crna	23,66	14,73	8,93	26,73	23,15	3,58

#### 4.3. Kolorimetrijske razlike između otisaka

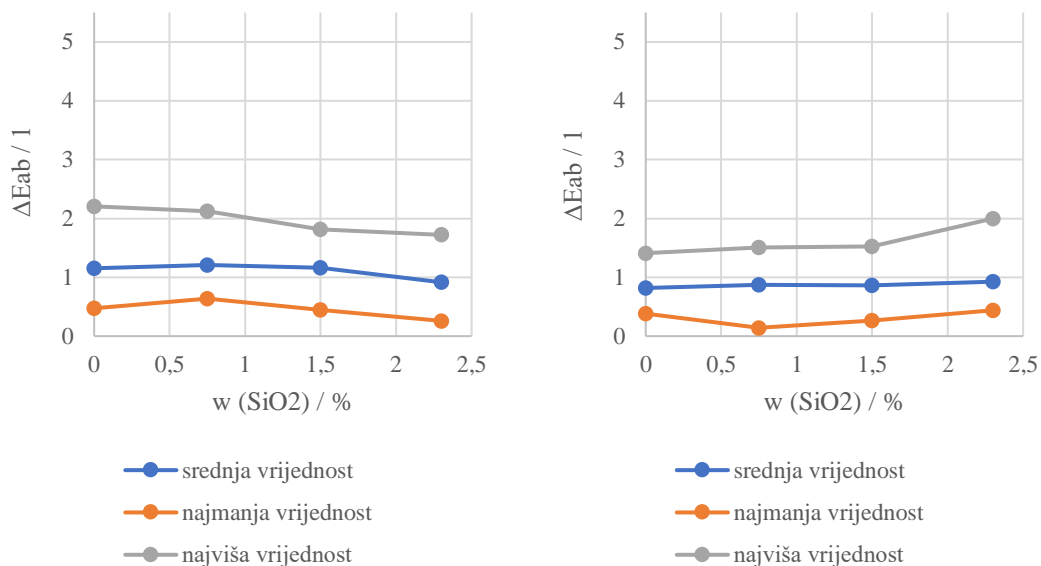
U tablici 4. prikazane su kolorimetrijske vrijednosti za mat i gloss papire, koji su otisnuti sa cyan, magenta, žutom i crnom (CMYK) bojom. Oznaka  $\Delta E$  predstavlja kolorimetrijsku razliku izračunatu pomoću formule (5), a koja definira matematičku razliku između dviju boja u CIE  $L^*a^*b^*$  sustavu – koordinata za dva položaja boja (referentnog i uspoređivanog). Pomoću kolorimetrijske razlike moguće je opisati kvalitetu reprodukcije, odnosno pokazati odstupanje reprodukcije od originala. Odstupanje se može ocjeniti numeričkim vrijednostima, što je kolorimetrijska razlika bliža vrijednosti 0, to je odstupanje manje, i obratno. Standardiziranje ofsetnog tiska [29] je definiralo prihvatljivost otiskivanja procesnih boja ako je razlika u boji od definiranog standarda, no razlika u boji je vidljiva ako je  $\Delta E$  veće od 2 [30]. Iz tablica možemo uočiti kako je najmanje odstupanje boja između nelakiranog i lakiranog otiska na gloss papiru otisnutom cyan bojom (vrijednost  $\Delta E=0,0142125$ , koncentracija  $SiO_2=0,75$ ), dok najveće odstupanje boja izmjereno kod mat papira otisnutog žutom bojom (vrijednost  $\Delta E=5,197388$ , koncentracija  $SiO_2=2,3$ ). Po bojama općenito najmanje odstupanje ima cyan boja otisnuta na mat papiru, dok najveće odstupanje ima žuta boja na mat papiru.

