

# Utjecaj biorazgradivih primera na mehanička svojstva otisaka u sitotisku

---

**Debanić, Filip**

**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:216:677911>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-12**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Graphic Arts Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GRAFIČKI FAKULTET**

# **ZAVRŠNI RAD**

Filip Debačić



Sveučilište u Zagrebu  
Grafički fakultet

Smjer: Tehničko-tehnološki

# **ZAVRŠNI RAD**

## **UTJECAJ BIORAZGRADIVIH PRIMERA NA MEHANIČKA SVOJSTVA OTISKA U SITOTISKU**

Mentor:

doc. dr. sc. Tamara Tomašegović

Student:

Filip Debanić

Zagreb, 2021.

## SAŽETAK

Ekološka osvještenost dovela je do sve veće zastupljenosti biorazgradivih materijala u grafičkoj tehnologiji. Tema ovog rada su primjena i svojstva biorazgradivog primera od polikaprolaktona i polilaktične kiseline u tehnici sitotiska na papirnim podlogama. Cilj istraživanja je opisati promjene mehaničkih svojstava otisaka s primerom u odnosu na otisak bez primera, uz korištenje optimalne linijature sitotiskarske mrežice i dvije različite vrste tiskarske boje. U teorijskom dijelu ovog završnog rada opisane su tiskovne forme, boje i tiskovne podloge koje se koriste u sitotisku. Također, opisani su biorazgradivi materijali koji su korišteni u eksperimentu kao primeri. Otiskivanjem u sitotisku uz različite kombinacije primera i tiskarskih boja bit će moguće odabrati optimalan primer obzirom na (mehanička) svojstva dobivenog otiska. Očekuje se da će otisci sa primerima imati vidljivo bolja mehanička svojstva (otpornost na kidanje i savijanje) od otisaka bez primera te time pridonijeti dodanoj vrijednosti otiska, uz sam ekološki aspekt korištenja biorazgradivih materijala u kombinacijama s bojama na bazi vode.

**Ključne riječi:** sitotisak, tiskovna forma, PCL, PLA, biorazgradivi primer

## SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	1
<b>2. TEORIJSKI DIO</b> .....	2
<b>2.1 Razvoj sitotiska</b> .....	2
<b>2.3 Tiskovna forma za sitotisak</b> .....	3
<b>2.3.1 Okviri tiskovne forme za sitotisak</b> .....	3
<b>2.3.2 Mrežica tiskovne forme za sitotisak</b> .....	4
<b>2.3.3 Izrada tiskovne forme za sitotisak</b> .....	7
<b>2.4 Boje i tiskovne podloge kod sitotiska</b> .....	7
<b>2.5 Biorazgradivi materijali</b> .....	12
<b>2.5.1 Primjena biomaterijali</b> .....	13
<b>2.5.2 Biorazgradnja</b> .....	13
<b>2.6 Polikaprolakton (PCL) i polilaktična kiselina (PLA)</b> .....	14
<b>2.6.1 Svojstva primera</b> .....	14
<b>2.6.2 Svojstva polikaprolaktona (PCL)</b> .....	18
<b>2.6.3 Svojstva polilaktična kiselina (PLA)</b> .....	19
<b>3. EKSPERIMENTALNI DIO</b> .....	20
<b>3.1 Metodologija rada</b> .....	20
<b>3.2 Korišteni mjerni uređaji</b> .....	22
<b>3.3 Korišteni materijali</b> .....	25
<b>4. REZULTATI I RASPRAVA</b> .....	27
<b>4.1 Debljina nanosa boje</b> .....	27
<b>4.2 Rezultati mjerenja hrapavosti otiska</b> .....	27
<b>4.3 Otpornost na kidanje</b> .....	29
<b>4.4 Otpornost na savijanje</b> .....	30
<b>5. ZAKLJUČAK</b> .....	31
<b>6. LITERATURA</b> .....	32

## 1. UVOD

Ovaj završni rad opisati će sitotisak i primjenu biorazgradivih materijala u ovoj tehnici. Sitotisak pripada u propusnu vrstu tiska. Tehnika je nastala prije mnogo godina, a s godinama se modernizirala i razvila u jednu od najkorištenijih tehnika današnjice. Sitotisak se danas uvelike koristi za otisak na tekstil. Njegova velika prednost je što je raspon boja koje je moguće koristiti ovom tehnikom značajan. Uz ovu karakteristiku, sitotisak pruža i mogućnost otisaka mnogih dodataka i efektnih dekoracija. Sitotiskom se koristi i u procesima dorade, prilikom upotrebe raznih vrsta premaza, odnosno lakova. Biorazgradivi materijali su danas jedna od bitnih tema s obzirom na sve veću onečišćenost okoliša. Kroz rad, upoznati ćemo neke od biorazgradivih primera, odnosno premaze i njihov utjecaj u sitotisku.

Teorijski dio ovoga rada obraditi će područje sitotiska, njegov razvoj od početka, proces tiskanja, uređaje koji su korišteni za izradu tiskovne forme i dobivanje otiska, tiskovne podloge i boje. Uz taj dio, bit će opisan i pripremni dio, odnosno izrada tiskovne forme za ovu tehniku. U teoriji će također biti objašnjena svojstva biorazgradivih materijala, te svojstva samih primera.

Eksperimentalni dio rada pobliže će objasniti nešto više o uređajima i materijalima koje su korišteni za ovo ispitivanje. Uz to će biti opisan utjecaj primera na papir, te na pokrivne i transparentne boju koju će biti korištene za otisak motiva.

## 2. TEORIJSKI DIO

### 2.1 Razvoj sitotiska

Početak razvoja sitotiska javio se na području Polinezije gdje je domorodačko stanovništvo urezivalo različite oblike na lišće banane. Nakon što bi izrezali lišće banane, koristeći ga kao šablonu, protiskivali su boju kroz otvore na lišću te su željene oblike otiskivali na koru drveta. Sitotisk se također primjenjivao u Aziji na području Kine i Japana. Japan je napravio značajan iskorak u razvoju sitotiska. Izrezivali su šablone iz papira te su koristili mrežicu napravljenu od ljudske kose. Tintu su protiskivali kroz mrežicu na tkaninu pomoću krute četke. Na području Europe sitotisk se pojavljuje u 18. stoljeću. 1907. godine na području Manchestera u Engleskoj Samuel Simon patentira sito od svilenih niti, prvi moderni sitotisk, a njegova metoda postaje standard u cijeloj Europi. Sredinom 20. stoljeća Andy Warhol upotrebljava tehniku sitotiska kako bi napravio umjetničku grafiku te tako nastaje pojam serigrafije. [1]

### 2.2 Sitotisk

Sitotisk je tehnika propusnog tiska koja funkcioniše na način da se protiskuju bojila kroz tiskovnu formu na tiskovnu podlogu. Tiskovna forma sastoji se od mrežice koja je pričvršćena za okvir, ima zatvorene očice gdje se nalaze slobodne površine, a otvorene očice na mjestima tiskovnih površina. Sitotisk se smatra sporijom tehnikom otiskivanja, a materijali na koje je moguće otiskivati su širokog spektra. Neki od materijala na koje je moguće otiskivati su tkanina, staklo, papir, plastika, itd. Iako se tehnika upotrebljava u razne svrhe, danas je najviše viđena kada su u pitanju otisci na razne tkanine. Tiskovne podloge na koje je moguće otiskivati su ravne, cilindrične ili pak drugačijih svojstava. Tehnikom sitotiska koriste se umjetnici koji osim reprodukcije slika, ponekad slikaju direktno na sito, čime stvaraju tiskovnu formu. Nasuprot umjetničkom stvaralaštvu u sitotisku se stvorio i visokoproduktivni rotacioni sitotisk. [2]



*Slika 1. Proces otiskivanja u sitotisku*

*Izvor: <https://inside.isb.ac.th/addtf/screen-printing-with/>*

## 2.3 Tiskovna forma za sitotisak

Za tiskovnu formu u sitotisku upotrebljava se sitotiskarska šablona odnosno matrica. Matrica pomaže pri blokiranju slobodnih površina, te ostavlja tiskovne površine otvorene kako bi kroz njih prolazila boja. Boja se kroz sito protiskuje pomoću rakela. Samo sito sastoji se od tri dijela, okvira, zatvorenih očica koje služe kao slobodne površine, te otvorenih očica koje služe kao tiskovne površine. [3]

### 2.3.1 Okviri tiskovne forme za sitotisak

Sami okvir sačinjen je od četiri stranice, spajane pod kutom od 90 stupnjeva, te formiran u oblik pravokutnika. Materijali koji se koriste za izradu takvog okvira su drvo i metali. Kod drvenih okvira moguće je koristiti više vrsta drva, a neki od poznatijih su: javor, jasen, trešnja, itd. Kada su u pitanju metalni okviri, dva materijala koja se koriste su aluminij i čelik. Ovi materijali koriste se kako bi se dobila karakteristika čvrstoće samog okvira, što je vrlo bitno kod mehaničkih svojstava tiskovne forme.

Drveni okviri koriste se kod tiskanja manjih formata. Njihova prednost je ta što nisu teški i moguće je vrlo lagano manevriranje samim okvirom. Postoje dvije vrste okvira, oni za manje dimenzije, odnosno kvadratični, te oni za veće dimenzije, odnosno pravokutni. Okvir je moguće spajati na pet različitih načina: spoj žicom, spoj čavlima, spoj nabijanjem, spoj lijepljenjem, spoj zakivanjem. Drveni okviri koriste se isključivo kod jednobojnih otisaka, a uzrok tomu je drvo koje prilikom utjecaja vlage i topline iz okoline bubri, te se ne postižu u potpunosti precizni registri. Kako bi bilo moguće utjecati na sami vijek trajanja drvenog okvira, premazuje se lakom. [4]



*Slika 2. Drveni okvir za sito*

*Izvor: <https://www.slikarskipribor.hr/fotky6358/fotos/sito-na-okviru-za-pravljenje-handmade-papira-CCH22797-3.jpg>*



Za razliku od drvenih okvira, metalni okviri dužeg su trajanja zbog samih materijala koji pri vanjskim utjecajima ne propadaju kao drvo. Kod metalnih okvira profili mogu biti različitih oblika, pa tako uz kvadratični i pravokutni imamo okrugle, eliptične, L profile, itd. Od materijala upotrebljavaju se dvije vrste: aluminij i čelik. Aluminijski okviri koriste se kod izrada velikih formata. S obzirom na nisku cijenu same izrade okvira, imaju dosta prednosti u odnosu na mane. Osim niske cijene u prednosti ovoga okvira mogli bismo uvrstiti i malu težinu, te lagano čišćenje. Također, okvir je dobro otporan na koroziju, imamo široki izbor presjeka, te se pri samom napinjanju mogu koristiti sve sitotiskarske tkanine. Kao manu naspram čelika navodi se da je manje tvrdoće. Čelične okvire se danas manje koriste od aluminijskih, koji se zapravo i najviše koriste, iz razloga jer su za razliku od aluminijskih puno osjetljiviji na koroziju, te puno veće težine, čime je i puno teže manevrirati samim sitom. Također, manom se smatra i činjenica da je prije svakog napinjanja potrebno ponovno bojanje osim u slučajevima dvokomponentnog lijepljenja. [4]



