

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**

**GRAFIČKI FAKULTET**

**ZAVRŠNI RAD**

**Kristijan Kavan**



Sveučilište u Zagrebu  
Grafički fakultet

Smjer: Tehničko-tehnološki smjer

# **ZAVRŠNI RAD**

## **MODIFIKACIJA SVOJSTAVA TISKOVNIH FORMI IZRAĐENIH OD TEKUĆIH FOTOPOLIMERA**

**Mentorica:**

izv. prof. dr. sc. Sanja Mahović Poljaček

**Student:**

Kristijan Kavan

Zagreb, 2017

## Sažetak

Fleksotisak je visoka tehnika tiska čiji je ubrzani razvitak počeo krajem prošlog stoljeća kada je istraživanje za razvoj fleksotiska postalo vremenski i financijski isplativije. Od tada se koristi kao glavna tehnika tiska na ambalažne proizvode. Svojstva polimerne tiskovne forme značajno utječu na svojstva otiska. Za potrebe što kvalitetnijeg tiska potrebno prilagoditi tiskovnu formu kako bi dobili najkvalitetniji otisak na tiskovnoj podlozi. U ovom radu razmatraju se svojstva tiskovne forme izrađene od fotopolimera. Cilj ovog rada je izrada tiskovne forme od tekućih fotopolimera i proučavanje utjecaja trajanja glavne ekspozicije na mehanička i površinska svojstva tiskovne forme, kao i utjecaja na formiranje i kvalitetu otisnutih tankih linija. Tiskovne forme izrađene su UV zračenjem. Trajanje glavne ekspozicije direktno utječe na svojstva tiskanih tankih linija, slobodnu površinsku energiju i tvrdoću forme. Promjenom trajanja glavne ekspozicije dobivaju se tiskovne forme i tiskovni elementi različitih svojstava. Rezultati ovog rada mogu se uzeti kao vodič za prilagodbu tiskovne forme za dobivanje najkvalitetnijeg otiska na tiskovnoj podlozi u fleksotisku.

Ključne riječi: fleksotisak, fotopolimerna tiskovna forma, UV zračenje, kvaliteta otiska

## Abstract

Flexography is a type of relief printing which began to develop rapidly at the end of the last century when it became less financially demanding and time consuming. Since then flexography has become primary printing technique for packaging material. The properties of the polymer printing form significantly affect the properties of the print. To make print quality better it is needed to adapt the printing form to get the highest quality print on the printed media. In this paper, the properties of the photopolymer printing form are considered. The goal of this paper is to produce a printing form made out of liquid photopolymers and to study the influence of the main exposure time on the mechanical and surface properties of the printing form as well as the influence on the formation and quality of the printed thin lines. Printing forms are made with UV radiation. The duration of main exposure directly influences the properties of printed thin lines, surface free energy, and hardness of the printing form. By changing the duration of the main exposure, printing forms and printing elements of different properties are obtained. The results of this paper can be taken as a guide to adapting the printing form to obtain the highest quality print on flexographic printing.

Key words: flexography, photopolymer printing form, UV radiation, print quality

## Sadržaj

1. UVOD.....	1
2. TEORIJSKI DIO.....	2
2.1. Osnove fleksotiska.....	2
2.1.1. Povijest fleksotiska.....	2
2.1.2. Princip rada fleksotiska.....	4
2.1.3. Primjena fleksotiska.....	5
2.1.4. Fleksotiskarske boje.....	6
2.2. Polimerne tiskovne forme.....	6
2.2.1. Razvoj polimernih tiskovnih formi.....	7
2.2.2. Postupci izrade polimernih tiskovnih formi.....	8
2.2.2.1. Konvencionalni postupak izrade tiskovne forme.....	9
2.2.2.2. Digitalni postupak izrade tiskovne forme.....	12
3. EKSPERIMENTALNI DIO.....	16
3.2. Priprema uzoraka.....	16
3.3. Mjerenje svojstava tiskovnih formi i značajki otisaka.....	16
4. REZULTATI I DISKUSIJA.....	18
4.1. Mjerenje slobodne površinske energije.....	18
4.2. Mjerenje tvrdoće tiskovne forme .....	19
4.3. Mjerenje debljine linija na tiskovnoj formi .....	20
4.4. Mjerenje testnih otisaka.....	21
5. ZAKLJUČAK.....	24
6. LITERATURA.....	25

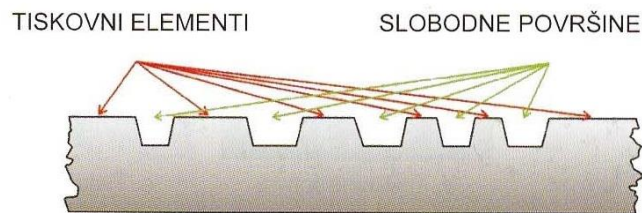
## ***1. UVOD***

Fleksotisak se je tehnika visokog tiska. Pritiskom prenosi bojilo sa elastične polimerne tiskovne forme na tiskovnu podlogu. Zbog savitljivosti tiskovne forme fleksotiskom se može tiskati na više materijala. Lakše podnosi površinske nepravilnosti pa je bolji izbor kod grubih i teksturnih površina. Na valoviti se karton većinom tiska fleksotiskom. Savitljivu tiskovnu formu ograničava raster gdje se tiskovna forma, prilikom tiska, deformira i nastaje rasterski prirast elementa. RTV je nešto što se u tehnologiji tiska ne može izbjeći, a izražen je u fleksotisku zbog savitljivosti forme. Najvažniji faktor rasterskog prirasta elemenata je podešavanje pritiska. Zato će pritisak koji je potreban za tiskanje na tvrde podloge deformirati fini raster. Izbjegava se tisak finih detalja. Rasteri kod fleksotiska obično su veličine između 60 i 120 dpi.

## 2. TEORIJSKI DIO

### 2.1. Osnove fleksotiska

Fleksotisak je tehnika rotacijskog visokog tiska u kojem su slobodne površine udubljene, a tiskovni elementi izbočeni i uvijek su iste visine (slika 1.). Tisak se vrši izravno pomoću elastične tiskovne forme najčešće načinjene od fotopolimera ili gume.



**Slika 1. Presjek polimerne tiskovne forme**

(izvor: Gojo M., Mahović Poljaček S. (2013). Osnove tiskovnih formi, Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet, Zagreb)

#### 2.1.1. Povijest fleksotiska

Razvoj knjigotiska i fleksotiska počinje od sredine 15. stoljeća kada je Johannes Gutenberg izumio pokretna slova koja su bojana i utiskivana prešom u tiskovnu podlogu principom visokog tiska [1]. Prvi fleksotiskarski stroj je patentiran 1890. godine u Liverpoolu, a osmislili su ga Bibby, Baron and Sons. To je bio prvi stroj na kojem su korištene gumene tiskovne forme [2]. Originalan naziv fleksotiska bio je anilinski tisak zbog anilinskog ulja korištenog u spravljanju boje za tisak [1]. Boja na bazi vode se tijekom tiska lako razlijevala [2]. 1905. godine C. A. Holweg izrađuje stroj za anilinski tisak kao doradni proces pri izradi vreća. 1908. godine izrađuje prvi stroj za anilinski tisak. Od tada je anilinski tisak sve više upotrebljavan u tisku ambalaže, pogotovo na tada novom materijalu - celofanu, koji je jako neupojna podloga za tiskanje. Postala je, tijekom vremena, jedina tehnika tiska na taj materijal. To također vrijedi za druge sintetičke materijale [1]. 30-tih godina prošlog stoljeća anilinske boje proglašene su otrovnima. Zbog toga je njihovo korištenje u tisku prehrambene ambalaže zabranjeno [3]. Razvijene su nove tiskarske boje za anilinski tisak, ali je naziv ostao isti sve do 1951. godine kada je Franklin Moss, direktor tvrtke Mosstype, započeo