**Tablica 4.** Tablični prikaz kolorimetrijske razlike otisaka

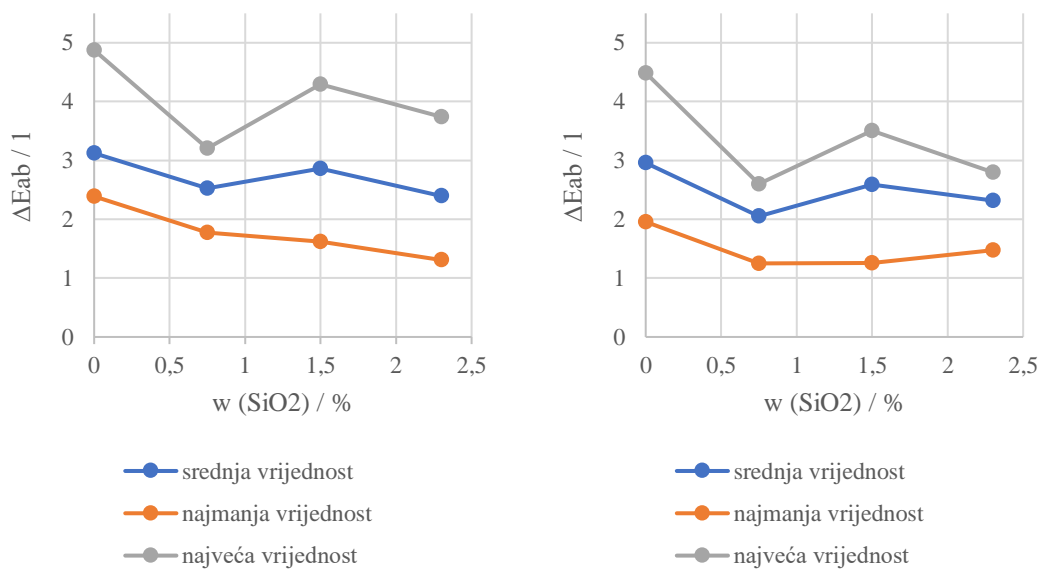
Koncentracija SiO <sub>2</sub>	Boja	Mat	Gloss
0	Cyan	1,156 ± 0,600	0,819 ± 0,341
	Magenta	3,124 ± 0,845	2,959 ± 0,752
	Žuta	2,750 ± 1,177	1,179 ± 0,722
	Crna	2,623 ± 0,976	1,719 ± 1,247
0,75	Cyan	1,209 ± 0,465	0,870 ± 0,460
	Magenta	2,527 ± 0,401	2,051 ± 0,467
	Žuta	2,750 ± 1,177	1,179 ± 0,722
	Crna	2,079 ± 1,146	1,868 ± 0,857
1,5	Cyan	1,165 ± 0,509	0,859 ± 0,347
	Magenta	2,865 ± 0,714	2,587 ± 0,757
	Žuta	1,926 ± 0,982	1,146 ± 0,787
	Crna	1,959 ± 1,359	1,838 ± 0,942
2,3	Cyan	0,916 ± 0,440	0,926 ± 0,460
	Magenta	2,396 ± 0,745	2,320 ± 0,489
	Žuta	1,923 ± 1,395	1,597 ± 1,151
	Crna	1,241 ± 0,637	1,567 ± 1,250

Na slikama 14. – 17. su prikazane zavisnosti razlike u boji između lakiranog i nelakiranog otiska u odnosu na maseni udio SiO<sub>2</sub>. U grafičkim prikazima su definirane srednje, najmanje i najveće vrijednosti izmjerene na uzorcima. Iz grafičkih prikaza može se uočiti kako koncentracija SiO<sub>2</sub> kod cyan i magenta boja na mat i gloss papiru bitno ne utječe na kolorimetrijsku razliku između uzoraka, tj. Može se primijetiti minimalno smanjenje razlike s povećanjem koncentracije SiO<sub>2</sub>. Najveće odstupanje boja se može primijetiti kod magente, žute i crne boje, gdje vrijednosti dE kod mat papira dolaze do maksimalnih vrijednosti oko 5, dok kod gloss papira oko vrijednosti 4. Dodatno, vidljivo je da na cyan uzorcima na obje tiskovne podloge nema vidljivih promjena, dok kod ostalih boja (izuzetak crna na glos papiru) su razlike uočljive ( $\Delta E$  veće od 2).