*Slika 3. Metalni okvir za sito*

*Izvor: <https://geadata.hr/wp-content/uploads/2020/06/siebdruckrahmen-siebdruck-sieb-alu-A3plus-3.jpg>*

Razlikuju se dvije vrste profila okvira: standardni i specijalni. Razlika između standardnih i specijalnih profila je u tome što su kod standardnih profila sve stijenke istih debljina, a kod standardnih se ti parametri razlikuju. [4]

### **2.3.2 Mrežica tiskovne forme za sitotisak**

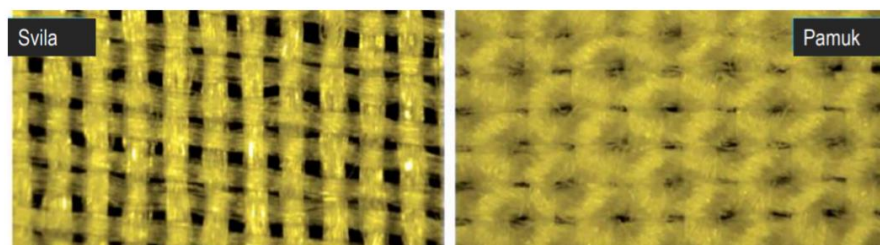
Mrežica je glavni dio sita. Njene glavne funkcije su da na sebi nose motiv koji se reproducira: fotoosjetljivi sloj služi kao slobodna površina, a neoslojeni dio mrežice

propušta boju na mjestima tiskovnih površina. Materijali koji se koriste za izradu mrežica su: metali, vlakna od prirodnih materijala i vlakna od sintetskih materijala.

Kada se spominju metalne mrežice, u obzir dolaze metalni materijali kod kojih je moguće dobiti tanka i čvrsta, te dimenzionalno stabilna vlakna pri sobnoj temperaturi, te su otporna na koroziju. Iz tih razloga upotrebljavaju se najviše niti od antikoroziivnog čelika. Sita koja su napravljena od metalnih niti koriste se u tisku na tvrde podloge jer je potrebna velika čvrstoća otiska pa ćemo se stoga povezuju s materijalima kao što su keramika, drvo, metal, itd. Karakteristika metalnih niti da provode toplinu je iznimno bitna stavka jer time pružaju mogućnost bržeg sušenja samog otiska. Kao manu spominju se oštećenja ili veće deformacije jer nakon toga mrežicu je nemoguće reparirati i samim time dolazi do dodatnog troška zbog potrebe zamjene mrežice.

S pojavom sintetskih vlakana za izradu mrežica, iz upotrebe se izbacuje pamuk i svilu koji su dotada bili nezamjenjivi. Problemi kod pamučnih vlakana (Slika 4.) su bili što su očice bile nepravilnih površina, stoga je bilo moguće izvršiti samo manji broj otisaka prije nego je mrežica bila neupotrebljiva. Za razliku od pamuka, svilena vlakna (Slika 4.) imala su pravilnije površine očica, što je rezultiralo većim brojem otisaka i većom iskoristivosti same mrežice, čime je ona ujedno bila i ekonomičnija.

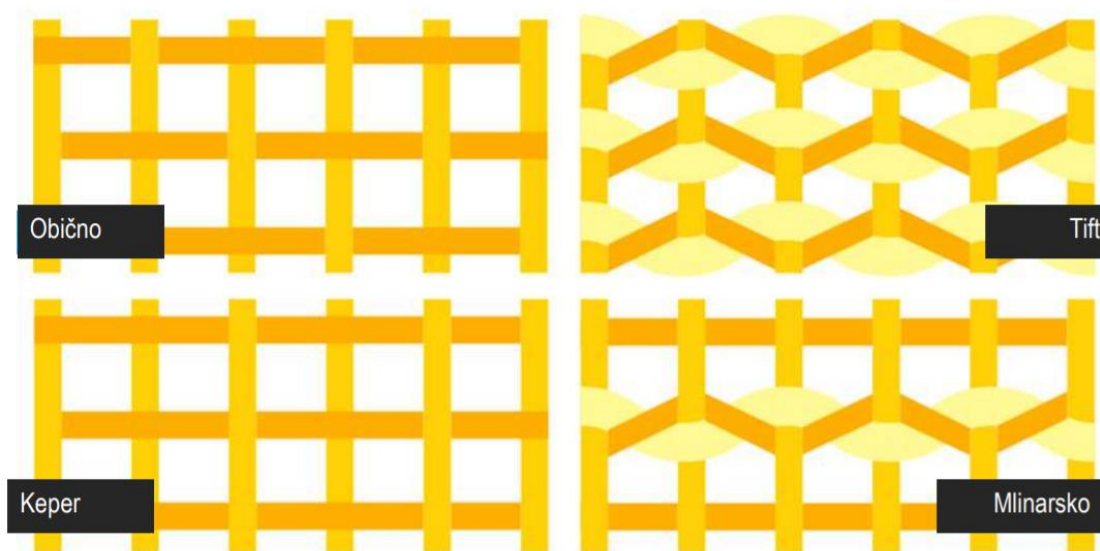
Danas se najviše koriste sintetska vlakna, a razlog tomu je što su vrlo izdržljiva pri utjecajima samog otiska. Mrežica se ne deformira, te je velike izdržljivosti pri utjecaju kemikalija koje se koriste tijekom procesa otiska. S godinama su se razvile i tehnike kojima se vrše tkanja pa je struktura površine postala pravilnija i kvalitetnija što je dalo još veći doprinos sintetskim vlaknima. Od materijala najviše koristimo dva, a to su poliamid i poliester. [3]



**Slika 4.** Pamučna i svilena vlakna za mrežice u sitotisku

Izvor: <https://moodle.srce.hr/2018->

Usavršavanjem mrežice razvio se i proces kalandriranja mrežice. Tim postupkom moguće je regulirati nanos boje i lijepljenje za tiskovnu podlogu, odnosno smanjuje nanos boja i lijepljenje za tiskovnu podlogu. Postupak kalandriranja provodi se na način da se mrežicu pusti kroz sustav valjaka koji ju preša, što je ujedno i drugi naziv ovog procesa. Proces je moguće izvesti na dva načina: s gornje strane i s podložne strane. Kalandriranjem podložne strane dobiva se malo veći učinak, odnosno malo veći postotak smanjenja lijepljenja i nanosa boje. [3]



*Slika 5. Načini tkanja mrežice*

Izvor: [https://moodle.srce.hr/2018-2019/pluginfile.php/2113526/mod\\_resource/content/1/Predavanje11-tiskovna%20forma%20za%20propusni%20tisak.pdf](https://moodle.srce.hr/2018-2019/pluginfile.php/2113526/mod_resource/content/1/Predavanje11-tiskovna%20forma%20za%20propusni%20tisak.pdf)

Od karakteristika mrežice moguće je još spomenuti razlike u bojama mrežice. Moguće boje mrežica su žuta ili bijela. Kod bijelih mrežica mogući problemi mogu se pojaviti kod višetonskih otisaka jer se zrake odbijaju od zacrnjenih površina i kopirnog predloška. Žute niti koristiti će se kada se radi o rasponima valnih duljina od 350 do 420 nm. [3]

### 2.3.3 Izrada tiskovne forme za sitotisak

Razlikujemo dvije glavne tehnike izrade tiskovne forme za sitotisak, a to su direktna i indirektna. Direktnim postupkom sito koje na sebi ima fotoemulziju se kontaktno osvjetljava, te se pod vodenim mlazom razvija kopirni sloj. Ova tehnika je često upotrebljavana iz razloga jer je moguće postići jako sitne detalje, a izrada forme je jako jednostavna, brza, te jeftina.

Indirektnim postupkom tiskovna forma dobiva se kontaktnim osvjetljavanjem kopirnog sloja na fotoosjetljivoj foliji, koji se mokrim postupkom nakon razvijanja prenosi na sito. [5]

U načine izrade tiskovne forme za sitotisak moguće je još ubrojiti i CtP. Nakon pripreme na računalu, direktno s računala prenosi se u inkjet ploter koji prska UV boju ili vosak. Cijeli proces odvija se u tri faze: prskanje boje, kopiranje, razvijanje. Prskanje se odvija na način da inkjet ploter prska boju po premazanom dijelu mrežice, a boja se pojavljuje na mjestima na kojima su tiskovne površine. Kopiranje se odvija na način da svijetlo osvjetljava kopirni sloj na kojemu nema boje. Kopirni sloj time postaje netopiv. U postupku razvijanja uklanjaju se boja i neosvijetljeni topivi kopirni sloj. [6]



*Slika 6. Izrada tiskovne forme za sitotisak CtP tehnologijom*

*Izvor: <http://gogss.hr/wp-content/uploads/2015/02/tiskovne-forme.pdf>*

### 2.4 Boje i tiskovne podloge kod sitotiska

Sitotisak je tehnika koja pruža veliku raznolikost kada su u pitanju tiskovne podloge na koje je moguće otiskivati. Ovom tehnikom moguće je ostvarivati otiske na upojne i neupojne podloge. Iz tih svojstava moguće je zaključiti da se ovom tehnikom ostvaruju

otisci na papiru, kartonu, staklu, metalu, ljepenkama, plastici, keramici, drvu, tekstilu. S obzirom na broj podloga na koje je moguće otiskivati, bilo je potrebno i boje prilagoditi prema tome. Iako je moguće otiskivati na razne podloge, ovisno o podlozi na koju se tiska, potrebno je i izabrati pravu boju za tu podlogu. Radi svojih svojstava, nije moguće sve boje otiskivati na svaku podlogu. Veliki izbor podloga na koje je moguće vršiti otisak je raširio samu uporabu sitotiska danas. Kao upojne materijale koristiti će se papir, karton, ljepenke, tekstil i drvo. Podloge se uvelike razlikuju prema svojim kemijskim i fizikalnim svojstvima. Tako će neke podloge biti hrapavije, a neke glade i prema tim karakteristikama bira se boja kojom će se vršiti otisak. Kada su u pitanju neupojni materijali, koristiti će se plastika, keramika, metal i staklo. Kao i kod upojnih podloga, njihova svojstva razlikuju se prema hrapavosti, a te karakteristike nam određuju samu tehniku otiska. [7]



*Slika 7. Otisak na tekstil u sitotisku Izvor: <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSqrlekGzZbJPMbMnz8izAjMcaqDEJPfmbxLg&usqp=CAU>*



*Slika 8. Otisak na plastiku u sitotisku*

*Izvor: [https://www.tipko.hr/wp-content/uploads/2016/01/sitotisak\\_2.jpg](https://www.tipko.hr/wp-content/uploads/2016/01/sitotisak_2.jpg)*

Boja je pojam koji je moguće tumačiti na dva načina. Prvi način na koji se tumači boja je optički pojam.