kampanju za promjenu naziva. Potreba za promjenom naziva se pojavila jer je, iako neotrovan, anilin pratila loša reputacija među proizvođačima koji nisu htjeli koristiti anilinski tisak [1]. Više od 200 naziva je stavljeno na glasanje [2]. Nakon glasanja, 1952. godine, anilinski tisak dobio je naziv fleksotisak jer se za tisak koriste gumene fleksibilne tiskovne forme. Taj naziv ostao je do danas [1]. 1930-tih godina izumljene su sintetičke gume koje su bile kvalitetnije i pouzdanije od dotadašnjih prirodnih guma [3]. Zbog mekoće i elastičnosti guma od kojih su rađene tiskovne forme otisak je bio lošije kvalitete od ostalih tehnika tiska pa je fleksotisak bio korišten samo za tisak na ambalažu, koja nije zahtjevala veliku kvalitetu otiska. 1938. godine Douglas Tuttle i Joe Viner izumljuju aniloks valjak. Kako su tada boje za fleksotisak bile na bazi anilina, zvale su se *anilox* boje pa je i taj valjak prozvan aniloks valjkom. Tvrтка Mosstypе je bila prva koja je primjenila aniloks valjak, gravirani valjak za nanos bojila na tiskovnu formu. Aniloks valjak služi za nanos boje na tiskovnu formu i zadužen je za doziranje nanosa bojila. Iako je 1949. godine anilin ipak proglašen neotrovnim, 50-tih godina prošlog stoljeća nastaju nove i sigurnije boje na bazi poliamida za fleksotisak, tada još pod nazivom anilinski tisak [1].

Krajem 50-tih godina prošlog stoljeća, kada tvrtka Hooper-Swift na fleksotiskarski pogon dodaje doradni stroj za savijanje i lijepljenje, fleksotisak se sve više koristio za tisak na transportne kutije izrađene od valovitog kartona. Početkom 70-tih godina prošlog stoljeća u uporabi je bilo oko 2000 takvih doradnih strojeva na čitavom svijetu [4].

70-tih godina prošlog stoljeća polimerne tiskovne forme počinju istiskivati gumene. Osim što su polimerne forme bile kvalitetnije davale su i kvalitetniji otisak. 80-tih godina, zahvaljujući sve većoj ekološkoj osviještenosti, sve se više počinju koristiti boje na bazi vode, a sve manje boje na bazi otapala koja nisu štetna za pakiranje hrane, ali su štetna za okoliš. Budući da je dizajn, izgled i kvaliteta otiska na ambalaži postajao sve važniji u reklamiranju i promociji proizvoda, fleksotisak je zahvaljujući svojim brzosušećim i rijetkim bojama na bazi vode davao kvalitetniji otisak na neupojne podloge od knjigotiska i ofsetnog tiska, koji za tisak koriste gušće boje, te ih je sve više istiskivao iz tiska na ambalažu. Fleksotisak se također sve više počeo koristiti za tisak na papir. Krajem 20-tog stoljeća u fleksotisku se počinju koristiti i UV sušeća bojila

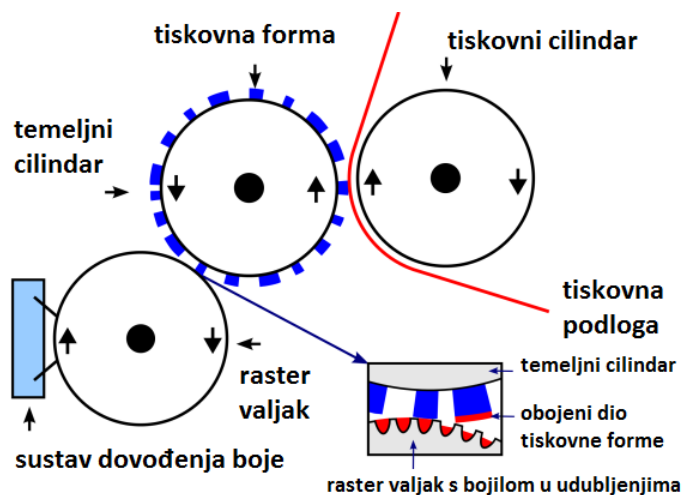


koja se suše polimerizacijom pomoću UV zračenja. Sušenje takvih boja traje jako kratko, manje od sekunde. Kratko sušenje rješava određene probleme fleksotiska poput prirasta rasterskih elemenata [1].

Fleksotisak se počeo brzo razvijati tijekom 90-tih godina prošlog stoljeća, kada je istraživanje za razvoj fleksotiska postalo vremenski i financijski isplativije. Od tada se koristi kao glavna tehnika tiska na ambalažne proizvode.

### 2.1.2. Princip rada fleksotiska

Fleksotisak je tehnika izravnog otiskivanja. Prilikom otiskivanja tiskovna forma i tiskovna podloga su u izravnom kontaktu pa predložak na kojem se nalazi motiv i tiskovna forma moraju biti stranično neispravni. Tiskarska boja se preko duktora nanosi raster cilindrom tj. aniloks cilindrom na tiskovnu formu, u nanosima jednake debljine (slika 2.).

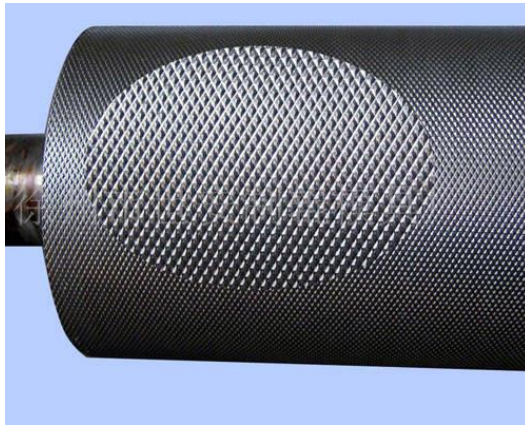


Slika 2. Princip rada fleksotiska

Količina boje koja se nanosi na tiskovnu formu ovisi o linijaturi aniloks cilindra koji se koristi (Slika 3.). Višetonski se otisci dobivaju tehnologijom rastriranja pomoću raster cilindra. Gumeni cilindar uronjen u bojanik prenosi boju na raster cilindar koji zatim obojava tiskovne elemente na tiskovnoj formi ili je bojanik u izravnom kontaktu s raster

cilindrom. Na aniloks cilindru se nalazi rasterska mrežica [1]. Ona omogućuje bolji prijenos bojila na tiskovnu formu.

Rakelom, posebnim nožem se uklanja višak bojila sa aniloks valjka. Tiskovna podloga prolazi između tiskovnog cilindra i temeljnog cilindra na kojemu je pričvršćena tiskovna forma. Tako se vrši otiskivanje. Pošto je gumena tj. polimerna tiskovna forma mekša od metalnih tiskovnih formi pritisak tiskovnih elemenata na tiskovnu podlogu ne treba biti velik.



**Slika 3. Aniloks cilindar**

(izvor: [http://dghcr.en.ec21.com/offer\\_detail/Sell\\_anilox\\_roller--23247616.html](http://dghcr.en.ec21.com/offer_detail/Sell_anilox_roller--23247616.html))

### **2.1.3. Primjena fleksotiska**

Fleksotiskom se, zbog fleksibilnosti i niske tvrdoće tiskovne forme i svojstava tiskarskih boja koje se koriste u fleksotisku, može tiskati na mnoge hrapave, glatke, tvrde, meke, te upijajuće i neupijajuće tiskovne podloge. Najčešće se koristi za tisak na materijale poput valovitog kartona, metalne folije, celofana, plastike, papirnatih i plastičnih vrećica i čaša, koji se koriste za prehrambenu i transportnu ambalažu, a ponekad i novine. Tekući fotopolimeri se najčešće koriste u tisku na plastične vrećice, markice i valovite kartone. Pomoću fleksotiska se može tiskati i tiskana elektronika (slika 4.).