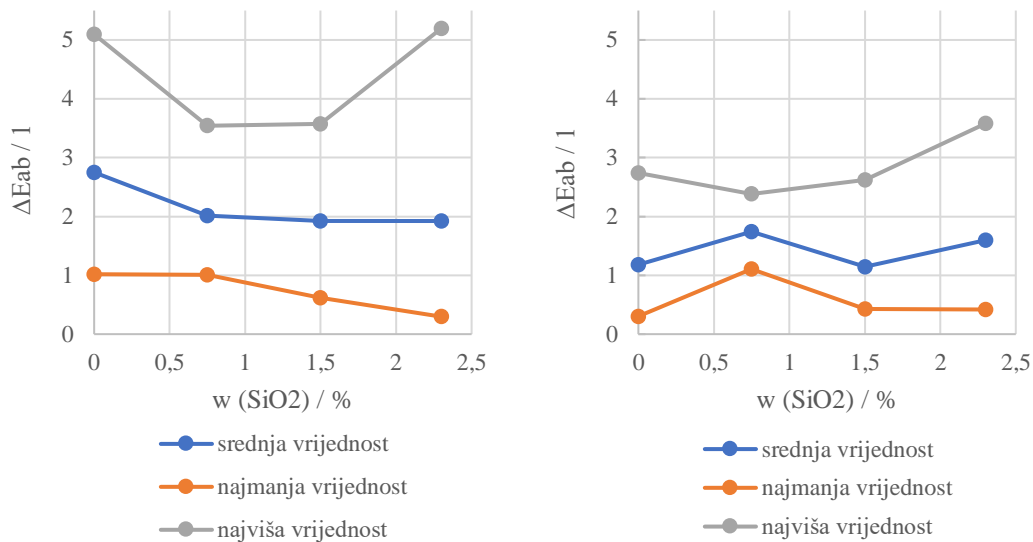




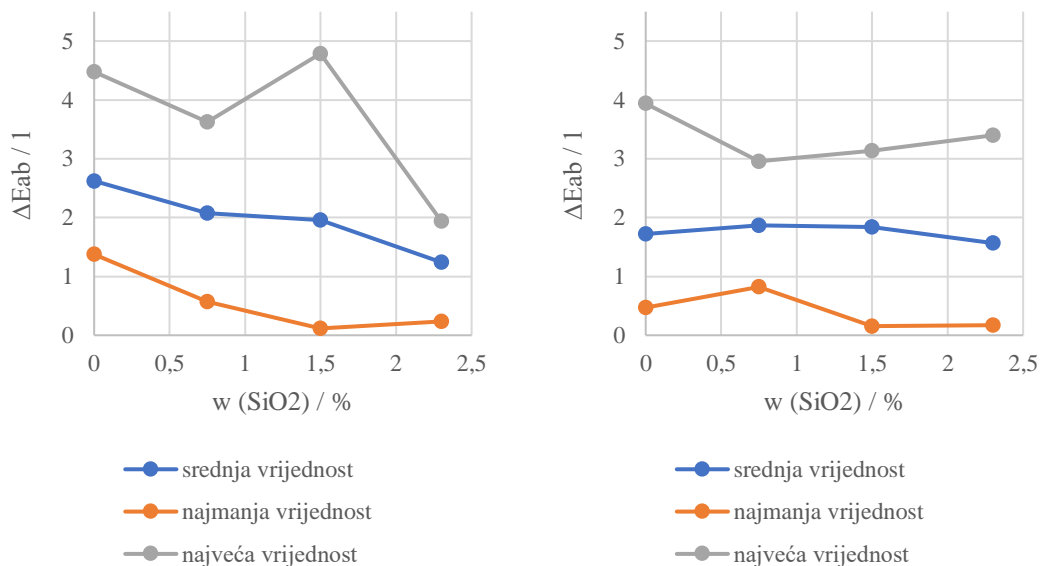
**Slika 14.** Grafički prikaz ovisnosti kolorimetrijske razlike ( $\Delta E_{ab}$ ) o masenom udjelu  $\text{SiO}_2$  za cyan boju na mat papiru (lijevo) i sjajnom papiru (desno)