Optički pojam predstavlja boju kao tvar koja označava fizikalne osobine svjetlosti, odnosno kakav osjećaj stvara svjetlost u oku koja je emitirana iz nekog izvora ili pak reflektirana s neke površine. Iz toga je boju moguće shvatiti kao subjektivni podražaj koji se javlja na mrežnici oka pri utjecaju svjetlosti određene valne duljine na oko.

Drugi pojam koji se svrstava u značenje boje je tvar koja ima svojstvo obojiti i prekriti neku drugu tvar. Ovaj pojam je materijalne naravi, a on označava samu tvar kao nositelja boje.

Tiskarska boja shvaćena je kao neka tvar koja ima određeno obojenje, te sposobnost da se za vrijeme tiska veže za tiskovnu podlogu. Tiskarske boje na podlogu moguće je prenijeti jedino putem tiskarskih strojeva. Njihova glavna značajka u tome procesu bi bila da stvore kontrast kako bi bilo moguće razlikovati svaki detalj otisnute cjeline. Tiskarske boje nastale su kombinacijom finih smjesa pigmenata i/ili bojila, veziva, punila i pomoćnih sredstava. Kao što je i ranije navedeno, boje moraju biti prilagođene za različite načine tiskanja, stoga izbor boje ovisi o tiskovnim formama, tehnici i brzini tiska, debljini nanosa, itd. Također, tiskarske boje moraju imati određene karakteristike, kako ne bi oštetile samu podlogu, kako ne bi narušile kvalitetu otiska, kako bi ih bilo moguće pravilno transportirati u stroju, itd. Prema konzistenciji, boje se dijele na pastozne, odnosno guste, i tekuće, odnosno rijetke i fluidne. [8]

Tiskarske boje moraju zadovoljiti neka opća svojstva kako bi ih bilo moguće koristiti u procesu otiska.

Prvo svojstvo koje boja treba ispuniti je kontrast. Kako bi boju bilo moguće koristiti, bitno je da ima jak kontrast u odnosu na podlogu na koju se vrši otisak. Najzahtjevniji otisci su kod malih nanosa boja jer je tada najteže postići željeni kontrast, kako bi kvaliteta otiska bila na razini. Nanosi se kreću u vrlo malim rasponima, a zavise o tome koju tehniku tiskanja koristimo. [9]

Tehnika tiska	Debljina nanosa
Offsetni tisak	0.5 - 2 $\mu\text{m}$
Knjigotisak	3 - 5 $\mu\text{m}$
Fleksotisak	1 - 10 $\mu\text{m}$
Duboki tisak	8 - 12 $\mu\text{m}$
Sitotisak	20 - 60 $\mu\text{m}$

*Slika 9. Debljina nanosa boje za konvencionalne tehnike tiska*

*Izvor: <https://moodle.srce.hr/2019->*

*2020/pluginfile.php/3290140/mod\_resource/content/1/Opca%20svojstva%20tiskarski%20boja\_reologija.pdf*

Kao drugo svojstvo u obzir se uzima put boje od bojanika do podloge na koju se otiskujemo. Bitno je da se pomoću što manjeg nanosa boje ta ista boja prenese s tiskovne forme na tiskovnu podlogu. Pri tome ne smije biti nikakvih nepravilnosti u otisku, nego on mora biti oštar i jasan. Ovisno o putu boje razlikuju se dvije vrste boja: boje dugog puta i boje kratkog puta.

Boje koje prelaze dugi put od bojanika do podloge na koju se vrši otisak koriste se u offsetnom i visokom tisku iz razloga jer su teške konzistencije. Ove boje nalikuju i na boje koje se koriste u sitotisku iako kada je riječ o toj tehnici tiskanja, nije moguće govoriti o putu boje od bojanika do tiskovne podloge u punome smislu tog pojma.

Za razliku od boja dugog puta, boje kratkog puta koriste se u bakrotisku, fleksotisku, te novinskim rotacijama kod tehnike visokog tiska. Te boje karakteriziraju se kao boje lake konzistencije. Kod bakrotiska i fleksotiska sadržavaju lakohlapljiva otapala, a za novinsku rotaciju sadrže mineralna ulja niske viskoznosti.

Treće svojstvo koje je bitno za tiskarske boje je prijelaz boje s tiskovne forme na tiskovnu podlogu. Kako bi boja zadovoljila ovaj uvjet, ona mora biti sposobna prijeći s tiskovne forme na tiskovnu podlogu u vrlo kratkom periodu, bilo to direktnim načinom otiska ili indirektnim. Sami prijenos uvjetuje se brzinom otiska, pritiskom pod kojim se vrši otisak, viskoznošću i količini boje, prijemčivosti boje za tiskovnu podlogu, te glatkoća i hrapavost podloge.

Zadnja stavka je zadovoljavanje uvjeta koje definira konačni grafički proizvod. Tiskarska boja mora odgovarati proizvodu na koji se primjenjuje. Ovisno o tome da li se tisak vrši na knjigu, časopis, naljepnicu ili prehrambenu ambalažu, boja karakterno mora odgovarati samom proizvodu i materijalu na koji se otiskuje. Neka najvažnija svojstva stoga bi bila: konzistencija, ljepljivost, dužina, ton i svjetlostalnost.

Osim uvjeta uz boju se povezuju i reološka svojstva. Reologija je znanost koja proučava deformacije, transformacije i tečenje tekućina i plinova pod utjecajem mehaničkih sila na neku površinu. Osobine tečenja tiskarskih boja koje obuhvaća reologija su: konzistencija, viskoznost, ljepljivost, duljina i tiksotropija. [10]

Sitotisak je jedna od najraširenijih tehnika tiska jer se koristi u velikom spektru industrijskih grana današnjice. Karakteristike koje su omogućile toliku raširenost sitotiska su otisak na široki spektar materijala, te oblici na koje je moguće izvršiti otisak.

Sitotisak je moguće podijeliti u četiri skupine prema proizvodnim područjima, a to su: komercijalna za reklamne medije, serigrafija ili svilotisak, industrijski tisak za boce, cijevi, itd., te izdvojeni procesi kao što su otisak na tekstil ili pločice za električne sklopove. Iako sitotisak ne pruža kvalitete kao neke druge tehnike, dovoljno zadovoljava potrebe, a razlog tome je nepravilna mrežasta struktura iz čega proizlaze nepravilne rasterske točkice. Jedna od prednosti ove tehnike je također ta da nema određenih formata koje je moguće otiskivati, što znači da ne postoje ograničenja kao što je slučaj u nekim tehnikama. Sitotiskarske boje moguće je podijeliti u dvije skupine: one koje se suše oksipolimerizacijom, te one koje se suše isparavanjem otapala.

One podloge koje mogu bolje apsorbirati, upotrebljavaju se jednokomponentne boje. Tim bojama dodaje se razrjeđivač kako bi bilo moguće pravilno regulirati samu viskoznost boje. S obzirom da se te boje suše penetracijom, oksipolimerizacijom i hlapljenjem, upotrebljavaju se u tisku na upojne podloge.

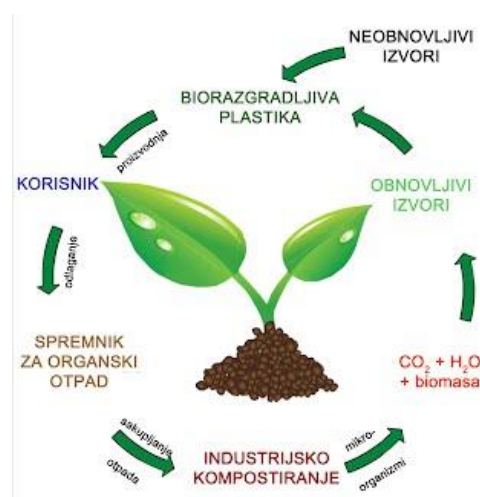
Za razliku od jednokomponentnih boja, dvokomponentne boje upotrebljavaju se kada je riječ o neupojnim podlogama. Te boje zasnivaju se na bazi otapala, iako postoje i UV sistemi sličnih karakteristika koje se koriste za sušenje samih boja. Njih je moguće dobiti na način miješanja baze i katalizatora prema već zadanim specifikacijama. Sušenje ovih boja opisuje se kombinacija hlapljenja samog otapala i polimerizacija između same baze



i katalizatora. Kako proces sušenja ne bi potrajao i do par dana, izvorom topline skraćuje se proces sušenja, te se poboljšavaju otpornost proizvoda, a pod otpornosti misli se na otpornost na otapala, lužine i kiseline, ali i otpornost na visoke temperature. S obzirom na karakteristike ovih bojama, koriste se kada se otisak vrši na metale, staklo, keramiku ili slične proizvode iz razloga jer je prijanjenje na te podloge vrlo učinkovito i kvalitetno. Glavni kriteriji koje bi sitotiskarska boja trebala zadovoljiti su prokritnost i viskoznost koja utječe na to kakav će protok boje biti kroz mrežicu na situ, a taj faktor ujedno i određuje kojom će se brzinom odraditi sami otisak što je vrlo bitno radi rokova i ekonomičnih strana. Uz brzinu, viskoznost nam određuje i debljinu samog nanosa te oštrinu koju ćemo uspjeti reproducirati na rubovima otiska. Među tehnikama koje se danas koriste u grafičkoj industriji, sitotisak pruža najveći spektar boja koje je moguće koristiti, što je još jedna vrlina koja omogućava ovoj tehnici da je raširena u tolikim industrijskim granama. [11]

## 2.5 Biorazgradivi materijali

Biorazgradivi materijali objašnjeni su kao materijali koji se mogu u potpunosti ili barem djelomično otopiti u direktnom kontaktu sa živim organizmom. Njihovom apsorpiranju pridonose mikrofagi, te s apsorpiranjem započinje proces metaboličke biokemijske reakcije, a zamjenjuje ih tkivo živog organizma. [12]