**Slika 4. Plastična vrećica otisnuta fleksotiskom**  
(izvor: <http://solarpaint.tradeindia.com/hd-flexo-printing-polythene-bag-866040.html>)

#### 2.1.4. Fleksotiskarske boje

U fleksotisku se koriste boje na bazi vode, boje na bazi otapala i UV sušeće boje. Karakterizira ih velika količina otapala, mala koncentracija pigmenta i niska viskoznost. Izuzetak su UV sušeće boje koje ne sadrže otapalo. Boje, na bazi otapala ili vode, se suše isparavanjem otapala. Što je više otapala u boji to će se ona brže sušiti [5].

Koja će se boja koristiti najviše ovisi o vrsti tiskovne podloge. Prvo su se koristile boje na bazi otapala zbog svoje sposobnosti da se dobro adsorbiraju na tiskovnu formu. Boje na bazi vode, zbog svoje veće površinske napetosti, nisu povoljne za tisak na plastične materijale. Koriste se za tisak na papir, valoviti karton, salvete, maramice, tapete i papirnate vrećice. UV sušeće boje su većeg viskoziteta, izdržljivije i daju otisak veće kvalitete od ostalih fleksotiskarskih boja. Skuplje su, a razlog tome su skuplji pigmenti [5].

## 2.2. Polimerne tiskovne forme

Tiskovne forme za fleksotisak izrađuju se od fotopolimera i prirodne ili sintetske gume. Karakterizira ih savitljivost. Gumene se tiskovne forme danas rijetko koriste, slabe su dimenzionalne stabilnosti, a zbog upotrebe dušične kiseline štetne su za okoliš. Danas se izrađuju CtP (*Computer to Plate*) postupcima, laserskim graviranjem i ablacijom [1].

Fotopolimeri postoje u krutom i tekućem stanju. Najčešće se koriste oni u krutom stanju. Najznačajnije svojstvo fotopolimera je svojstvo fotoosjetljivosti na čemu se bazira cijeli postupak izrade tiskovne forme za fleksotisak izrađene od fotopolimera (slika 5.). Selektivnim osvjetljavanjem osvijetljeni dio polimerizira tj. otvrdnjava, dok neosvijetljeni dio ostaje nepolimeriziran, te se uklanja s površine tiskovne forme kemijskim ili mehaničkim putem. Uklanjanjem neosvijetljenih dijelova tiskovne forme stvara se geometrijska razlika tiskovnih elemenata i slobodnih površina. Postoji više tipova fotopolimernih tiskovnih formi:

- fotopolimerne tiskovne forme od tekućeg fotopolimera;
- fotopolimerne tiskovne forme od krutog polimera;
- fotopolimerne tiskovne forme za digitalne postupke (CtP).

Tekući fotopolimer je jeftiniji od krutog. Primjenjuje se kod nižih linijatura rastera. Mane tekućih polimera, u odnosu na krute, su nejednaka debljina forme i ograničen vijek trajanja [1].



**Slika 5. Primjer polimerne tiskovne forme**

(izvor: <http://foodnewsinternational.com/2014/08/13/europe-flint-group-flexographic-products-presents-new-plate-for-flexible-packaging-label-printing/>)

### **2.2.1. Razvoj polimernih tiskovnih formi**

Prvi rotacijski visoki tisak koristio je metalne tiskovne forme. Prve polimerne tiskovne forme izrađivale su se od prirodne gume. Takve tiskovne forme nisu davale kvalitetan otisak. 30-tih godina prošlog stoljeća pojavljuju se tiskovne forme izrađene od

sintetičke gume. Bile su malo kvalitetnije od prirodnih, ali tada fleksotisak po kvaliteti otiska nije bio poput drugih razvijenijih tehnika tiska, kao što su ofset i knjigotisak [3]. Pojava fotopolimernih tiskovnih formi uvelike pridonosi razvoju fleksotiska. 60-tih i 70-tih godina prošlog stoljeća sve su velike tiskarske tvrtke prebacile na razvoj fotopolimernih tiskovnih formi.

Jednu od prvih tiskovnih formi na bazi elastomera patentirao je William McGraw za tvrtku DuPont 1962. godine. 1974. godine Dupont predstavlja prvu tiskovnu formu izrađenu od krutog fotopolimera pod nazivom Cyrel. Japanska tvrtka Tokyo Ohka Kogyo 1975. godine predstavlja svoju fotopolimernu tiskovnu formu pod nazivom Elaslom. 1979. godine tvrtka BASF izbacuje na tržište svoju Nylofix tiskovnu formu [6].

Prvu polimernu tiskovnu formu na bazi tekućeg fotopolimera izrađuju tvrtke Rubber i Goodyear Tire pod nazivom Phasar 1977. godine [6].

U Japanu 1976. godine tvrtka Nippon Paint predstavlja polimernu tiskovnu formu Runaflex koja se razvijala otapalom. Prestala se proizvoditi 1984. Godine. 1992. godine tvrtka Supratech Systems predstavlja polimernu tiskovnu formu koja se razvijala vodom pod nazivom Flaxceed [6].

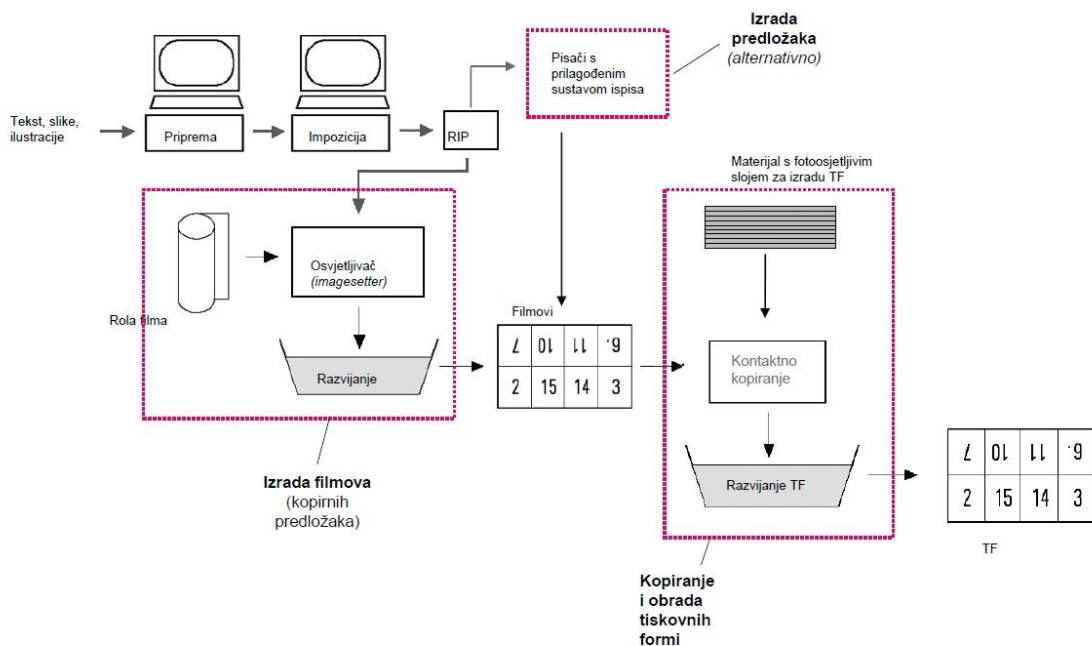
2002. godine tvrtka Dupont predstavlja Cyrel Fast tehnologiju kako bi iz procesa izrade tiskovne forme izbacila otapalo. Neosvijetljeni dijelovi fotopolimera su se uklanjali termalnim otapanjem [6].

### **2.2.2. Postupci izrade polimernih tiskovnih formi**

U računalu se unose podaci poput teksta, slika i ilustracija. Nakon prijeloma stranica i impozicije slijedi postupak obrade digitalnih podataka u RIP-u, *Raster Image Processor-u*. Nakon digitalne obrade podataka tiskovna forma se može izraditi konvencionalnim ili digitalnim postupkom.