**Slika 15.** Grafički prikaz ovisnosti kolorimetrijske razlike ( $\Delta E_{ab}$ ) o masenom udjelu  $\text{SiO}_2$  za magenta boju na mat papiru (lijevo) i sjajnom papiru (desno)



**Slika 16.** Grafički prikaz ovisnosti kolorimetrijske razlike ( $\Delta E_{ab}$ ) o masenom udjelu  $\text{SiO}_2$  za žutu boju na mat papiru (lijevo) i sjajnom papiru (desno)



**Slika 17.** Grafički prikaz ovisnosti kolorimetrijske razlike ( $\Delta E_{ab}$ ) o masenom udjelu  $\text{SiO}_2$  za crnu boju na mat papiru (lijevo) i sjajnom papiru (desno)

#### 4.4. Rezultati otiranja

Otiranje je provedeno na otiscima bez laka te su rezultati pokazali da na pripremljenim uzorcima nema vidljivog otiranja. Obzirom na dobiveni rezultat nije bilo potrebno nastaviti ispitivanje obzirom da je poznato da lakovi i premazi dodatno štite otisak od otiranja [28].

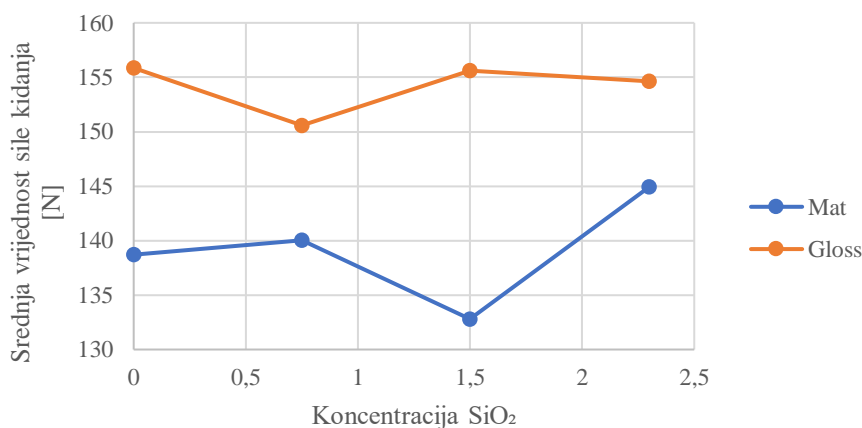
#### 4.5. Rezultati otpornosti na kidanje

Iz tablice 5. u kojoj su prikazani vrijednosti otpornosti mat i gloss papira na kidanje može se uočiti kako s apliciranjem premaza dolazi do povećanja vrijednosti sile koja je potrebna da dođe do kidanja uzorka papira. Kod mat papira koji su premazani flexo vodenim lakom, porast potrebne sile za kidanje raste za približno 7,252 N, dok kod gloss papira koji su premazani flexo vodenim lakom, ta sila raste za 5,486 N. Najmanja sila koja je potrebna kako bi došlo do kidanja uzorka je određena kod mat papira otisnutog cyan bojom i premazom koncentracije  $\text{SiO}_2=1,5$  u iznosu od 132,803 N. Najveća sila za kidanje uzorka određena je kod gloss papira otisnutog magenta bojom i premazom koncentracije  $\text{SiO}_2=0$  u iznosu od 157,058 N.