*Slika 10. Ciklus biorazgradnje plastike*

*Izvor:*

[https://sites.google.com/site/odrzivaplastikahrvatska/\\_/rsrc/1472846482014/bioplastics/biodegradable-plastics/ciklus%20biorazgradljive%20plastike.jpg?height=320&width=320](https://sites.google.com/site/odrzivaplastikahrvatska/_/rsrc/1472846482014/bioplastics/biodegradable-plastics/ciklus%20biorazgradljive%20plastike.jpg?height=320&width=320)

### 2.5.1 Primjena biomaterijali

Povijest biorazgradivih materijala u službenom smislu još uvijek se smatra kao mlada. S razvitkom industrije, početkom dvadesetog stoljeća, ljudi dolaze do sve većih izvora plastike i drugih materijala, te otkrivaju kako je materijale moguće koristiti u medicini kao implantate. Iako se to smatralo velikim otkrićem, tada društvo još nije toliko bilo upoznato s raznim toksinima koji se nalaze u tim materijala, te zapravo nisu bili upoznati s time kako će to reagirati na ljudsko tijelo. Za vrijeme drugog svjetskog rata, stomatologija dolazi do otkrića kako polimetil-metakrilat nije toliko štetan za tijelo, te da su reakcije na strani organizam u dodiru s tijelom zapravo vrlo blage. Kroz povijest i ratove, mnogi medicinski stručnjaci otkrivali su razne materijale koji bi mogli pomagati ljudima u medicinske svrhe, te se sama industrija polimera počela sve više razvijati, pa tako i ona biorazgradivih polimera. U današnje doba postoji veliki broj centara za istraživanje i ljudi koji se bave tom granom, te mnogo velikih kompanija koje izrađuju biorazgradive implantate i ostale materijale za pomoć ljudima u medicinske i ostale svrhe [13]



*Slika 11. Steznik za ruku od PCL materijala*

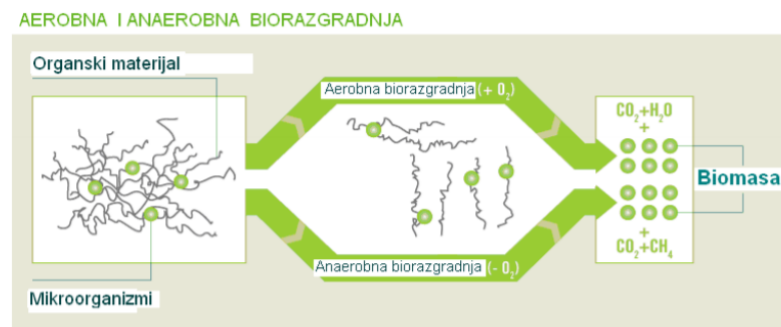
*Izvor: [https://www.alibaba.com/product-detail/High-quality-of-Surgical-polycaprolactone-material\\_62031789692.html](https://www.alibaba.com/product-detail/High-quality-of-Surgical-polycaprolactone-material_62031789692.html)*

Biorazgradivi materijali danas imaju široki spektar upotrebe. Iako se upotrebljavaju u raznim industrijama, najveću upotrebu imaju u medicini i stomatologiji. Iako postoji veliki broj biomaterijala, biorazgradivi polimeri imaju prednost zbog razgradnje u okolišu i istovremene neštetnosti. [13]

### 2.5.2 Biorazgradnja

Biorazgradnja karakterizira se kao kemijski proces razgradnje materijala izazvan djelovanjem bakterija, algi i gljivica. Česta definicija koja se povezuje s pojmom

biorazgradnje je „razgradljivi polimer kod kojeg se primarni mehanizam razgradnje odvija metabolitičkim djelovanjem mikroorganizama“. Biorazgradivost kao proces povezan je s biološkom aktivnosti, a iz toga se da zaključiti da će se većina kemikalija, koja dođe u sami doticaj s prirodom, razgraditi prirodnim mehanizmom. Taj postupak u direktnoj je korelaciji s razgradnjom i asimilacijom polimera uz pomoć mikroorganizama i na taj način nastajanja produkata razgradnje. U biološkom sustavu, proces razgradnja kod prirodnih polimera odvija se hidrolizom i oksidacijom. Biorazgradivi materiji se procesom biorazgradnje pretvaraju u biomasu ugljikovog dioksida i metana. Kod sintetičkih polimera, količina ugljika koja je potrebna za mikrobe proizlazi iz ugljikovog lanca. Kako bi mikroorganizmi rasli, vrlo bitna je regulacija temperature. Biorazgradnja se dijeli na aerobnu i anaerobnu. [14]



**Slika 12.** Proces aerobne i anaerobne biorazgradnje

Izvor: <https://repozitorij.fkit.unizg.hr/islandora/object/fkit%3A12/datastream/PDF/view>  
(Završni rad)

Razlika između ta dva procesa je u tome što je kod aerobne razgradnje prisutan kisik, a produkt je ugljikov dioksid, a kod anaerobne nije prisutan kisik, te je produkt metan. Za biorazgradnju najvažniji čimbenik je kemijska struktura, međutim u važne faktore ubrajaju se i fizička i fizičko-mehanička svojstva. [14]

## 2.6 Polikaprolakton (PCL) i polilaktična kiselina (PLA)

### 2.6.1 Svojstva primera

Kada je riječ o primerima, prvo na što se treba osvrnuti danas su primeri u građevini., Danas je njihova upotreba puno raširenija nego što je realno poznato. Primeri se karakteriziraju kao zaštitni premazi od vanjskih utjecaja. U građevini se spominju kao zaštitni sloj prije obrada drva ili kod fasada i betonskih konstrukcija.

Primeri su po sastavu kombinacija tekućih komponenti i osnove. Tekuća komponenta kod primera je u biti voda ili drugo otapalo. Iako se primer ponekad pakira i u prahu, pravilna mješavina s vodom/drugom komponentom propisana je od stručnjaka na samome pakiranju. Osnova baze je polimerna, organska ili mineralna. [15]

U grafičkoj industriji primeri su premazi koji se nanose na papir prije procesa nanošenja bojila na tiskovnu podlogu. Primere se u grafičkoj struci često nazivamo i lakovima. Kako ne bi došlo do kontaminacije bojila i primera, glavno pravilo je da primer mora biti iznimno suh prije samog kontakta s bojom. S obzirom na tu činjenicu, jedna od glavnih karakteristika primera je vezivanje odnosno adhezija boje, a time i bolji prijenos boje na tiskovnu podlogu. Iako je sušenje jedna od najbitnijih karakteristika primera, isto tako je bitno koliki se sloj primera nanosi na samu podlogu. Nanos mora biti pravilan i jednoličan kako ne bi došlo do tonske nepravilnosti u otisku, odnosno do poremećaja pod nazivom mottling.

Iako premaz otisku daje estetska svojstva kao što je na primjer sjaj, on često poboljšava i mehanička svojstva. U nekim slučajevima služi i kao barijera za tekuće tvari od kojih se sastoji boja koja se koristi, a to direktno utječe na kvalitetu samog otiska, te poboljšava otpornost samog otisnutog proizvoda. Uz svojstva zaštite i poboljšavanje kvalitete otiska, premaz također povećava brzinu samog tiska, olakšava daljnju obradu, te daje dodatnu vrijednost samom otisku, što je moguće vidjeti kroz smanjenje savitljivosti, a ponekad i zaštite od krivotvorenja.

Primeri koji se suše fizikalno-kemijskim procesom mogu se nanašati na različite načine. Neki od načina koji se koriste danas su: premazivanje, prskanje, uranjanje, te drugim postupcima obrade površina, a to kasnije rezultira zaštitnim i dekoracijskim premazom.

Iako premazi imaju dobra mehanička svojstva zbog kojih se koriste, oni općenito služe i kako bi se proizvod puno bolje dočarao samome potrošaču, odnosno kupcu.

Primere, kao i lakove moguće je svrstati u četiri osnovne skupine, a to su: lakovi na bazi ulja, vododisperzivni lakovi, UV lakovi, te lakovi na bio bazi. Osnovne tvari koji oni sadrže su veziva, otapala i dodaci. Glavni sastojak je uvijek vezivo kada je riječ o svim lakovima iz razloga jer ono stvara osušeni film. Nanos tog filma mora biti izrazito tanak, ali i pravilan i ravnomjeran. [16]

Hlapljivi sastojci	Otopala		Lak i lakirana bojila	Osušeni film laka
	Vezivna sredstva	Površinski sloj laka, Omekšivači, Pomoćni materijali		
	Boja	Bojila i pigmenti		
Nehlapljivi sastojci	Dodaci	Punila		

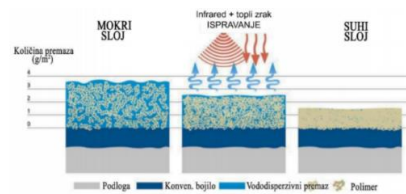
**Slika 13.** Osnovni sastav tiskarskih lakova

*Izvor: Šarić D. (2019.), Analiza reprodukcije rasterskih elemenata na in-line oplemenjenoj tiskovnoj podlozi u elektrofotografskom tisku(Diplomski rad)*

Tiskarski lakovi na bazi ulja premazi su koji se najdulje koriste u grafičkoj industriji s obzirom na to da su im formulacija, kao i primjena, jednostavni. Njihova upotreba je vrlo jednostavne prirode, te nemaju štetnih utjecaja na okoliš. Njihove prednosti su: jednostavan postupak nanošenja, ne koriste se posebni lak agregati, nisu osjetljivi na utjecaj vlage, imaju odličnu interakciju s nealkidnim bojama, te jednostavan proces parcijalnog lakiranja. Uz prednosti, postoje i neki nedostaci, međutim ovaj način lakiranja sveo ih je do minimuma. Nedostaci se očituju pri sporijem sušenju, povećana upotreba pudera, manji nanosi laka, smanjeni sjaj, postepeno žućenje otiska, intenzivan miris, te teže lijepljenje na mjestima gdje je nanesen lak. U ambalažnoj industriji, ova tehnika se gotovo i ne koristi.