### 2.2.2.1. Konvencionalni postupak izrade tiskovne forme

Nakon digitalne obrade podataka slijedi izrada filmova. Osvjetljavanjem, razvijanjem i fiksiranjem dobiva se motiv na filmu. Na motivu se nalaze obrađeni podaci prethodno uneseni u računalo koji će se putem predloška prenijeti na tiskovnu formu kontaktnim kopiranjem. Selektivnim osvjetljavanjem fotopolimernog materijala kroz negativ predložak on postaje netopiv na mjestima gdje je osvjetljen. Nakon osvjetljavanja slijedi razvijanje u razvijaju kako bi uklonili topive dijelove tiskovne forme kako bi dobili reljefnu razliku tiskovnih elemenata i slobodnih površina. Nakon razvijanja slijedi sušenje. Za konvencionalni postupak koriste se kruti i tekući fotopolimer.



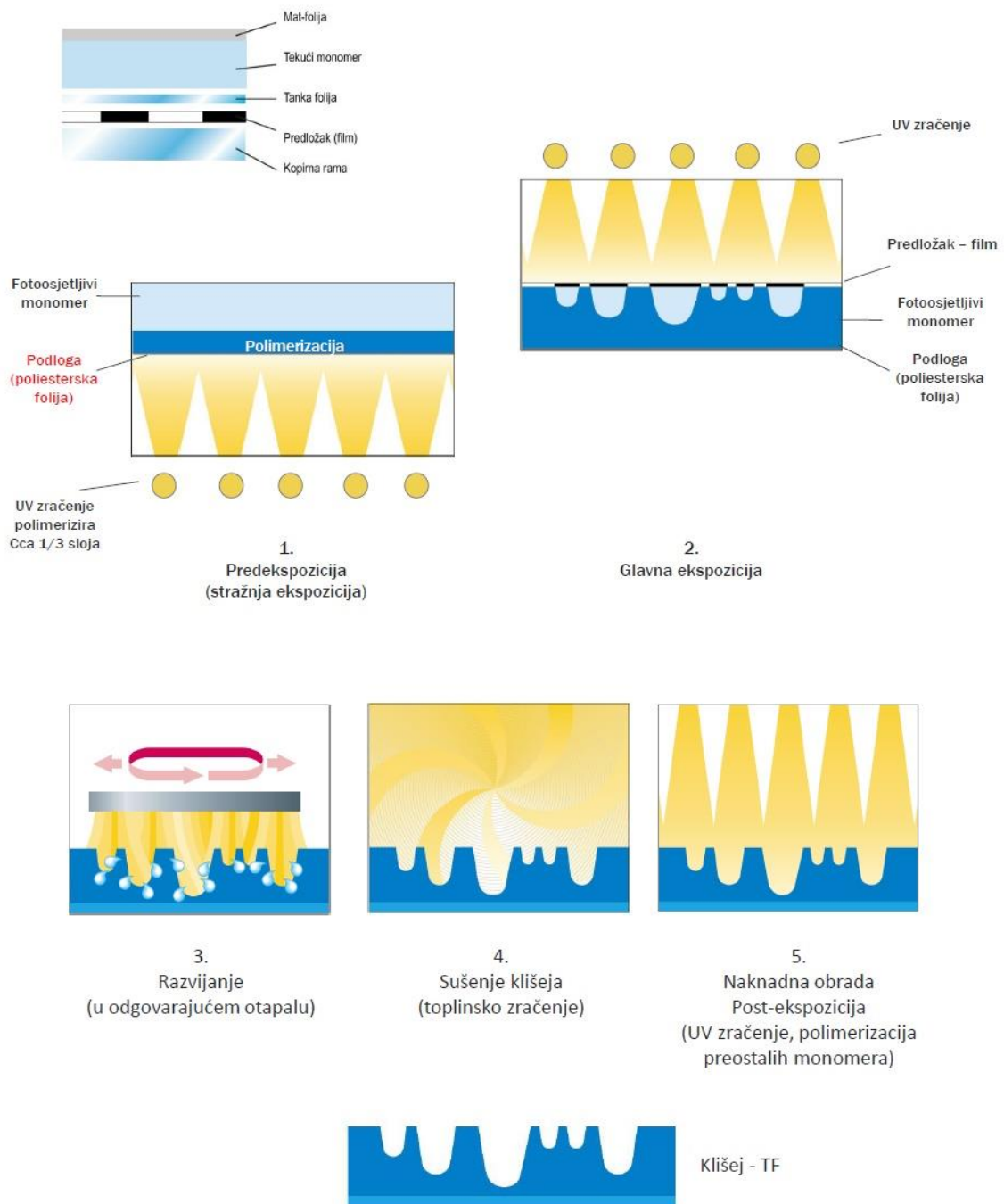
**Slika 6. Konvencionalni postupak izrade tiskovne forme**  
(izvor: Mahović Poljaček S. Predavanja iz kolegija Tiskovne forme 1 (15./16.))

Tiskovna forma od tekućeg fotopolimera se izrađuje u uređaju za osvjetljavanje (Slika 7.). Na staklo kopirnog uređaja polaže se polieterska folija koja sprječava izravan kontakt tekućeg fotomomera i stakla kopirnog uređaja. Volumen tiskovne forme određuje se samoljepljivim graničnicima koji se lijepe za foliju. Graničnici se lijepe tako da ostavimo mali prostor za eventualni izlaz viška tekućeg fotopolimera. Druga

poliesterska folija nanosi se preko tekućeg fotopolimera kako bi se spriječio izravan kontakt s predloškom.

Fotopolimer se osvjetljava UV fluorescentnim cijevima kroz negativski predložak i dolazi do fotopolimerizacije. Fotopolimer se osvjetljava u 3 faze:

1. Preekspozicija - osvjetljavanje tiskovne forme sa stražnje strane kako bi se stvorila podloga koja drži tiskovne elemente. Što je vrijeme osvjetljavanja duže, zračenje prodire dublje i izaziva dubinsku polimerizaciju. Definira se vrijeme osvjetljavanja tako da fotopolimerizira 1/3 debljine tiskovne forme.
2. Glavna ekspozicija - osvjetljavanje površine tiskovne forme kroz predložak. Osvjetljena mjesta na tiskovnoj formi formirat će tiskovne elemente dok će neosvjetljena mjesta postati slobodne površine.
3. Razvijanje - Nakon glavne ekspozicije slijedi kemijska ili mehanička obrada tiskovne forme kako bi se odvojile slobodne površine od tiskovnih elemenata, odnosno kako bi se uklonili neosvjetljeni, topivi dijelovi tiskovne forme. Razvijanje se provodi otapanjem u otapalu uz mehaničku obradu pomoću četki koje odstranjuju topivi monomer.
4. Sušenje - Nakon razvijanja slijedi sušenje toplinskim zračenjem.
5. Postekspozicija – vrši se kako bi se tiskovni elementi u potpunosti učvrstili i poboljšala mehanička svojstva tiskovne forme. Osvjetljava se cijela tiskovna forma.

