

# Metoda najmanjih kvadrata u karakterizaciji utjecajnih parametara fleksotiskarskog sustava

---

Huzjak, Juraj

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

*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:216:726016>

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

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



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Graphic Arts Repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GRAFIČKI FAKULTET

# ZAVRŠNI RAD

Juraj Huzjak



Sveučilište u Zagrebu  
Grafički fakultet

Smjer: tehničko – tehnološki

# ZAVRŠNI RAD

METODA NAJMANJIH KVADRATA U KARAKTERIZACIJI UTJECAJNIH  
PARAMETARA FLEKSOTISKARSKOG SUSTAVA

Mentor:

Doc. dr. sc. Tomislav Cigula

Student:

Juraj Huzjak

Zagreb, 2018.

## **Sažetak**

Fleksotisak je direktna tehnika visokog tiska. Karakteristike tiskovnih formi za visoki tisak su u geometrijskom položaju između tiskovnih i slobodnih površina. Tiskovne površine su izbočene dok su slobodne površine udubljene.

Cilj ovog završnog rada je pomoću metode najmanjih kvadrata kvantificirati utjecajne parametre fleksotiskarskog sustava kako bi se definirala pogodnost određene vrste tiskovne forme u tisku na različite materijale te omogućila optimizacija prilikom odabira materijalnih parametara fleksotiskarskog sustava. U tu svrhu izmjerena su svojstva različitih tiskovnih podloga (premazani i nepremazani papir, te karton) kako bi se izgradio kvantifikacijski sustav utjecajnih parametara na kvalitetu otiska uz korištenje dviju različitih vrsta tiskovnih formi (teksturiranu i neteksturiranu). Rezultati su pokazali utjecaje raznih parametara i da se metoda najmanjih kvadrata uspješno može primjeniti u njihovoj karakterizaciji.

Ključne riječi: tiskovna podloga, teksturirana tiskovna forma, metoda najmanjih kvadrata, hrapavost, slobodna površinska energija.

## Sadržaj:

<b>1. UVOD</b> .....	1
<b>2. TEORIJSKI DIO</b> .....	2
2.1. Postupci izrade tiskovnih formi.....	2
2.1.1. Konvencionalni postupak izrade.....	2
2.1.2. "Computer to plate" postupak izrade tiskovnih formi.....	3
2.2. Tiskovne forme za fleksotisak.....	4
2.2.1. Svojstva tiskovnih formi za fleksotisak.....	5
2.2.2. Materijali i vrste tiskovnih formi za fleksotisak.....	7
2.2.2.2.1. Fotopolimerne tiskovne forme od tekućeg fotopolimera.....	10
2.2.2.3. CtP tiskovne forme za fleksotisak.....	12
2.2.2.3.1. LAMS.....	12
2.2.2.3.2. TIL.....	14
2.2.2.4. Teksturirane tiskovne forme.....	15
2.2.2.4.1. Flint NEXT tehnologija.....	15
2.2.2.4.2. Kodak NX tehnologija.....	16
2.3. Površinska svojstva tiskovnih formi.....	18
2.3.1. Tvrdoća.....	18
2.3.2. Elastičnost.....	19
2.3.3. Hrapavost.....	19
2.3.4. Slobodna površinska energija.....	20
2.3.5. Izdržljivost.....	20
2.4. Osnovni materijali u fleksotisku.....	21
2.4.1. Bojila u fleksotisku.....	21
2.4.2. Tiskovne podloge u fleksotisku.....	22