Vododisperzivni lakovi sastavljeni su od vodotopivih smola, voska i aditiva koji su raspršeni u vodi, te mješavina dispergiranih modificiranih akrilnih smola. Prednosti koje nose ovi lakovi su: povećani sjaj kod otisaka, zaštita proizvoda, izrazita brzina pri sušenju otiska, lagano čišćenje tiskarskih jedinica, nema štetnog utjecaja na okoliš, otisak ne poprima žutu boju s vremenom, nema mirisa, te jednako trenje na mjestima koja su otisnuta, kao i na mjestima koja nisu otisnuta. Nedostatke su vidljivi kada su u pitanju tanji slojevi papira. Tada dolazi do raznih deformacija zbog utjecaja vlage u laku. Za razliku od načina sušenja lakova na bazi ulja, ovi lakovi suše se kombinacijom penetracije i isparavanja vode. Do formiranja otiska, što traje otprilike nekakvih desetak sekundi, otisak ne bi trebalo dirati, a sam proces sušenja traje duže. Samom procesu sušenja pomaže i to što se otisci provlače kroz IR elektromagnetska zračenja i samim time izloženi su velikom izvoru topline. Lakovi koji su zasnovani na bazi vode prolaze kroz tunele u kojima se pružaju veliki izvori topline kako bi došlo do pojačanog isparavanja vode, a samim time i uvelike se ubrzao proces sušenja. S potpunim sušenjem boja će

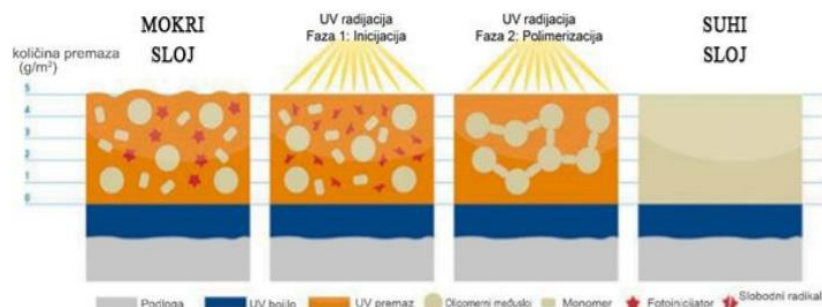
poprimiti svojstvo otpornosti na grebanje. Ovakvi lakovi, pogodni su za industriji prehrambene ambalaže. [16]



**Slika 14.** Proces sušenja vododispersivnih lakova

Izvor: Šarić D. (2019.), *Analiza reprodukcije rasterskih elemenata na in-line oplemenjenoj tiskovnoj podlozi u elektrofotografskom tisku (Diplomski rad)*

Za razliku od prijašnje dvije vrste lakova, UV lakovi pružaju izraziti efekt sjaja, te glatkoću otiska. Sačinjavaju ih tri osnovne stvari, a to su: tekuća smola, aditivi i fotoinicijatori. Fotoinicijatori pomažu pri pokretanju lančane reakcije umrežavanja molekula pod utjecajem UV elektromagnetskog zračenja, te su samim time i glavni dio UV lakova. Stoga će lakovi činiti mreže monomera i oligomera. Monomeri su male organske molekule, povezane kovalentnim vezama, te grade oligomere i polimere. Oligomeri sadrže veću molekularnu masu od monomera, te iz tog razloga dolazi do izrazito brzog stvrdnjavanja, te stvaranja tankog sloja filma. UV lakovi ne suše se načinom isparavanja, nego polimerizacijom fotoinicijatora. Fotoinicijatori započinju polimerizaciju pri izlaganju otiska UV zračenjima, te je rezultat toga momentalno sušenje. Iz tih razloga, lakovi ove vrste stvaraju jako kvalitetne otiske, koji imaju odlična mehanička, ali i kemijska svojstva. Svoju primjenu pronašli su u svim tehnikama otiska, te na svim vrstama tiskovnih podloga. Zbog izričito velike brzine sušenja, upotreba UV lakova često se pojavljuje kod in-line lakiranja. UV izvori započinju s aktivacijom energije, te samim time i započinju proces polimerizacije monomera. Tomu je produkt visoka reaktivnost u procesu sušenja. [16]



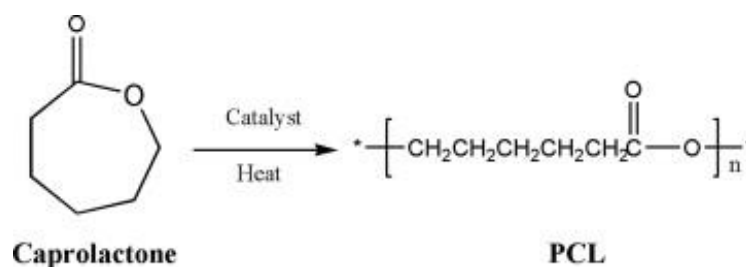
### **Slika 15. Proces sušenja UV lakova**

*Izvor: Šarić D. (2019.), Analiza reprodukcije rasterskih elemenata na in-line oplemenjenoj tiskovnoj podlozi u elektrofotografskom tisku (Diplomski rad)*

Za povećanje barijernih svojstava papira, kao i otpornosti na vlagu, koriste se lakovi na bazi naftnih derivata. Utjecajem tih lakova poboljšava se hidrofobnost na površini, međutim smanjuje se mogućnost recikliranja, te se povećava štetni utjecaj na okoliš. Alternativa u takvim slučajevima su biopolimeri iz kojih su nastali biopremazi. Biopolimeri su nastali kako bi imali mogućnost zamjene sintetičkih premaza. Njihova testiranja započeta su na papirima i kartonima što se pokazalo kao dobra zamjena. Kada govorimo o biopolimerima koji su korišteni na papirima i kartonima, tada govorimo o polisaharidima, proteinima, lipidima, poliesterima i polilaktičnim kiselinama. S obzirom da je većina biopolimera hidrofilna, njihova svojstva uvelike zavise o atmosferskim uvjetima. Pružaju izrazitu fleksibilnost za biorazgradnju, ali su i pridonijeli u poboljšanju funkcionalnosti papirnih površinskih premaza. [16]

#### **2.6.2 Svojstva polikaprolaktona (PCL)**

Polikaprolakton je sintetički polimer, djelomično kristalne teksture. Njegovo talište relativno je nisko, te se proces odvija pri 60° celzijusa. Osim niskog tališta, staklište se odvija pri temperaturi od -60° celzijusa. Polikaprolakton dobiva se na način polimerizacije otvorenog prstena monomera ε-kaprolaktona. Vrlo je razgradive prirode u kombinaciji s lipazama i esterazama mikroorganizama. Sama struktura PCL-a analogna je strukturi kutina, a to otvara mogućnost kutinazama različitih fitopatogena za razgradnju polimera. S obzirom da se razgrađuje pomoću njegovih esterskih veza u fiziološkim uvjetima, uvelike se koristi kao biomaterijal za implantate. Često je miješan zajedno s škrobom kako bi se dobio ekonomično prihvatljiv biomaterijal. [17]



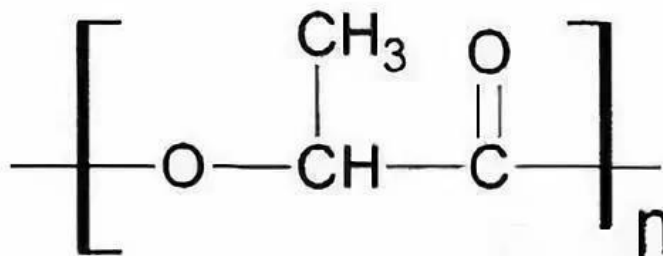
**Slika 15. Polikaprolakton**

Izvor: <https://ars.els-cdn.com/content/image/3-s2.0-B9781455728343000069-f06-05-9781455728343.jpg>

PCL se često koristi u kombinaciji s drugim polimerima kako bi se poboljšala njegova otpornost na kidanje i adhezija. Kopolimeri PCL-a nastaju pomoću drugih monomera kao što su etilen-oksidi, polivinilklorid, kloropren, polietilen, glikol, polistiren, diizocijanati, tetrahidrofuran, diglikolid, supstituirani kaprolakton, 4-vinil anisol, dilaktid, stiren, metil metakrilat, vinilacetat. PCL je odličan za prijenos lijekova u kontroliranim uvjetima zbog visoke propusnosti na druge lijekove, biokompatibilnosti i sposobnosti da ga tijelo izluči bez ikakvih poteškoća nakon biorazgradnje. Uspoređujući ga s drugim polimerima, razgradnja PCL-a je nešto sporija, te je u trajanja između dvije i tri godine. S obzirom na relativno sporiju razgradnju, njegova upotreba je najpogodnija za otpuštanje lijekova tijekom dužeg perioda, minimalno godinu dana. [18]

### 2.6.3 Svojstva polilaktična kiselina (PLA)

Polilaktid je homopolimer mliječne kiseline koji je poznat preko osamdeset godina. To je termoplastičan materijal s modulom elastičnosti na relativno visokoj razini, višoj nego u slučaju polietilena, vlačnom čvrstoćom, te izrazito niskom vrijednošću elongacije u slučajevima loma. Za razliku od drugih termoplastičnih materijala, PLA smatramo krtnim materijalom, male udarne čvrstoće, te velike osjetljivosti na izvor vlage. Iako se smatra vrlo osjetljivim, njegova termomehanička svojstva pokazala su se iznimno dobra, kao i svojstvo biorazgradljivosti. S obzirom na današnju situaciju u svijetu i eko krize koje se trenutno događaju, PLA se pokazao primjerom polimernih materijala. [19]



Slika 16. Polilaktid

Izvor: <http://hr.dxcutlery-ar.com/info/poly-lactic-acid-pla-how-much-do-you-know-30504354.html>



Polilaktid se svrstava u skupinu alifatskih poliesteru. PLA je moguće dobiti iz izvora koji imaju obnovljivu energiju, a neki od poznatijih su šećerna trska, kukuruzni škrob, korijen tapioke, itd. Sintetizira se polikondenzacijom monomera D- ili L- izomera mliječne kiseline ili češće polimerizacijom otvaranja prstena laktida s različitim vrstama katalizatora u otopini, taljevini ili suspenziji.

S procesom polimerizacije otvaranja prstena, PLA dobiva svojstvo visoke molekulske mase, čime ujedno dobiva puno bolja mehanička svojstva. Proces razgradnja, odnosno vrijeme koje je potrebno da se PLA razgradi u direktnoj je ovisnosti o stupnju kristalnosti. Tijek biorazgradnja moguće je ubrzati, odnosno poboljšati na način cijepjenja, odnosno procesom graf-kopolimerizacije L-laktida na hitozan za vrijeme polimerizacije otvaranja prstena uz kositar kao katalizator. Temperatura taljenje i toplinska stabilnost proporcionalno se povećava s povećanim udjelom cijepjenih polimera, ali s povećanjem laktidnog sadržaja, razgradnja cijepjenih polimera opada.