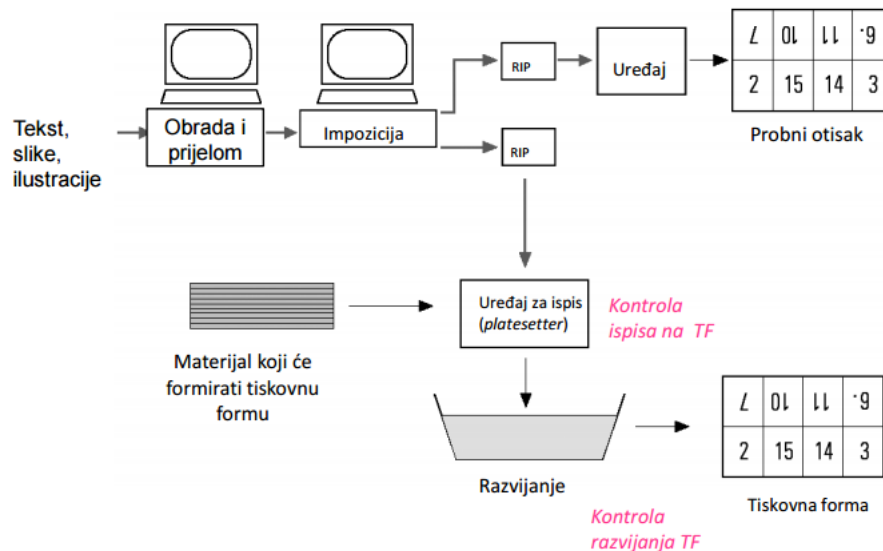


**Slika 7. Postupak izrade polimerne tiskovne forme od tekućeg polimera**  
(izvor: Mahović Poljaček S. Predavanja iz kolegija Tiskovne forme 1 (2015./16.))



### 2.2.2.2. Digitalni postupak izrade tiskovne forme

Za digitalni ili „*Computer to Plate*“ postupak nije potreban predložak, nego nakon digitalne obrade podaci idu izravno na uređaj za ispis gdje se ablacijom ili laserskim graviranjem dobiva gotova tiskovna forma. Nakon toga slijedi osvjetljavanje i razvijanje. Dobiva se gotova tiskovna forma (Slika 8.).



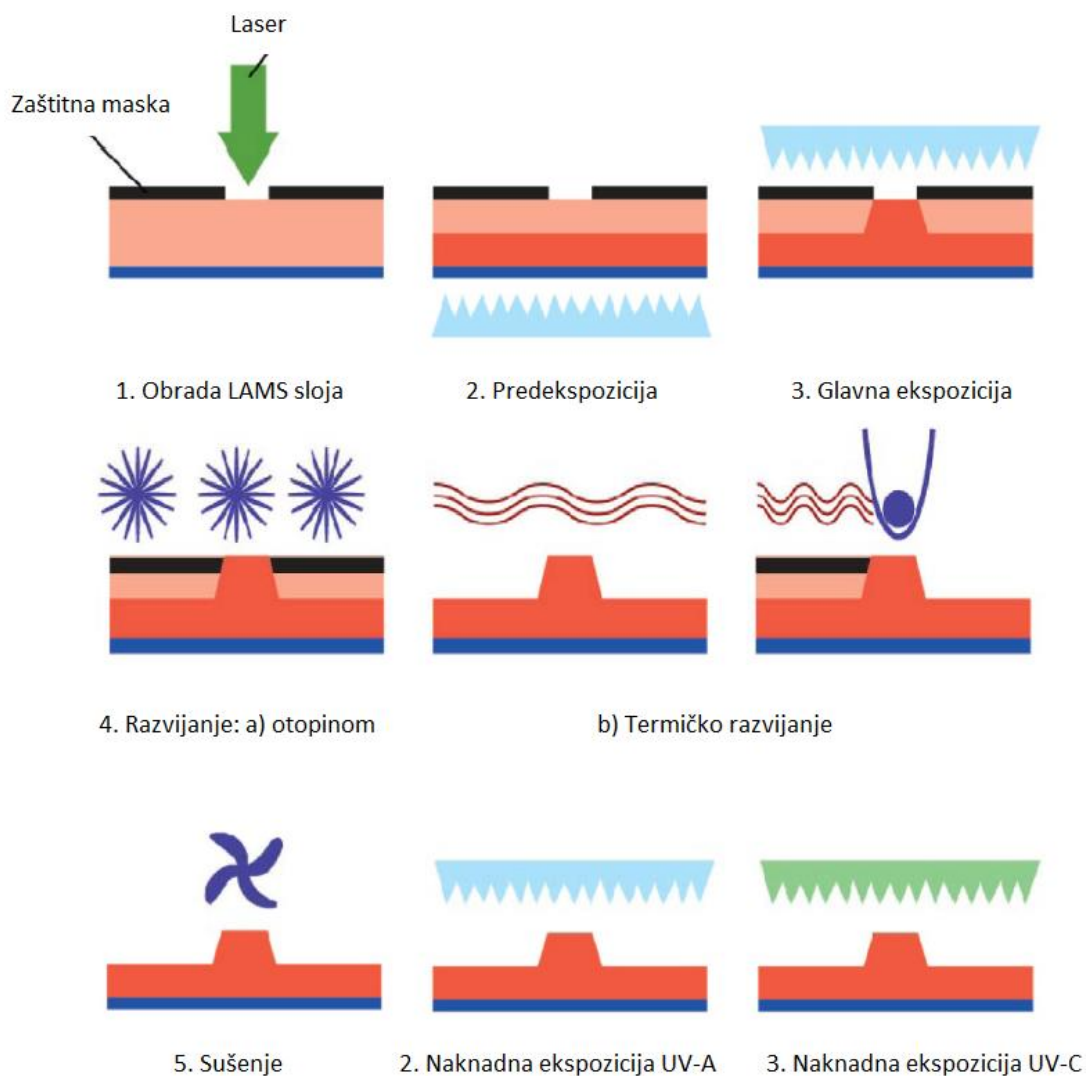
**Slika 8. Digitalni postupak izrade tiskovne forme**  
Izvor: Mahović Poljaček S. Predavanja iz kolegija Tiskovne forme 1 (2015./16.)

Danas se najčešće koristi tiskovna forma koja na fotoosjetljivom sloju sadržava, tzv. masku (*LAMS, laser-ablated-mask*), koja simulira ulogu konvencionalnog predloška na polimeru. Postupak ispisa se bazira na uklanjanju LAMS sloja na tiskovnoj formi stvarajući fina, mikroskopski vidljiva udubljenja. Uklanjanje se vrši laserom visoke energije ili diodama. Ovaj postupak sadržava i usisni sustav kako bi se uklonile odstranjene čestice. Tako se na površini tiskovne forme dobiva simulirani predložak. Nakon toga tiskovna se forma izlaže UV zračenju kako bi došlo do polimerizacije na mjestima gdje je uklonjena LAMS-mask.

Faze izrade LAMS tiskovne forme digitalnim postupkom (Slika 9.):

1. Obrada LAMS sloja – Nakon uklanjanja zaštitne folije, tiskovna se forma obrađuje laserom. Laserska zraka uklanja LAMS sloj, a preostali dio sloja preuzima ulogu negativ predloška. Laserska obrada se vrši u uređaju za ispis.
2. Predekspozicija – osvjetljavanje tiskovne forme sa stražnje strane kako bi se stvorila podloga koja drži tiskovne elemente. Što je vrijeme osvjetljavanja duže, zračenje prodire dublje i izaziva dubinsku polimerizaciju. Definiira se vrijeme osvjetljavanja tako da fotopolimerizira 1/3 debljine tiskovne forme.
3. Glavna ekspozicija – ekspozicija tiskovne forme UV-A zračenjem.
4. Razvijanje – a) kemijsko i mehaničko razvijanje ili b) termalno uklanjanje neosvijetljenih dijelova tiskovne forme.
5. Sušenje toplim zrakom
6. Naknadna ekspozicija UV-A – radi poboljšanja mehaničkih svojstava tiskovne forme.
7. Naknadna ekspozicija UV-C – radi smanjenja ljepljivosti površine tiskovne forme. [1]

U nekim slučajevima, prva faza izrade tiskovne forme je predekspozicija kojom se formira osnova (podloga) koja čini tiskovne elemente stabilnima na površini tiskovne forme. A slijedeća faza je, u tim slučajevima, obrada LAMS maske kojom se uklanja maska na mjestima budućih tiskovnih elemenata. Ostale faze su iste, kao na slici broj 9.