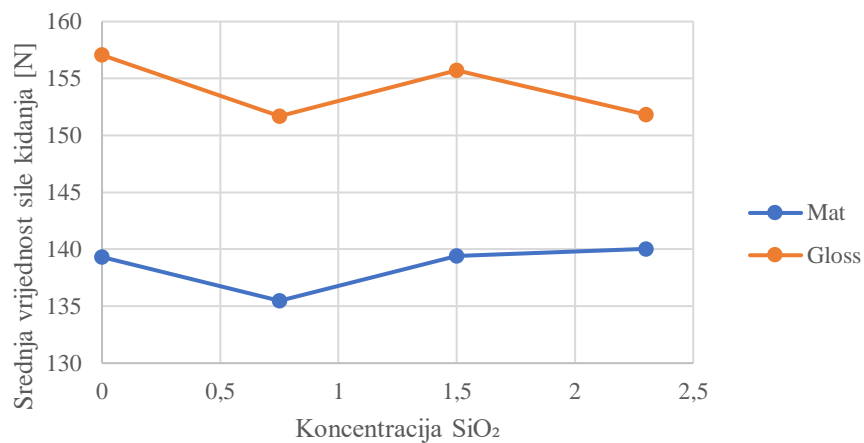
**Tablica 5.** Tablični prikaz otpornosti mat i gloss papira na kidanje

Koncentracija SiO <sub>2</sub>	Boja	Mat	Gloss
		Sila [N]	
Bez premaza	Cyan	127,8979 ± 7,507	152,055 ± 3,491
	Magenta	130,1051 ± 2,243	147,0274 ± 2,607
	Žuta	134,8875 ± 2,832	144,4523 ± 6,919
	Crna	137,0948 ± 7,181	149,7251 ± 1,290
0	Cyan	138,7134 ± 4,514	155,8564 ± 6,979
	Magenta	139,302 ± 5,845	157,0581 ± 2,004
	Žuta	144,4032 ± 3,152	154,5075 ± 4,509
	Crna	138,027 ± 11,734	155,979 ± 9,914
0,75	Cyan	140,038 ± 7,270	150,584 ± 8,496
	Magenta	135,476 ± 5,910	151,687 ± 5,555
	Žuta	140,774 ± 4,045	142,981 ± 19,296
	Crna	142,981 ± 0,939	156,470 ± 3,904
1,5	Cyan	132,803 ± 5,150	155,611 ± 4,927
	Magenta	139,425 ± 4,728	155,734 ± 3,893
	Žuta	142,858 ± 3,635	156,102 ± 2,843
	Crna	141,019 ± 4,035	154,753 ± 5,455
2,3	Cyan	144,943 ± 6,464	154,630 ± 4,927
	Magenta	140,038 ± 3,526	151,810 ± 6,120
	Žuta	138,321 ± 2,157	154,753 ± 4,913
	Crna	136,850 ± 6,914	152,300 ± 3,214

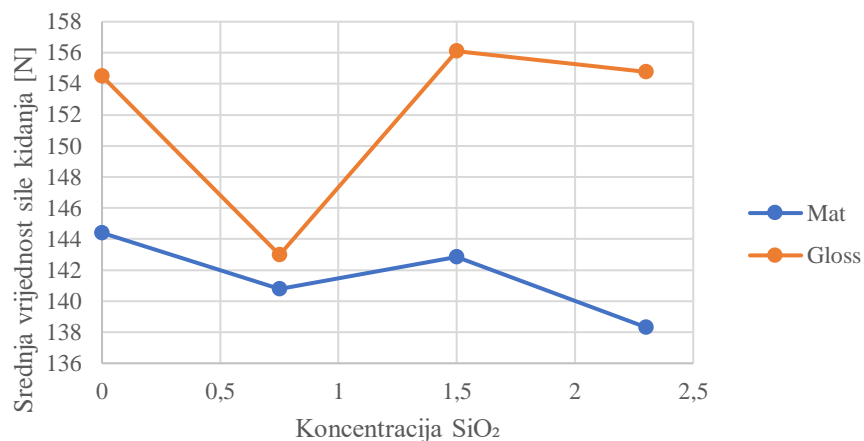
Iz grafičkih prikaza na slikama 18.,19.,20. i 21., možemo uočiti kako gloss papir bez obzira na koncentraciju SiO<sub>2</sub> u premazu laka uvijek ima veću otpornost na kidanje, tj. potrebna je veća sila kako bi pokidala uzorak, a ta sila iznosi oko 153,801 N, dok kod mat papira ta sila potrebna za kidanje uzorka iznosi 139,748 N.