S obzirom na to da se PLA sastoji od kiralne molekule, njega je moguće naći u četiri različita oblika: poli(L-mliječna kiselina)(PLLA), poli(D-mliječna kiselina)(PDLA), poli(D,L- mliječna kiselina)(PDLLA), smjesa PDLA i PLLA, te mezo-poli(mliječna kiselina). Među svim vrstama, danas se samo PLLA i PDLLA koriste u svrhe medicine. PLLA je polimer tvrdi, transparentni polimer, prekidnog istezanja između 85% i 105%, te rastezne čvrstoće koja se kreće u rasponu od 45 do 70 MPa. Talište mu je u rasponu temperature od 170 do 180 stupnjeva celzijusa. Staklište mu je na 53 stupnja celzijusa. PLLA se u medicini danas primjenjuje kao dobar fiksator kostiju, primjenjuje se u inženjerstvu tkiva, te se pomoću njega izrađuju nosači za kosti, hrskavice i tetive. PDLLA za razliku od PLLA ima puno manju vrijednost rastezne čvrstoće, nema tališta, a temperatura staklišta mu je na 55 stupnjeva celzijusa. [18]

### **3. EKSPERIMENTALNI DIO**

#### **3.1 Metodologija rada**

Kako bismo započeli s eksperimentom potrebno je nanijeti biorazgradive premaze polikaprolakton(PCL) i polilaktičnu kiselinu(PLA) na offsetni bijeli papir gramature 300 g/m<sup>2</sup>. Nakon nanošenja premaza na papir potrebno ih je staviti na sušenje 24 sata.

Za izradu tiskovne forme korištena su sita s polimernom mrežicom, te dvije različite linijature, jedna linijatura 32 niti/cm, a druga 60 niti/cm. Kako bi ova ispitivanja bilo moguće provesti bez ikakvih poteškoća, sita je potrebno odmastiti, nebitno da li su već korištena ili nisu. Ovaj proces potrebno je provesti kako bi se sa sita uklonila sva prašina koja dolazi iz zraka na sito. Upotrebljava se Pregar NT 9 sredstvo za odmašćivanje, te se nanosi mekanom četkom. Nakon nanošenja sredstva četkom, potrebno je ostaviti sito nekoliko minuta da miruje, a zatim isprati pod jakim mlazom vode.

Nakon odmašćivanja i sušenja, na mrežicu je nanescena KIWO Azocol Z 133, dvikomponentna emulzija na bazi hidrofilnog koloida s dodatkom diazo senzibilizatora koja ima ulogu fotoaktivnog sloja/slobodnih površina. Emulzija je nanescena na obje strane mrežice u jednom sloju.

Nakon oslojavanja sita, provode se procesi sušenja i osvjetljavanja. Sušenje se vrši u DRI-VAULT kabini za sušenje, a osvjetljavanje se vrši u EXPOS-IT kopirnoj rami u trajanju od dvije minute. Nakon procesa osvjetljavanja, dijelovi koji nisu osvjetljeni stavljaju se pod jaki mlaz vode kako bi se otklonila emulzija (razvijanje), te sito zatim ide na sušenje.

Nakon sušenja sita započinje proces tiskanja. Koriste se dvije vrste boje, te su obje na bazi vode. Boje koje se koriste za otisak su: pokrivna bijela – MIDROL BIANCO i transparentna MIDROL TRANSPARENTE, proizvođač EPTA INKS. U baze boja potrebno je dodati pigment procesne crne boje K PRINT. Nakon pripremanja boja i tiskovne forme, gotova forma montira se na sitotiskarski stol s vakuumom za ručno otiskivanje. Na stol se namješta papir, centrira se točno kako treba biti, a pri spuštanju sita, vakuumske rupice koje se nalaze na stolu počinju uvlačiti zrak i stvarati vakuum između stola i papira kako ne bi došlo do pomicanja papira tijekom samog procesa tiska. Pigment crne procesne boje stavlja se na rub motiva na situ pomoću noža za nanošenje boje. Nakon što se pigment rasporedi duž motiva, pomoću rakela (gumeni nož koji razvlači boju preko motiva i gura ju kroz pore sita) se prenosi boja kako bi boja ušla u pore. Nakon toga sito se spušta, vakuumske rupice reagiraju, te umjerenim pritiskom boja se ponovno prenosi preko motiva, te se ovoga puta nanosi na papir. Ovi postupci napravljeni su za običan bijeli papir, papir oslojen PCL-om i papir oslojen PLA-om. Otisak se vrši s bijelom pokrivnom bojom i transparentnom bojom, otiskuje se za oba sita koja smo naveli ranije zbog različitih linijatura, te se otisci vrše dok god otisak nije

dovoljno kvalitetan za daljnje ispitivanje. Nakon tiska, uzorci idu na sušenje i zatim na rezanje na željene dimenzije radi provođenja daljnjih eksperimenata.

### 3.2 Korišteni mjerni uređaji

- *EXPOS- IT BY VASTEX INTERNATIONAL*

EXPOS-IT je uređaj za osvjetljavanje, a sastoji se od metal – halogenih lampi te vakuum pumpe. Uloga vakuum pumpe kod ovog uređaja jest ta da omogućava točno i precizno kopiranje. Uređaj sadrži i digitalnu kontrolu zaduženu za lampu osvjetljenja te vakuum pumpu. [20]



*Slika 17. EXPOS-IT uređaj*

*Izvor: <http://www.digitsmith.com/vastex-expos-e-2331-screen-exposure-system-43926.html>*

- *DRY VAULT 10*

DRY VAULT kabina za sušenje okvira za sitotisak istovremeno može sušiti 10 okvira, bilo koje vrste, dimenzija 25" x 36". Grijač kabine za sušenje izrađen je od nehrđajućeg čelika, a snažna puhalica ispušta snagu od 177 kubična metra po minuti. Kabina se zatvara hermetički a vrata kabine sadrže zasun. Okvir za sitotisak se može osušiti za 10-15 minuta. [21]



**Slika 18.** DRY VAULT 10 kabina za sušenje

Izvor: <https://dtgmart.com/products/10-screen-25-x-36-dri-vault-screen-drying-cabinets>

- *Sitotiskarski stroj za ručno otiskivanje*

Stroj se sastoji od stola s vakuumskim rupicama koje služe za držanje papira kako se ne bi pomaknuo i kako otisak ne bi izašao iz centra. Vakuum se aktivira na način da se stroj uključi u struju, a spuštanjem sita prema dalje. Stroj se sastoji od stola s vakuumskim rupicama koje služe za držanje papira kako se ne bi pomaknuo i kako otisak ne bi izašao iz centra. Vakuum se aktivira na način da se stroj uključi u struju, a spuštanjem sita prema dolje, zrak se aktivira. Osim toga, stroj ima držače na koje se pričvrsti sito kako bi njime bilo lakše manevrirati. Uz to se koristi i rakel kako bi bilo moguće prenijeti boju preko sita i motiva, odnosno protisnuti je kroz rupice.



**Slika 20.** Sitotiskarski stroj za ručno otiskivanje

Izvor: <https://www.serigrafservice.com/index.cfm?fuseaction=skdprodotti&id=37>

- *SEFAR Humicheck*

SEFAR Humicheck je uređaj koji se koristi za provjeru količine zaostale vlage unutar emulzije sita. Uređaj na sebi ima mjernu skalu u boji, od zelenog do crvenog dijela. Crveni dio naznačuje da sito nije još dovoljno suho, a zeleni da je

suho i spremno za uporabu. Uređaj je vrlo jednostavan za korištenje, samo se položi na dio sita koji želimo mjeriti. [22]



*Slika 21. SEFAR Humicheck uređaj*

Izvor: <https://docplayer.net/102147294-Sefar-screen-printing-accessories.html>

- *SaluTron D4*

SaluTron D4 je uređaj za mjerenje debljina nanosa boja na podloge. Vrlo je jednostavan za uporabu, a funkcionira na način pritiska s mjernom tubom na podlogu koju je potrebno mjeriti. Mjerna skala je u rasponu od 0 do 5 milimetara. Uređaj ima mali LCD zaslon na kojemu se prikazuju izmjereni rezultati. [23]



*Slika 22. SaluTron D4 uređaj*

Izvor: <https://www.t-lotus.com/hr/mjeraci/mjerenje-debljine-sloja/mjerac-tqc-salutron-d4-d5/>

- *LORENZTEN AND WETTRE BENDING TESTER*

Lorenzten i Wettre -ov uređaj za savijanje mjeri otpornost materijala na savijanje. Otpornost materijala mjeri se na dva načina. Prvi način je da se mjeri snaga koja je potrebna za savijanje testnog komada pod unaprijed određenim kutom. Drugi način je da se mjeri i određuje krutost. Otpornost na savijanje i krutost utječu na karakteristike i sposobnosti proizvoda. Uređaj za savijanje jednostavan je za korištenje. Komad koji se testira se stavlja u stezaljku. Nakon pritiska tipke za start, stezaljka zatvara jedan dio komada koji se testira. [24]



**Slika 19. LORENZTEN AND WETTRE BENDING TESTER**

Izvor: <https://new.abb.com/pulp-paper/abb-in-pulp-and-paper/products/lorentzen-wettre-products/laboratory-paper-testing/paper-strength-testing/l-w-bending-tester>

- **FRANK kidalica**

FRANK kidalica je uređaj za mjerenje otpornosti prema kidanju, prekidno rastezanje, a prekidna jakost papira i indeks kidanja se nakon rezultata obrađuju i dobivaju računskim putem. Uređaj funkcionira na način da se papir pričvrsti na dvije hvataljke, te se namjesti ručica i stroj se uključi. Hvataljke vuku papir u suprotne strane dok uzorak ne pukne na pola. U trenutku pucanja, mjerna skala se zaustavlja te ju je potrebno očitati. Uređaj registrira silu na vlak potrebnu da dođe do pucanja ispitivanog uzorka. To je prekidna sila, te se izražava u kilopondima. [25]

### **3.3 Korišteni materijali**

- **PREGAN NT 9 K**

PREGAN NT 9 K je sredstvo za čišćenje i odmašćivanje mrežica visoke učinkovitosti. Sredstvo je razrijeđeno s vodom u omjeru jedan naprema deset. Otopina funkcionira na način da emulgira masti i onečišćenja, te ih time čini topivima u vodi. Sredstvo je posebno prilagođeno kako bi bilo upotrebljavano u sitotisku. Pogodan je za sve vrste mrežica, te sprječava štećenje pri premazu fotoemulzije. Sastoji se od obnovljivih sirovina ili je proizveden biotehnički. Sredstvo je neutralne prirode, bez dodatnih fosfata i klorida, te je pogodno za okoliš jer je biorazgradivo. [26]



Slika 23. PREGAN NT 9 K sredstvo

Izvor: [http://xn--80aqajgimiu.xn--p1ai/catalog/ximiya-dlya-sozdaniya-trafaretnyix-form-kiwo/obezzhirivatel-\(koncenztrat\)-pregan-nt-9-k.html](http://xn--80aqajgimiu.xn--p1ai/catalog/ximiya-dlya-sozdaniya-trafaretnyix-form-kiwo/obezzhirivatel-(koncenztrat)-pregan-nt-9-k.html)

- *KIWO Azocol Z 133*

Sredstvo se upotrebljava za izradu tiskovnih formi visoke kvalitete. Sredstvo stvara otpornost na vodu i otapala. Zbog svojih svojstava razlučivanja i preklapanja rešetkastih ćelija, izvrsno je za reprodukciju najfinijih rasterskih slika i tekstova. Vrlo ga se lako čisti. [27]



**Slika 24.** KIWO Azocol Z 133 sredstvo

Izvor: <https://www.sps.ink/lt/emulsija/360-azocol-z-133.html>

- *Mrežice*

Koriste se mrežice dvije različite linijature kako bi bilo moguće vidjeti kako linijatura utječe na same uzorke i rezultate. Mrežice koje su korištene su polimerne, te su linijatura 32 niti/cm i 60 niti/cm.