2.5.	Svojstva papirnatih/kartonskih podloga.....	23
2.5.1.	Svojstva površine .....	23
2.5.1.1.	Glatkost i hrapavost .....	23
2.5.2.	Svojstva lista .....	26
2.5.2.1.	Upojnost .....	26
2.5.2.2.	Dimenzionalna stabilnost .....	26
2.5.2.3.	Keljenost i stupanj keljenja .....	27
2.5.3.	Mehanička svojstva papira .....	27
2.5.3.1.	Otpornost prema kidanju .....	27
2.5.3.2.	Otpornost prema savijanju.....	28
2.5.3.3.	Otpornost prema cijepanju .....	29
2.5.3.4.	Otpornost prema tlaku .....	30
2.5.4.	Optička svojstva papira .....	30
2.5.4.1.	Bjelina .....	30
2.5.4.2.	Opacitet i transparentnost .....	31
2.5.4.3.	Sjajnost .....	32
2.5.4.4.	Flourescentnost .....	32
2.6.	Metoda najmanjih kvadrata u matičnom obliku.....	33
<b>3.</b>	<b>EKSPERIMENTALNI DIO.....</b>	<b>36</b>
3.1.	Priprema uzoraka .....	36
3.2.	Ispitivanje papira.....	36
3.2.1.	Hrapavost.....	36
3.2.2.	Sjajnost .....	38
3.2.3.	Slobodna površinska energija .....	41
3.2.4.	Glatkost.....	42
3.2.5.	Otpornost prema kidanju .....	44

3.2.6. Upojnost .....	45
3.2.7. Tiskovne forme .....	46
3.3. Otiskivanje i ispitivanje otisaka.....	46
3.4. Metoda najmanjih kvadrata.....	47
<b>4. REZULTATI I RASPRAVA.....</b>	<b>50</b>
4.1. Rezultati mjerenja hrapavosti.....	50
4.2. Rezultati merenjenja sjajnosti.....	51
4.3. Rezultati izračuna slobodne površinske energije.....	52
4.4. Rezultati mjerenja glatkosti.....	54
4.5. Rezultati mjerenja otpornosti prema kidanju .....	56
4.6. Rezultati mjerenja upojnosti.....	56
4.7. Rezultati mjerenja gustoće zacrnjenja.....	57
4.8. Rezultati mjerenja tonskih vrijednosti .....	59
4.9. Rezultati metode najmanjih kvadrata.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>5. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>6. LITERATURA .....</b>	<b>68</b>

# 1. UVOD

Tiskovne forme za fleksotisak spadaju u skupinu tiskovnih formi visokog tiska. Karakteristike tiskovnih formi za visoki tisak su u geometrijskom položaju između tiskovnih i slobodnih površina. Tiskovne površine su izbočene dok su slobodne površine udubljene. Karakteristika tiskovnih formi za fleksotisak je ta da su izrađene od elastičnih materijala.

U fleksotisku se danas koriste tiskovne forme koje su izrađene od fotopolimera. S obzirom na nekad konvencionalnu izradu tiskovnih formi i današnju CtP tehnologiju izrade, tiskovne forme su podijeljene na neteksturirane i teksturirane. Odlike teksturiranih tiskovnih formi su mogućnost reproduciranja rasterskih elemenata visoke rezolucije, što poboljšava kvalitetu otisaka s povećanim prijenosom boje.

Cilj ovog završnog rada je kvantifikacija utjecajnih parametara u fleksotiskarskom sustavu pomoću metode najmanjih kvadrata kako bi se definirala pogodnost određene vrste tiskovne forme u tisku na različite materijale te omogućila optimizacija prilikom odabira materijalnih parametara fleksotiskarskog sustava. U tu svrhu izmjerena su svojstva različitih tiskovnih podloga (premazani i nepremazani papir, te karton) kako bi se izgradio kvantifikacijski sustav utjecajnih parametara za kvalitetu otiska uz korištenje dviju različitih vrsta tiskovnih formi (teksturiranu i neteksturiranu). Hrapavost, sjajnost, slobodna površinska energija, glatkost, otpornost na kidanje i upojnost ispitivani su na pet različitih vrsta papira, a to su: Matt 100 g/m<sup>2</sup>, Sinarvanda 245 g/m<sup>2</sup>, Silk 350 g/m<sup>2</sup>, Tauro offset i Gloss 115 g/m<sup>2</sup>. Napravljeni su probni otisci na svakoj vrsti papira s teksturiranom i neteksturiranom tiskovnom formom te su ispitani gustoća zacrnljenja i tonska vrijednost otisaka (5%, 40% i 80%). Nakon ispitivanja svih potrebnih parametara, provedena je kvantifikacija utjecajnih parametara pomoću metode najmanjih kvadrata u svrhu određivanja utjecaja određenih parametara na kvalitetu otisaka.