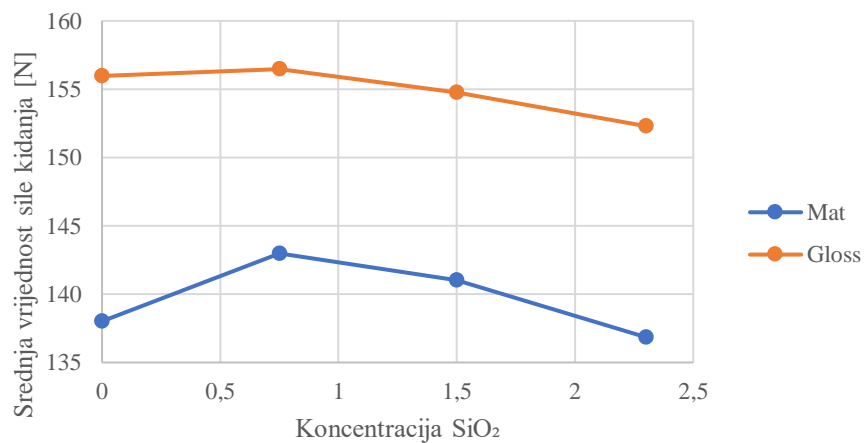
**Slika 18.** Grafički prikaz otpornosti mat i gloss papira na kidanje za cyan boju



**Slika 19.** Grafički prikaz otpornosti mat i gloss papira na kidanje za magenta boju



**Slika 20.** Grafički prikaz otpornosti mat i gloss papira na kidanje za žutu boju



**Slika 21.** Grafički prikaz otpornosti mat i gloss papira na kidanje za crnu boju

## 5. ZAKLJUČAK

Cilj ovog rada bio je odrediti i pojasniti utjecaj svojstava otisaka na prijenos zaštitnih lakova, odnosno premaza te kako navedeno oplemenjivanje otisaka utječe na njihova svojstva. Za provedbu ovog istraživanja pripremljeni su otisci primarnih boja na mat i sjajni papir za umjetnički tisak. Oplemenjeni otisci su karakterizirani određivanjem spektrofotometrijskih koordinata, otiranja i kidanja pripremljenih uzoraka. Iz rezultata se mogu izvesti sljedeći zaključci:

- oplemenjivanjem ofsetnih coldset otisaka s flexo vodenim lakom uzrokuje određenu promjenu na kvalitetu reprodukcije i mehanička svojstva otisnutih papira
- oplemenjivanje otisaka ima najmanji utjecaj na kolorimetrijske vrijednosti cyana, a najveći na vrijednosti žute boje
- oplemenjivanje otisaka utječe više na kolorimetrijske vrijednosti otisaka mat papira u odnosu na otiske na sjajnom papiru

Oplemenjivanje otisaka značajno utječe na otpornost materijala na kidanje, tj. oplemenjeni otisci imaju veću otpornost na kidanje od neoplemenjenih.

Ovo istraživanje je pokazalo da oplemenjivanje otisaka ima značajan utjecaj na kolorimetrijske vrijednosti procesnih boja te mehanička svojstva otisaka. Istovremeno nije primjećeno da promatrani spektar masenog udjela nanočestica  $\text{SiO}_2$  značajno utječe na promjenu kolorimetrijskih ili mehaničkih svojstava te se stoga preporuča koristiti najmanju istraživanu koncentraciju, a dodatno provesti istraživanje koje će obuhvatiti i niže udjele čestica  $\text{SiO}_2$ .