- *Sitotiskarske boje*

Koriste se dvije različite vrste baza za boju, te su obje na bazi vode. Koriste se pokrivna bijela i transparentna. Baze su od proizvođača EPTA INKS, MIDROL

BIANCO je bijela, a transparentna MIDROL TRANSPARENTE. U njih se dodaje i pigment procesne crne boje K PRINT.

- *PCL i PLA primeri*

Primeri su pripremljeni otapanjem 10 g PLA u 90 g kloroforma i otapanjem 10 g PCL-a u 90 g etil-acetata koristeći magnetnu mješalicu. Naneseni su na papirne podloge pomoću Printcoat Instruments K Hand Coater-a koristeći šipku br. 3.

## 4. REZULTATI I RASPRAVA

### 4.1 Debljina nanosa boje

Tablica 1. Rezultati debljine nanosa boje korištenjem sita linijature 32 niti/cm

	CT - 32	CT - 32 - PLA	CT - 32 - PCL	CP - 32	CP - 32 - PLA	CP - 32 - PCL
Srednja vrijednost	24,75	37	32,1	30,6	37,25	35,8
SD	3,20	2,94	2,16	2,30	2,50	2,17

Tablica 2. Rezultati debljine nanosa boje korištenjem sita linijature 60 niti/cm

	CT - 60	CT - 60 - PLA	CT - 60 - PCL	CP - 60	CP - 60 - PLA	CP - 60 - PCL
Srednja vrijednost	13,2	15,6	14	15,4	22,8	23,4
SD	1,71	2,04	3,74	3,21	3,11	2,88

Mjerenje debljine nanosa boje provodilo se na tri različita uzorka otiska. Iz prikazanih rezultata može se zaključiti da različiti premazi koje smo nanijeli na papir utječu na povećanje debljine nanosa, jer smo najmanje debljinu premaza dobivali na podlogama koje nisu premazane primerima, odnosno običnom papiru. To je direktna poveznica tomu da PCL i PLA primeri nekim dijelom utječu na upojnost papira. Deblji suhi izmjereni nanos boje tako je rezultat smanjene upojnosti papirne podloge. Također, bitno je spomenuti i da sama debljina nanosa primera na papir iznosi između deset i jedanaest milimetara. Linijatura mrežice je također utjecala na debljinu nanosa. S povećanjem linijature mrežice, slabija je bila propusnost boje, čime je debljina nanosa na linijaturi 60 niti/cm manja, nego kod 32 niti/cm. Prema rezultatima vidimo kako kod crne pokrivne



boje imamo veću debljinu nanosa, iz čega zaključujemo da transparentna crna ima veće svojstvo upijanja u papirnu podlogu. Kod PLA primera prisutan je veći utjecaj na smanjenje upojnosti papira, odnosno rezultati prikazuju veće debljine nanosa boje kod PLA primera, nego kod PCL-a.

#### 4.2 Rezultati mjerenja hrapavosti otiska

Tablica 3. Hrapavost otiska kod linijature 32 niti/cm

	32 l/cm	
	Ra ( $\mu\text{m}$ )	SD
<b>CT</b>	3,02	0,21
<b>PLA + CT</b>	2,55	0,19
<b>PCL + CT</b>	2,34	0,22
<b>CP</b>	1,94	0,18
<b>PLA + CP</b>	1,67	0,16
<b>PCL + CP</b>	1,71	0,24

Tablica 4. Hrapavost otisaka kod linijature 60 niti/cm

	60 l/cm	
	Ra ( $\mu\text{m}$ )	SD
<b>CT</b>	2,80	0,34
<b>PLA + CT</b>	2,17	0,15
<b>PCL + CT</b>	2,10	0,17
<b>CP</b>	1,56	0,19
<b>PLA + CP</b>	1,50	0,15
<b>PCL + CP</b>	1,62	0,23

Tablica 5. Rezultati Ra parametra hrapavosti papira

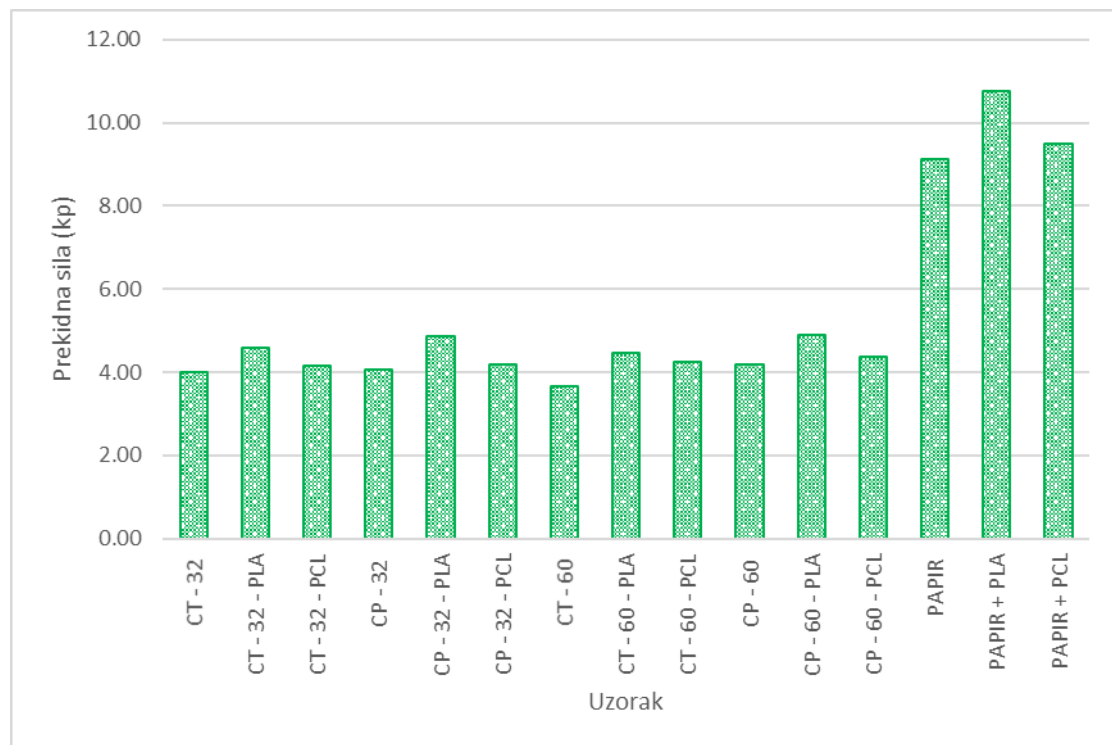
	Ra ( $\mu\text{m}$ )	SD
<b>Papir</b>	2,34	0,18
<b>PLA</b>	2,24	0,12
<b>PCL</b>	2,50	0,09

Rezultati mjerenja hrapavosti prikazani su budući da eksperiment otiranja otisaka nije bilo moguće provesti. Naime, prilikom pokušaja podvrgavanja otisaka otiranju, dolazilo je do gužvanja i deformacija otisaka, što je moguće pripisati površinskoj teksturi i svojstvima otisnute boje. Stoga je u svrhu dodatne karakterizacije površine provedeno

mjerenje hrapavosti. Prema rezultatima mjerenja Ra parametra hrapavosti (srednje aritmetičko odstupanje profila) vidljivo je kako je hrapavost otiska pokrivne crne manja, nego kod transparentne crne. Također, moguće je zaključiti kako primeri nemaju prevelike utjecaje na hrapavost kada su u pitanju obje boje.

### 4.3 Otpornost na kidanje

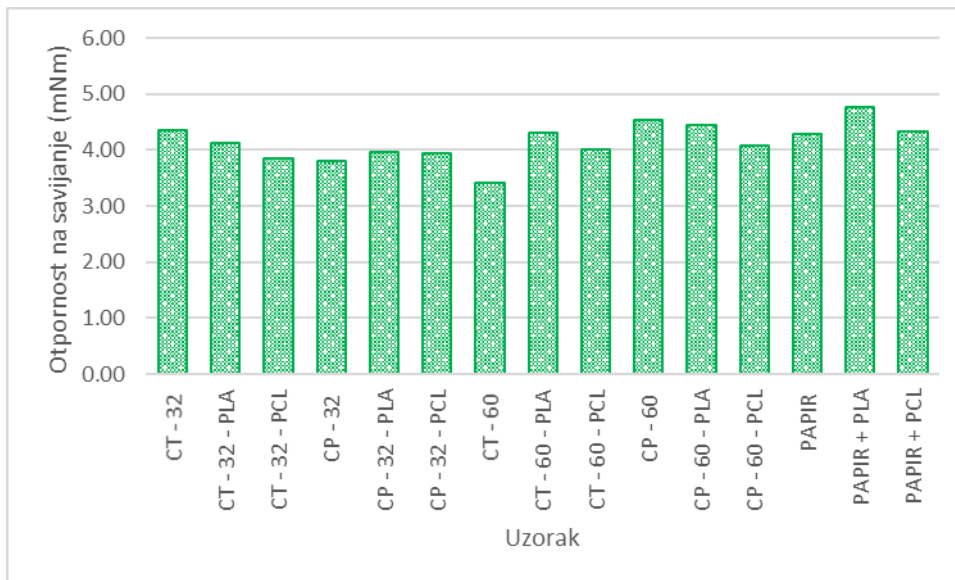
Dijagram 1. Prikaz rezultata prekidne sile



Iz rezultata ovog testa vidljivo je kako boje, vjerojatno zbog karakteristike da su na bazi vode, uveliko smanjuju otpornost na kidanje. Prema dijagramu moguće je vidjeti kako papiri bez boja imaju najveće otpornosti na kidanje, dok se rezultati prekidne sile papira s otisnutim bojama kreću u otprilike sličnim rasponima. Boja ulazi u samu strukturu papira, a kako je na bazi vode, smanjuje otpornost papira na kidanje. Primeri nanoseni na papir sami po sebi mu povećavaju otpornost na kidanje. Utjecaj primera također je pokazao mala smanjenja utjecaja tiskarskih boja na smanjenje otpornosti na kidanje. Među dva primera koja smo koristili, PLA se pokazao kao bolji, odnosno ima veći utjecaj na poboljšanje otpornosti na kidanje, nego PCL. Kako bismo još više smanjili utjecaj boja, rješenje bi bilo deblji nanos primera, a koristili bismo PLA primer, pošto je pokazao da ima veći utjecaj na poboljšanje ovog mehaničkog svojstva papira i da više pridonosi smanjenju utjecaja boja na otpornost na kidanje.