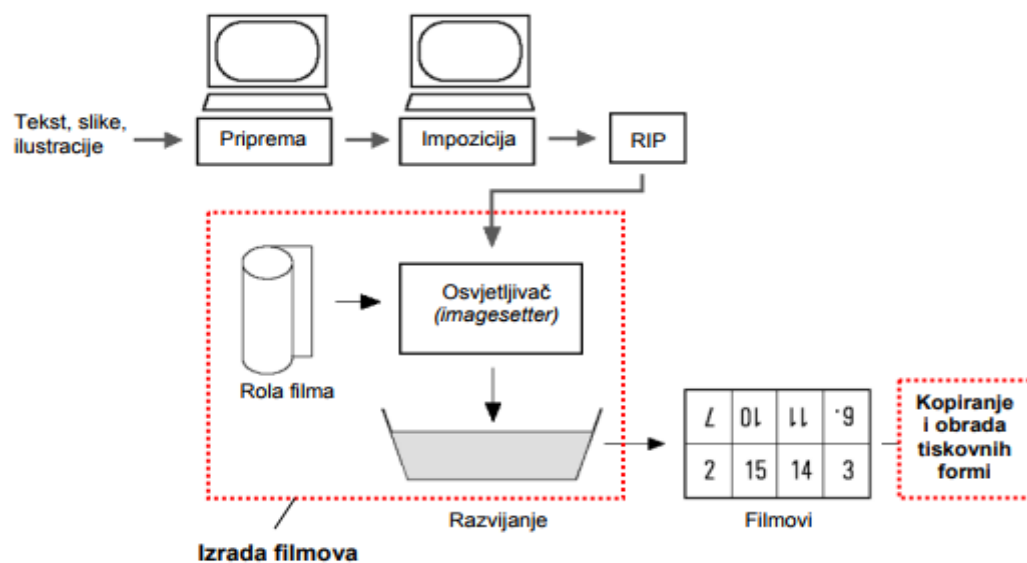


## 2. TEORIJSKI DIO

### 2.1. Postupci izrade tiskovnih formi

#### 2.1.1. Konvencionalni postupak izrade

Konvencionalni postupak izrade tiskovnih formi prikazan je na slici 1. Najprije se unesu podatci u računalo i obrade se. Nakon toga slijedi priprema montažnog arka. Potom slijedi postupak digitalne obrade podataka u RIP-u, *Raster Image Processor-u*. Po završetku obrade podataka u RIP-u, slijedi osvjetljavanje filmova u uređajima za ispis na filmove (*imagesetter*), zatim se u otopinama razvijaju i fiksira postupcima razvijanja i fiksiranja dobiva vidljiva i stabilna slika na filmu. Zapis na filmu predstavlja informaciju koja će se reproducirati i koja se s predloška u kopirnoj rami, procesom kopiranja prenosi na tiskovnu formu. Razvijanjem nastaje zapis na tiskovnoj formi koji će se u daljnjem toku reprodukcije prenijeti sa tiskovne forme na tiskovnu podlogu.