## 6. POPIS LITERATURE

- [1] <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=44816> (pristup: 3.5.2019.)
- [2] Igor Majnarić, Kristijan Golubović, Deni Macanić.; Utjecaj efekta lakiranja na optička svojstva ofsetnih otisaka
- [3] Bolanča S. ; Suvremeni ofsetni tisak, Školska Knjiga, Zagreb, 1991.
- [4] Walenski W.; Offsetdruck, Polygraph Verlag GmbH, Frankfurt am Main,1991.
- [5] Kiphan H.; Hand Book of Print Media, Springer, Berlin, 25-750, 2001.
- [6] Curaković M., Gvozdrenović J.J., Lazić V.L. (1998). Uloga papirne i kartonske ambalaže u pakovanju prehrambenih proizvoda, Savremeno pakovanje, Beograd
- [7] Macinić D. ; Utjecaj efekta lakiranja na optička svojstva otisaka, završni rad, Grafički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2011.
- [8] Adrijano Golubović; Tehnologija izrade i svojstva papira,Viša grafička škola Zagreb, 1973.
- [9] [http://zastita.info/hr/clanak/2007/7/tisak-s-dodanom-vrijednoscu-u-svakoj-dimenziju-\\_value-added-printing-in-every-dimension,67,2003.html](http://zastita.info/hr/clanak/2007/7/tisak-s-dodanom-vrijednoscu-u-svakoj-dimenziju-_value-added-printing-in-every-dimension,67,2003.html) (pristup: 24.5.2019.)
- [10] Strižić Jakovljević M.; Termokromne tiskarske boje na bazi tekućih kristala, doktorski rad, Grafički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2018.
- [11] <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=46541> (pristup: 4.5.2019.)
- [12] B. Thompson; Printing Materials: Science and Technology (2nd edition), Pira International, Leatherhead, UK, 2004.
- [13] Macinić D.; Utjecaj lakiranja na mehanička svojstva ambalaže, diplomski rad, Grafički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2013.
- [14] Decker, C.; Linked by light – Advances in the UV-curing of organic Coatings, European Coating Journal, Seiten 28-32, 2005.
- [15] Bota J.;Optimizacija svojstava premazane kartonske ambalaže s obzirom na oblikovanje, doktorski rad, Grafički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2017.

- [16] <https://www.dataphysicsinstruments.com/?action=document&invisible=1&id=920> (pristup: 18.6.2019.)
- [17] <https://www.kruss-scientific.com/services/education-theory/glossary/owens-wendtrabel-and-kaelble-owrk-method/> (pristup: 18.6.2019.)
- [18] <http://materijali.grf.unizg.hr/media/vjezba%203.pdf> (pristup: 18.6.2019.)
- [19] [http://materijali.grf.unizg.hr/media/otiranje\\_vjezba%205.pdf](http://materijali.grf.unizg.hr/media/otiranje_vjezba%205.pdf) (pristup: 18.6.2019.)
- [20] <http://materijali.grf.unizg.hr/media/vjezba%204.pdf> (pristup: 18.6.2019.)
- [21] <https://www.nist.gov/programs-projects/spectrophotometry> (pristup: 19.6.2019.)
- [22] Schwedt, Georg.; (1997). The Essential Guide to Analytical Chemistry
- [23] Hećimović N.; Primjena UV filtriranja kod spektrofotometrijskog mjerenja, završni rad, Grafički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2017.
- [24] [http://repro.grf.unizg.hr/media/download\\_gallery/OSNOVE%20O%20BOJI%203.dio.pdf](http://repro.grf.unizg.hr/media/download_gallery/OSNOVE%20O%20BOJI%203.dio.pdf) (pristup: 19.6.2019.)
- [25] White i LeBlanc, 1999; Seeboth et al., 2007; Seeboth i Löttsch, 2008; Kulčar, 2010.
- [26] <http://materijali.grf.unizg.hr/media/vjezba%20br%202.pdf> (pristup: 18.6.2019.)
- [27] [https://www.grf.unizg.hr/wp-content/uploads/2010/09/SMP\\_KatalogOpreme\\_FINAL-WEB\\_v2.pdf](https://www.grf.unizg.hr/wp-content/uploads/2010/09/SMP_KatalogOpreme_FINAL-WEB_v2.pdf) (pristup: 18.6.2019.)
- [28] Izdebska J., Thomas S.; Printing on Polymers: Fundamentals and Applications, 2016.
- [29] Referenca – ISO 12647:2013
- [30] Color difference Delta E - A survey, April 2011 Machine Graphics and Vision 20(4):383-411, Wojciech Mokrzycki, Maciej Tatol