## 4.4 Otpornost na savijanje

Dijagram 2. Prikaz rezultata otpornosti na savijanje



Kao i kod rezultata mjerenja otpornosti na kidanje, vidljivo je da otpornost na savijanje ovisi o slojevima primera i tiskarskih boja na papiru. Ipak, utjecaj primera i boja na otpornost na savijanje nije ni približno toliko značajan kao na otpornost na kidanje. Najveću otpornost na savijanje ima papir s PLA primerom, bez nanesene tiskarske boje. Ovo potvrđuje prednost PLA kao primera u odnosu na PCL. Najmanju otpornost na savijanje pokazao je uzorak papira s otisnutom transparentnom crnom bez primera, uz korištenje mrežice linijature 60 niti/cm, no taj rezultat moguće je pripisati varijabilnostima u samim uzorcima prilikom mjerenja, budući da razlike izmjenjenih vrijednosti nisu značajne, niti pokazuju jasan trend u smislu utjecaja primera ili boja. Moguće je zaključiti da niti korišteni primeri, niti tiskarske boje, ne pogoršavaju otpornost na savijanje samog papira. U budućim istraživanjima trebalo bi provjeriti utjecaj debljine sloja primera na ovo mehaničko svojstvo papira, uz davanje prednosti korištenju PLA umjesto PCL-a.

## 5. ZAKLJUČAK

Cilj ovog rada bio je analizirati utjecaj primera PCL i PLA u kombinaciji s transparentnom i pokrivnom vrstom boje na svojstva otisnutog sitotiskarskog proizvoda: otpornost na kidanje, otpornost na savijanje, hrapavost i debljinu nanosa boje. Iz prikazanih rezultata istraživanja vidljivo je da primeri imaju direktan utjecaj na neka svojstva otiska. Iz rezultata je moguće zaključiti:

- Korišteni primeri smanjuju upijanje tiskarskih boja u papir. Dodatno, debljina nanosa korištenih tiskarskih boja veća je na papirima premazanima PLA primerom, nego na papirima premazanima PCL primerom, što znači da PLA smanjuje upijanje tiskarske boje u papir više nego PCL;
- Primeri ne utječu značajno na hrapavost tiskovne podloge (ofsetni papir), kao ni transparentna crna boja. Pokrivna crna boja smanjuje hrapavost površine. Linijatura mrežice utječe na hrapavost površine na očekivani način: hrapavost je nešto manja na otiscima dobivenima sitom linijature 60 niti/cm, nego na otiscima dobivenima sitom linijature 32 niti/cm;
- Obje tiskarske boje uzrokuju smanjenje otpornosti na kidanje otisnutog papira. PLA i PCL poboljšavaju otpornost na kidanje papira, s time da se PLA primer pokazao kao najbolji za povećanje otpornosti (otisnutog) papira na kidanje;
- Korišteni primeri i tiskarske boje ne smanjuju otpornost papira na savijanje.

Pozitivna strana korištenja PLA i PCL-a je također to što su biorazgradivi, čime se ne utječe štetno na okoliš. Buduće istraživanje trebalo bi stoga posvetiti proučavanju utjecaja debljine odabranog primera na mehanička i ostala svojstva otisnutog proizvoda, uz davanje prednosti PLA materijalu zbog izraženijeg pozitivnog utjecaja na smanjenje upojnosti papira i na povećanje otpornosti na kidanje.

## 6. LITERATURA

1. [http://p7cdn4static.sharpschool.com/UserFiles/Servers/Server\\_444330/File/Parents/Teacher%20Web%20Pages/smizener/history%20of%20screen%20printing.pdf](http://p7cdn4static.sharpschool.com/UserFiles/Servers/Server_444330/File/Parents/Teacher%20Web%20Pages/smizener/history%20of%20screen%20printing.pdf) datum pristupa: 18.05.2021.
2. S. Bolanča – K. Golubović: Tehnologija tiska od Gutenberga do danas Senj. zb. 35, 125-146 (2008.)
3. Sanja Mahović Poljaček - Tiskovna forma za sitotisak (2018.)  
[https://moodle.srce.hr/2018-2019/pluginfile.php/2113526/mod\\_resource/content/1/Predavanje11-tiskovna%20forma%20za%20propusni%20tisak.pdf](https://moodle.srce.hr/2018-2019/pluginfile.php/2113526/mod_resource/content/1/Predavanje11-tiskovna%20forma%20za%20propusni%20tisak.pdf) (Powerpoint prezentacija)
4. Igor Majnarić – Sitotisak (2018.) [https://moodle.srce.hr/2019-2020/pluginfile.php/3422556/mod\\_resource/content/1/MTT%20predavanje%207b.pdf](https://moodle.srce.hr/2019-2020/pluginfile.php/3422556/mod_resource/content/1/MTT%20predavanje%207b.pdf) (Powerpoint prezentacija)
5. Akademija likovnih umjetnosti u Zagrebu GRAFIČKA TEHNOLOGIJA  
Priredio Ivo Vrtarić Zagreb, 2004.
6. <http://gogss.hr/wp-content/uploads/2015/02/tiskovne-forme.pdf> datum pristupa: 20.06.2021.
7. *Osnovni grafički materijali-Grafičke boje*. Preuzeto s  
<https://silo.tips/download/2-osnovni-grafiki-materijali-grafike-boje>
8. Kraljević M. (2020.) – *Utjecaj koncentracije UV-luminiscentnog pigmenta na reprodukciju u propusnom tisku*, Završni rad, Grafički fakultet
9. Jamnicki Hanzer S. (2019.), *Tiskarske boje*, dostupno na:  
[https://moodle.srce.hr/2019-2020/pluginfile.php/3078773/mod\\_resource/content/1/Tiskarske%20boje\\_prvo%20predavanje.pdf](https://moodle.srce.hr/2019-2020/pluginfile.php/3078773/mod_resource/content/1/Tiskarske%20boje_prvo%20predavanje.pdf)
10. Jamnicki Hanzer S. (2019.), *Opća svojstva tiskarskih boja*, dostupno na:  
[https://moodle.srce.hr/2019-2020/pluginfile.php/3290140/mod\\_resource/content/1/Opca%20svojstva%20tiskarski%20boja\\_reologija.pdf](https://moodle.srce.hr/2019-2020/pluginfile.php/3290140/mod_resource/content/1/Opca%20svojstva%20tiskarski%20boja_reologija.pdf)
11. Jamnicki Hanzer S. (2019.), *Boje po tehnikama tiska: bakrotisak, sitotisak, ink-jet tisak*, dostupno na: [https://moodle.srce.hr/2019-2020/pluginfile.php/3316273/mod\\_resource/content/1/TB\\_bakrotisak%2C%20sitotisak%2C%20ink-jet.pdf](https://moodle.srce.hr/2019-2020/pluginfile.php/3316273/mod_resource/content/1/TB_bakrotisak%2C%20sitotisak%2C%20ink-jet.pdf)
12. <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/biodegradable-material>, datum pristupa: 25.07.2021.
13. Raković D., Uskoković D., *Biomaterijali*, 2010., dostupno na:  
<https://core.ac.uk/download/pdf/197932746.pdf>
14. Uglešić P. (2015.), *Biorazgradivi polimeri i njihova primjena*, Završni rad, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije
15. <https://hr.decorexpro.com/gruntovka/vidy/>, datum pristupa: 10.08.2021.
16. Šarić D. (2019.), *Analiza reprodukcije rasterskih elemenata na in-line oplemenjenoj tiskovnoj podlozi u elektrofotografskom tisku*, Diplomski rad, Grafički fakultet
17. N.R. Nair, A. Pandey, *Biodegradation of Biopolymers*, 2017, dostupno na:  
<https://www.sciencedirect.com/topics/chemical-engineering/polycaprolactone>

18. Stanojević M. (2015.) - *Utjecaj celuloze na razgradnju PCL/PLA mješavina*, Diplomski rad, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije
19. F.Car, I. Čevič, I. El-Sayed, Z. Hajdari Grečić, D. Vrsaljko -.*Priprema i ispitivanje svojstava polimernih mješavina na osnovi PLA*, 2018
20. <http://screenprinting.tech/vastex-exposit.html>, datum pristupa: 18.08.2021.
21. <https://www.vastex.com/Screen-Printing-Equipment/Prepress-Equipment/Dri-Vault/Dri-Vault-1024.php>, datum pristupa: 18.08.2021.
22. <https://sefarmeshapp.inaffect.one/cms/equipment/sefar-humicheck/>, datum pristupa: 20.08.2021.
23. <https://www.t-lotus.com/hr/mjeraci/mjerenje-debljine-sloja/mjerac-tqc-salutron-d4-d5/>, datum pristupa: 20.08.2021.
24. L&W Bending Tester Lorentzen & Wettre Products | Paper Testing dostupno na: [https://library.e.abb.com/public/bc672d978b194e65824b76726ec3e812/160\\_LW\\_Bending%20Tester\\_v2.0.pdf](https://library.e.abb.com/public/bc672d978b194e65824b76726ec3e812/160_LW_Bending%20Tester_v2.0.pdf)
25. Jamnicki Hanzer S., *Mehanička ispitivanja papira*, Powerpoint prezentacija, dostupno na: <http://materijali.grf.unizg.hr/media/vjezba%204.pdf>
26. PREGAN NT 9 K Technical information, dostupno na: [https://www.kiwo.de/fileadmin/default/TI\\_PDF/en/PREGAN\\_NT\\_9\\_K.PDF](https://www.kiwo.de/fileadmin/default/TI_PDF/en/PREGAN_NT_9_K.PDF)
27. KIWO Azocol Z 133 Technical information, dostupno na: [https://www.kiwo.de/fileadmin/default/TI\\_PDF/en/AZOCOL\\_Z\\_133.pdf](https://www.kiwo.de/fileadmin/default/TI_PDF/en/AZOCOL_Z_133.pdf)