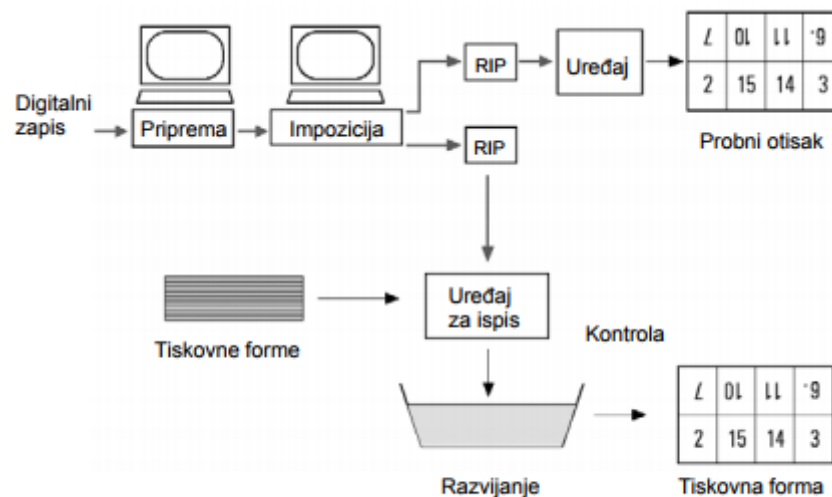
Slika 1. Konvencionalni postupak izrade tiskovnih formi

Izvor:

<http://eprints.grf.unizg.hr/1447/1/Magistarski%20rad%20Brajnovi%C4%87%20Olivera.pdf>

### 2.1.2. "Computer to plate" postupak izrade tiskovnih formi

Slika 2. prikazuje najčešći izgled toka rada u tiskari s CtP sustavom izrade tiskovnih formi. Nakon pripreme dobivenih podataka (slika, tekst, ilustracija) i njihove obrade radi se kontrola digitalnih podataka u tzv. "preflight check". Ako se utvrdi ispravnost pripremljenog dokumenta, slijedi izrada *PostScript* datoteke u RIP-u. Postoji više načina prijenosa podataka od RIP-a do uređaja za ispis. U većini slučajeva uređaj za ispis je direktno spojen sa RIP-om. Druga mogućnost je da se podatci generirani u RIP-u prvo pohrane na tvrdi disk u međumemoriju (*buffer memory*) te kasnije ispisuju na tiskovnu formu.



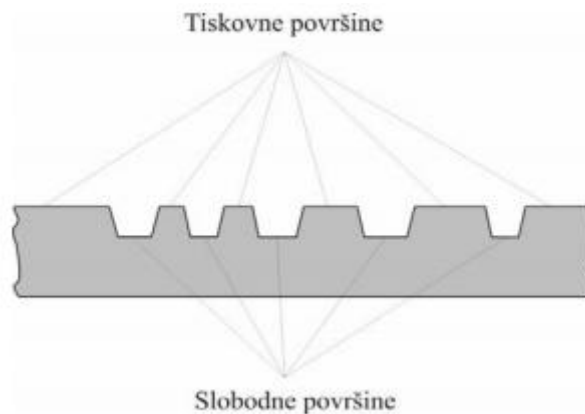
Slika 2. Radni tok Izrade tiskovnih formi CtP postupkom

Izvor:

<http://eprints.grf.unizg.hr/1447/1/Magistarski%20rad%20Brajnovi%C4%87%20Olivera.pdf>

## 2.2. Tiskovne forme za fleksotisak

Tiskovne forme za fleksotisak spadaju u skupinu tiskovnih formi visokog tiska. Karakteristike tiskovnih formi za visoki tisak su u geometrijskom položaju između tiskovnih i slobodnih površina. Tiskovne površine su izbočene dok su slobodne površine udubljene. Jedna od karakteristika fleksotiskarskih tiskovnih formi je ta da su izrađene od elastičnih materijala.



*Slika 3. Tiskovna forma za visoki tisak*

*Izvor:*

<http://eprints.grf.unizg.hr/1447/1/Magistarski%20rad%20Brajnovi%C4%87%20Olivera.pdf>