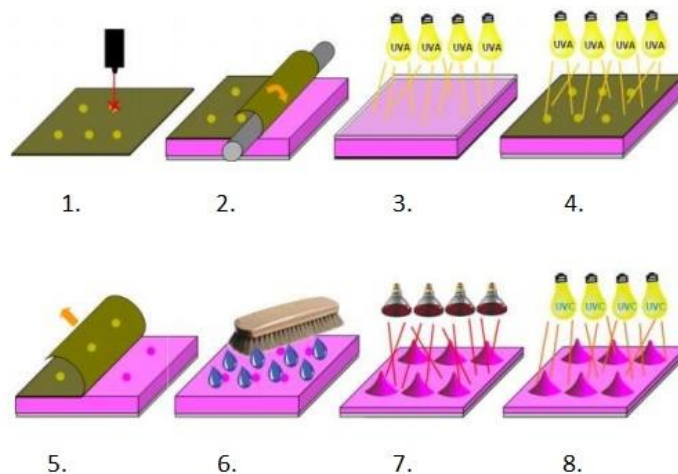
**Slika 9. Izrada polimerne tiskovne forme LAMS postupkom**

Izvor: Brajnović O., (2011). Prilagodba izrade fotopolimerne tiskovne forme novim kvalitativnim zahtjevima, magistarski rad, Grafički fakultet

Osim LAMS postupka postoji TIL digitalni postupak izrade polimerne tiskovne forme. U ovom postupku ulogu predloška ima maska od TIL-filma (*Thermal Imaging Layer*). TIL-film je termalni ablacijski film koji omogućava visoku rezoluciju i brzo oslikavanje. Ispis se vrši na uređaju za ispis te se formirani zapis na TIL-filmu prenosi na fotopolimernu tiskovnu formu laminiranjem.

Faze izrade fotopolimerne tiskovne forme pomoću TIL-filma (Slika 10.):

1. Ispis TIL-filma – Ispis se vrši ablacijom, visoko energetska laserom pri čemu se uklanja dio maske gdje se nalaze buduće tiskovne površine.
2. Laminiranje – ovim postupkom prenosi se obrađeni TIL-film na polimernu tiskovnu formu.
3. Preekspozicija - osvjetljavanje tiskovne forme sa stražnje strane kako bi se stvorila podloga koja drži tiskovne elemente. Što je vrijeme osvjetljavanja duže, zračenje prodire dublje i izaziva dubinsku polimerizaciju. Definira se vrijeme osvjetljavanja tako da fotopolimerizira 1/3 debljine tiskovne forme.
4. Glavna ekspozicija – ekspozicija tiskovne forme UV-A zračenjem.
5. Nakon ekspozicije TIL-film se uklanja s površine polimera pomoću laminatora.
6. Razvijanje – kemijsko i mehaničko razvijanje ili termalno uklanjanje neosvijetljenih dijelova tiskovne forme.
7. Sušenje
8. Naknadna ekspozicija UV zračenjem radi poboljšanja mehaničkih svojstava tiskovne forme. [1]

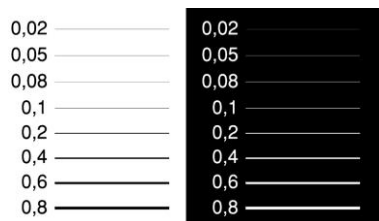


**Slika 10. Faze izrade fotopolimerne tiskovne forme TIL postupkom**  
(izvor: Mahović Poljaček S. Predavanja iz kolegija Tiskovne forme 1 (15./16.))

### 3. EKSPERIMENTALNI DIO

#### 3.1. Priprema uzoraka

U ovom radu uzorci tiskovnih formi su izrađeni od tekućeg fotopolimera Trodat i40. Pripremljeno je 5 uzoraka. Uzorci su osvijetljavani različitim vremenom trajanja glavne ekspozicije, od 90 do 210 sekundi, u intervalima od 30 sekundi na uređaju za osvijetljavanje fotopolimera. Predekspozicija je trajala 30 sekundi, a postekspozicija 15 minuta za svaki uzorak tiskovne forme. Svaki od uzoraka osvijetljan je kroz isti predložak. Razvijani su vodom, uz dodatak površinski aktivnih tvari po 7 minuta i 15 sekundi te sušeni toplim zrakom. Motiv na uzorcima se sastoji od pravokutnika 100% pokrivenosti i tankih linija širine od 0,02 do 0,8 milimetra (slika 11.). Uzorci su osvijetljavani, razvijani i sušeni na istom uređaju.



Slika 11. Reproducirani motiv sa linijama u pozitivu i negativu

#### 3.2. Mjerenje svojstava tiskovnih formi i značajki otisaka

Mjeren je kontaktni kut močenja površine tiskovne forme vodom, glicerolom i dijodometanom, na uređaju za mjerenje kontaktnog kuta, goniometru Data Physics OCA 30. Na površinu tiskovne forme aplicirano je 8 kapi svake tekućine, volumena 1  $\mu\text{m}^3$ . Za svaku je kap izračunat kontaktni kut močenja. Rezultati mjerenja uzeti su za izračun slobodne površinske energije i njezine polarne i disperzne komponente, pomoću OWRK (Owens i Wendt, 1969) metode u kojoj ukupnu slobodnu površinsku energiju ( $\gamma^t$ ) predstavlja zbroj disperzne ( $\gamma^p$ ) i polarne ( $\gamma^d$ ) komponente.

Tvrdoća formi mjerena je na durometru Zwick Roell, izražena u mjernoj jedinici tvrdoće Shore A. Mjerenje je ponavljano 10 puta na svakom uzorku, te je iz rezultata određena srednja vrijednost tvrdoće svake tiskovne forme.

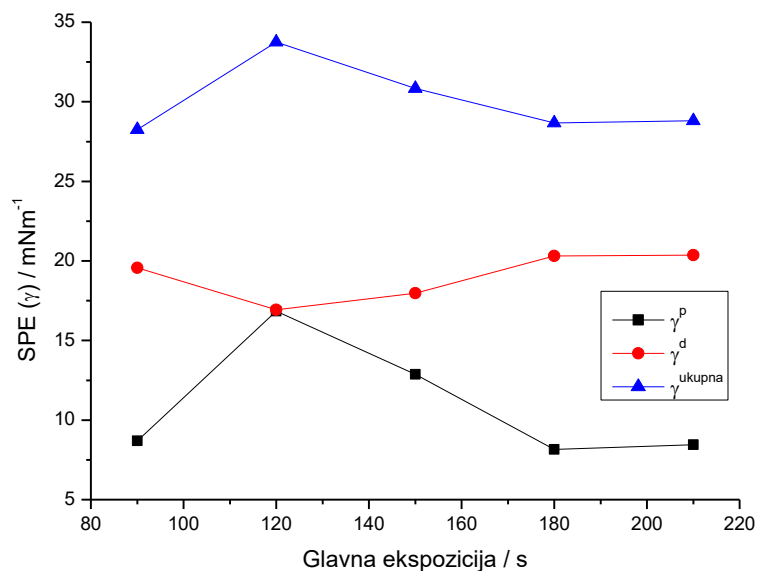
Testni otisci tiskani su na Prüfbau, uređaju za tiskanje testnih uzoraka. Korištena je standardna tiskarska boja, a tiskovna podloga je premazani papir. Uzorci i testni otisci promatrani su pomoću mikroskopa Olympus BX51, kako bi se proučila pravilnost i postojanost rubova finih linija, kao posljedica različitog trajanja glavne ekspozicije u postupku izrade tiskovnih formi.

Debljina nanosa boje na podlogu mjerena je na uređaju SaluTron D4-Fe.

## 4. REZULTATI I DISKUSIJA

### 4.1. Mjerenje slobodne površinske energije

Promjene u površinskim svojstvima uzoraka promatrane su kroz promjenu slobodne površinske energije ( $\gamma^t$ ) i njezine polarne ( $\gamma^p$ ) i disperzne ( $\gamma^d$ ) komponente (slika 12.).