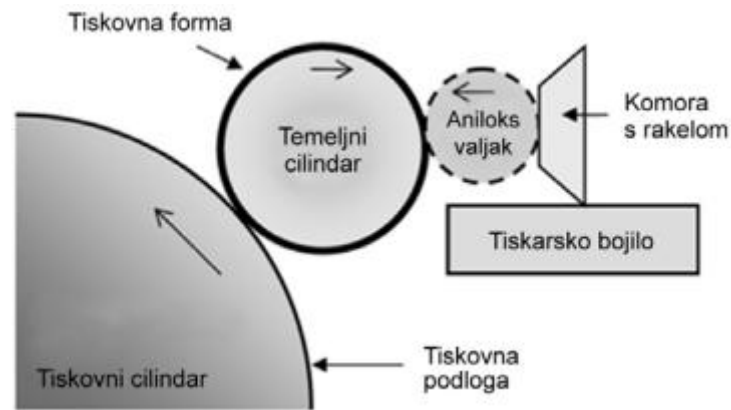
Do ranih sedamdesetih godina prošlog stoljeća, klasična tiskovna forma koja se upotrebljavala za fleksotisak je bila gumena. Izrađivala se utiskivanjem vrućeg kalupa u prirodni ili umjetni kaučuk. Nakon toga se tiskovna forma hladila i mehanički dotjerivala do traženih dimenzija. U današnje vrijeme se gumene tiskovne forme izrađuju kompjuterski kontroliranim laserskim graviranjem. Pojavom tiskovnih formi od fotopolimera, gumene tiskovne forme bivaju sve više istisnute iz uporabe pa se tako u današnje vrijeme proizvodi samo 15% gumenih tiskovih formi za fleksotisak dok ostalih 85% zauzimaju fotopolimerne tiskovne forme. Kombinacijom fotopolimerne tiskovne forme i aniloks valjka u sustavu obojenja otvorene su nove mogućnosti, odnosno kvalitetnije otiskivanje mnogih proizvoda u fleksotisku.

### **2.2.1. Svojstva tiskovnih formi za fleksotisak**

Tiskovna forma za fleksotisak izrađuje se od prirodne ili sintetske gume [1]. Fotopolimere nalazimo u krutom i tekućem stanju. Danas se pretežno koriste fotopolimeri u krutom stanju koji zbog svojih svojstava i mogućnosti reprodukcije većinom izbacuju gumene tiskovne forme iz upotrebe.

U neobrađenom stanju, fotopolimeri kao materijali koji se koriste za izradu tiskovnih formi su fotoosjetljivi gledano s fizikalno-kemijskog aspekta. Fotoosjetljivost materijala omogućuje da kod selektivne ekspozicije osvijetljeni dio materijala polimerizacijom očvrstne, dok onaj ne osvijetljeni dio materijala ostane nepolimeriziran. Nepolimerizirani dio materijala uklanja se s tiskovne forme kemijskim ili mehaničkim putem. Nakon što se ukloni dio neosvijetljenog materijala s tiskovne forme, dobije se geometrijska razlika između tiskovnih i slobodnih površina te se takva tiskovna forma koristi u daljnjem toku reprodukcije.

Fleksotisak je direktna tehnika rotacionog visokog tiska. Tiskovna forma je u dodiru s tiskovnom podlogom. Bojilo koje je vrlo rijetko se preko duktoru prenosi na aniloks valjak koji dalje prenosi bojilo na temeljni cilindar na kojem se nalazi obavijena tiskovna forma. Karakteristika aniloks valjka je da na sebi ima gustu rastersku mrežicu koja omogućuje bolje i preciznije nanošenje bojila na tiskovnu formu. Višak bojila uklanja se rakelom. Bojilo se sa tiskovne forme prenosi direktno na tiskovnu podlogu koja se nalazi na tiskovnom cilindru. Na kvalitetu otisnutog proizvoda uvelike utječe kvaliteta prijenosa tiskarskog bojila s tiskovne forme na tiskovnu podlogu.