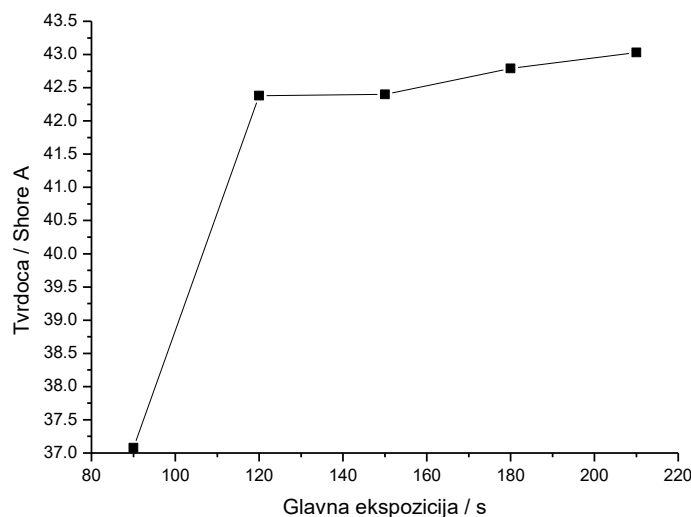
Slika 12. Dijagram slobodne površinske energije tekućeg fotopolimera različitih trajanja glavne ekspozicije

Vidljivo je da promjena slobodne površinske energije ( $\gamma^t$ ) uzrokovana promjenom njene polarne ( $\gamma^p$ ) komponente. Početna promjena polarne ( $\gamma^p$ ) komponente je integracija kisika u površinski sloj fotopolimernog materijala. Međutim, smanjenje vrijednosti polarne ( $\gamma^p$ ) komponente nakon 120 sekundi osvjetljavanja ukazuje na migraciju nepolarnih spojeva ugljikohidrata male molekularne mase na površinu uzorka. Stoga je potrebno prilagoditi polarnu komponentu površine polimerne tiskovne forme. Potrebno je izvesti ispitivanje kako bi se odredila točka savijanja maksimalne vrijednosti polarne komponente. Vrijednost disperzne komponente se lagano povećava produljenjem glavne ekspozicije, što je posljedica povećanog stupnja umrežavanja monomera uzrokovanog UV zračenjem.

Slobodna površinska energija uzoraka utječe na adsorpciju, pa tako i prijenos tiskarske boje na podlogu. Omjer polarne i disperzne komponente definira moćenje površine bojom i mijenja debljinu nanosa boje i njenu ravnomjernu rasprostranjenost po formi. Iz tih razloga, potrebno je osigurati podudaranje svojstava površine tiskovne forme i tiskarske boje kako bi dobili najkvalitetniji mogući otisak.

#### 4.2. Mjerenje tvrdoće tiskovne forme

Tvrdoća tiskovne forme proporcionalna je trajanju izloženosti tiskovne forme UV zračenju. Što se dulje tiskovna forma osvjetljava, njena tvrdoća će biti veća (slika 13.). Uzrok tome je daljnje umrežavanje monomera u sve čvršću mrežu, ovisno o duljini trajanja osvjetljavanja.



Slika 13. Tvrdoća polimernih tiskovnih formi izrađenih od tekućeg polimera s obzirom na trajanje glavne ekspozicije

Ukoliko je tvrdoća forme veća, tiskovni elementi će se manje deformirati pod pritiskom procesa otiskivanja.

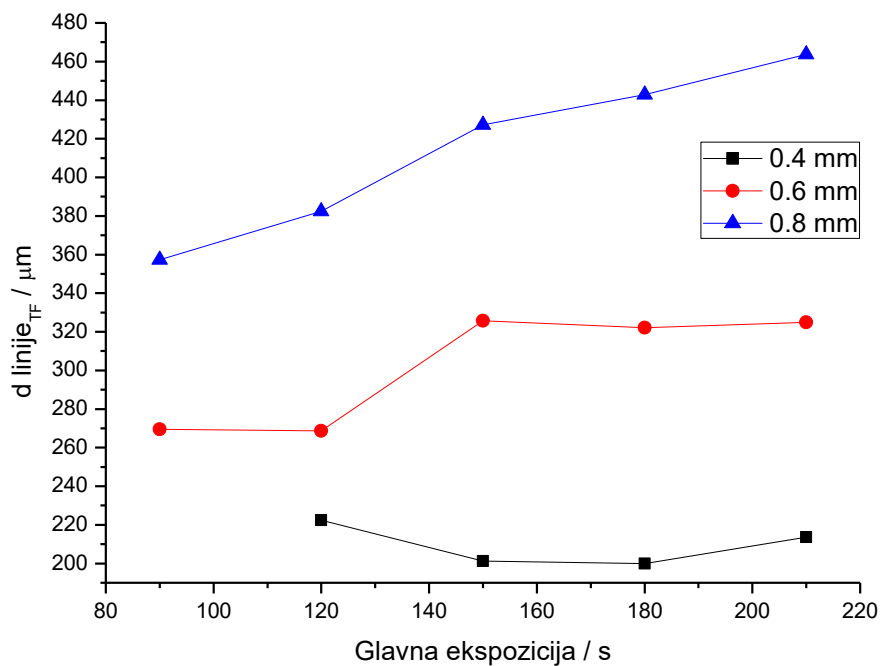
Ovisno o tiskovnoj podlozi, potrebno je povećati tvrdoću forme i tiskovnih elemenata jer prekratkim vremenom osvjetljavanja forma neće imati dovoljnu tvrdoću, te će se



tiskovni elementi previše deformirati tokom tiska što će dovesti do nekvalitetne reprodukcije sitnih detalja na otisku.

### 4.3. Mjerenje debljine linija na tiskovnoj formi

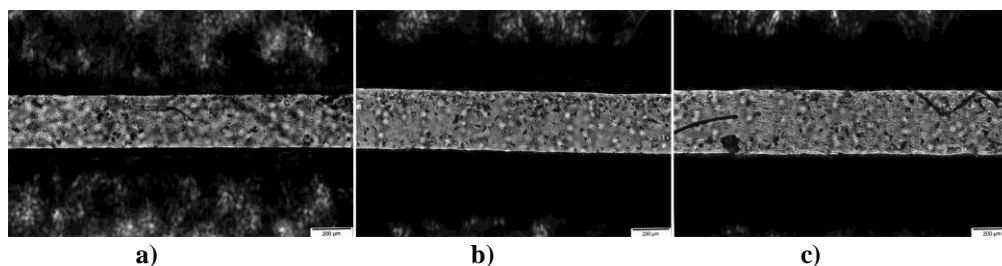
Kao što je vidljivo na slici 14. produljenjem vremena osvjetljavanja tiskovne forme, širina tankih linija se mijenja. One postaju šire zbog ogiba svjetla na rubovima predloška i prodiranja UV zračenja ispod rubnih zacrnjenih dijelova predloška (slika 14.).



Slika 14. Promjena debljina linija produljenjem glavne ekspozicije

Na 14. slici nije prikazana linija debljine 0,4 mm u vremenu osvjetljavanja od 90 sekundi jer se nije pravilno formirala.

Imajući u vidu navedeno, nužno je prilagoditi trajanje glavne ekspozicije kako bi dobili tiskovne elemente optimalne širine. Predugo osvjetljavanje forme dovest će do širenja finih linija. Kao posljedicu dobivamo povećanu površinu tiskovnih elemenata i nekvalitetnu reprodukciju finih detalja na otisku (slika 15.).

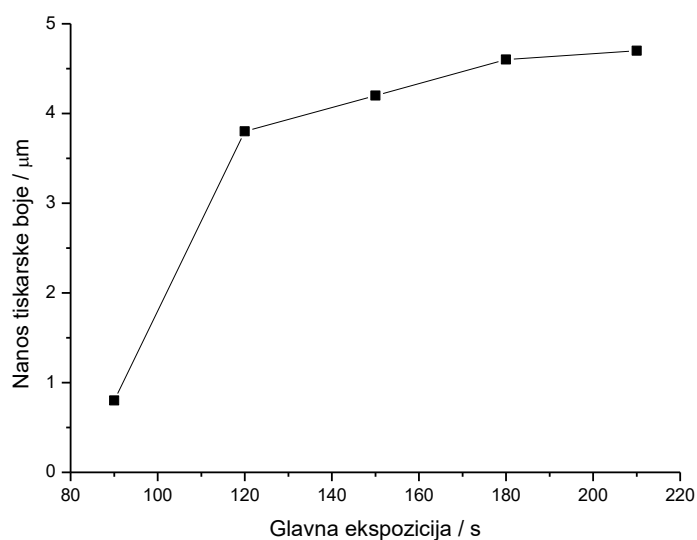


Slika 15. Linije sa teorijskom širinom od 0,6 mm nakon: a) 90 sekundi trajanja glavne ekspozicije, b) 150 sekundi trajanja glavne ekspozicije, c) 210 sekundi trajanja glavne ekspozicije

#### 4.4. Mjerenje testnih otisaka

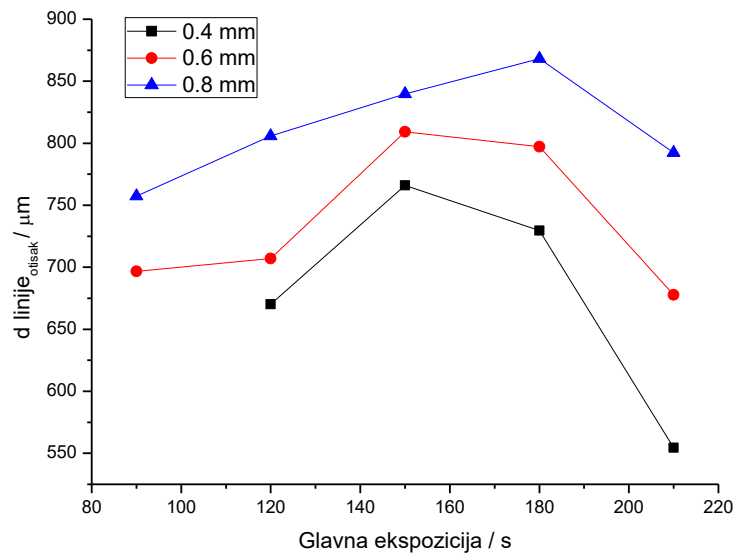
Promjena u debljini nanosa boje najviše ovisi o promjeni omjera vrijednosti polarne i disperzne komponente slobodne površinske energije. Omjer polarne i disperzne komponente odgovoran je za sposobnost močenja tiskovne forme tiskarskom bojom pa tako i na debljinu nanosa boje na otisak.

Duljim UV zračenjem smanjuje se vrijednost polarne komponente, što dovodi do smanjenja sposobnosti močenja tiskovne forme tiskarskom bojom. Posljedica toga je deblji nanos boje na tiskovnu podlogu (slika 16.). Ovisno o vrsti tiskovne podloge korištene u procesu tiska i njenoj propusnosti, deblji nanos boje može dovesti do prirasta tiskovnih elemenata (*dot gain*).



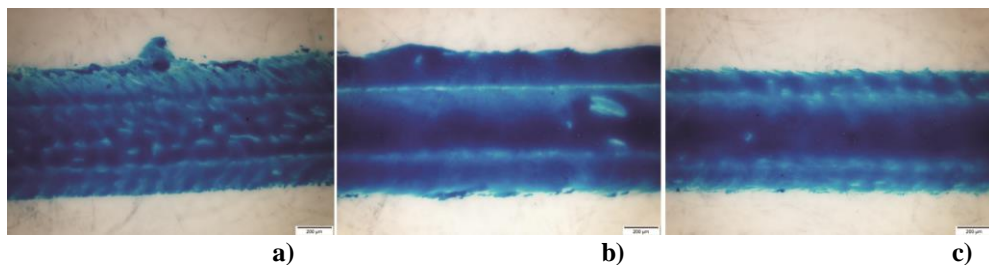
Slika 16. Debljina nanosa boje na tiskovnu podlogu

Bez obzira na povećanu debljinu tankih linija na formi osvjetljavanoj glavnom ekspozicijom 210 sekundi, dobit ćemo tanje linije na otisku (slika 17.).



**Slika 17. Promjena debljina linija na otisku produljenjem glavne ekspozicije**

To je posljedica veće tvrdoće tiskovne forme i manje izraženim deformacijama tiskovnih elemenata u procesu tiska. Također, vidljivo je da je nanos boje pravilniji na otisku otisnutom preko tiskovne forme osvjetljavane 210 sekundi. Pošto je nanos boje deblji, interakcija između boje i podloge postaje manje vidljiva što rezultira pravilnijim otiskom tankih linija (slika 18.).



**Slika 18. Otisnute linije sa teorijskom širinom od 6 mm nakon: a) 90 sekundi trajanja glavne ekspozicije, b) 150 sekundi trajanja glavne ekspozicije, c) 210 sekundi trajanja glavne ekspozicije**

Imajući u vidu dobivene rezultate, potrebno je pažljivo prilagoditi vrijeme glavne ekspozicije, uzimajući u obzir tvrdoću i površinska svojstva polimerne tiskovne forme pa tako i njenih tiskovnih elemenata kako bi dobili najkvalitetniji mogući otisak na tiskovnoj podlozi koju koristimo u procesu tiska. Pažljivom prilagodbom moguće je dobiti kvalitetnu reprodukciju finih detalja na otisku otisnutim pomoći polimerne tiskovne forme dobivene iz tekućih polimera, koja se u praksi najčešće koristi za tiskanje reprodukcija niže kvalitete.

## **5. ZAKLJUČAK**

U ovom istraživanju izrađivani su uzorci polimerne tiskovne forme od tekućeg polimera sa različitim trajanjem glavne ekspozicije kako bi se proučila površinska i mehanička svojstva forme i svojstva otisnutih tankih linija. Disperzivna komponenta slobodne površinske energije tiskovnih formi povećava se duljim vremenom osvjetljavanja forme i povećanim stupnjem umrežavanja monomera, što rezultira tvrdom tiskovnom formom. Polarna komponenta slobodne površinske energije opada nakon 120 sekundi trajanja glavne ekspozicije migracijom spojeva ugljikovodika male molekularne mase na površinu tiskovne forme. Nakon produljenja glavne ekspozicije dolazi do proširenja tankih linija na tiskovnoj formi, zbog ogiba UV zračenja pod zacrnjene dijelove predloška. Otisci dobiveni iz uzoraka pokazuju promjene širina tankih linija i postojanosti njihovih rubova te debljine nanosa boje na podlogu. Rezultati ovog istraživanja mogu se uzeti kao upute pri reprodukciji finih detalja tiskanih preko polimerne tiskovne forme. Može se povećati kvaliteta otiska na markice, plastične vrećice i valovite kartone na koje se najčešće tiska tehnikom fleksotiska.

## 6. LITERATURA

- [1] Brajnović O., (2011). *Prilagodba izrade fotopolimerne tiskovne forme novim kvalitativnim zahtjevima*, magistarski rad, Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet, Zagreb
- [2] <https://www.prepressure.com/printing/history> - *The history of printing – The evolution of printing from Gutenberg till now*, 28.06.2016.
- [3] <http://printwiki.org/Flexography> - *Flexography – PrintWiki*, 28.06.2016.
- [4] Twede D., Selke S. E. M., Kamdem D. P., Shires D. (2015). *Cartons, crates and corrugated board*, School of Packaging, Michigan State University, Michigan
- [5] Izdebska J., Thomas S. (2016). *Printing on Polymers Fundamentals and Applications*, William Andrew, Oxford
- [6] Savla M., *History and Technology of Photopolymer Printing Plates*, dostupno na: <http://www.radtechmembers.org/archive-proceedings/2008/papers/121.pdf>.