Slika 4. Princip rada fleksotiska

Izvor:

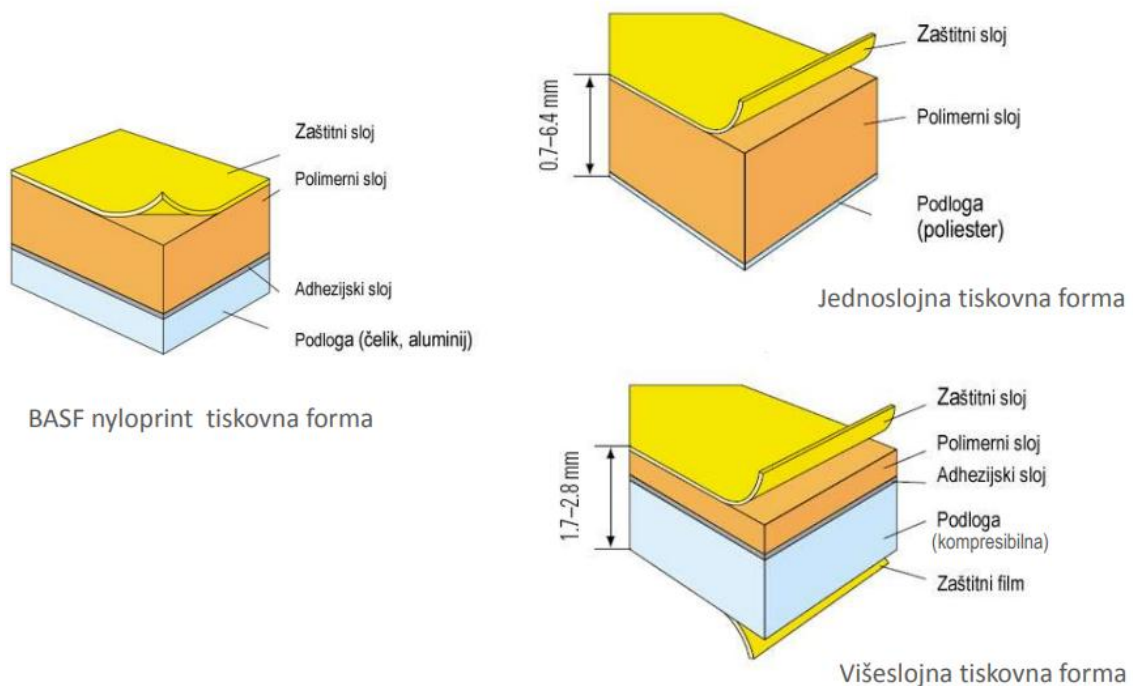
<http://eprints.grf.unizg.hr/1447/1/Magistarski%20rad%20Brajnovi%C4%87%20Olivera.pdf>

Kod tiskovne forme za fleksotisak, vrlo važan parametar je njezina debljina. Deblje tiskovne forme mogu biti mekše i mogu imati više izbočene tiskovne elemente nego tanje tiskovne forme. Za tisak na manje glatke površine tiskovnih podloga više odgovaraju mekše tiskovne forme [2]. Međutim, prilikom tiskanja s mekšim tiskovnim formama veća je deformacija tiskovnih elemenata, pa tako i otiska. Da bi se izbjegle velike deformacije tiskovnih elemenata kod debelih tiskovnih formi i da bi se smanjila deformacija dužina forme zbog savijanja oko cilindra, sve više se smanjuje debljina tiskovnih formi. Debljine tiskovnih formi iznosile su od 1,70 mm do 6,35 mm, ponekad i više od 7 mm. Radi smanjenja debljine tiskovne forme traži se veća tvrdoća samog materijala od kojih su napravljene jer u protivnom ne bi bila dovoljna razlika visina tiskovnih elemenata u odnosu na osnovnu razinu tiskovne forme [3].

## 2.2.2. Materijali i vrste tiskovnih formi za fleksotisak

Tiskovne forme za fleksotisak su savitljive, a izrađuju se od prirodne ili sintetske gume i fotopolimera. Fotopolimeri mogu biti u krutom i tekućem stanju, iako se danas pretežno koriste oni u krutom stanju.

Na Slici 5. prikazan je različit presjek polimernih tiskovnih formi. Tiskovne forme koje za podlogu imaju aluminij ili čelik spadaju u tiskovne forme za tampon tisak. Za fleksotisak se koriste tiskovne forme s poliesterskom podlogom koje se svrstavaju u ravne tiskovne forme i tiskovne forme sa savitljivom podlogom koje se svrstavaju u ovojne tiskovne forme.



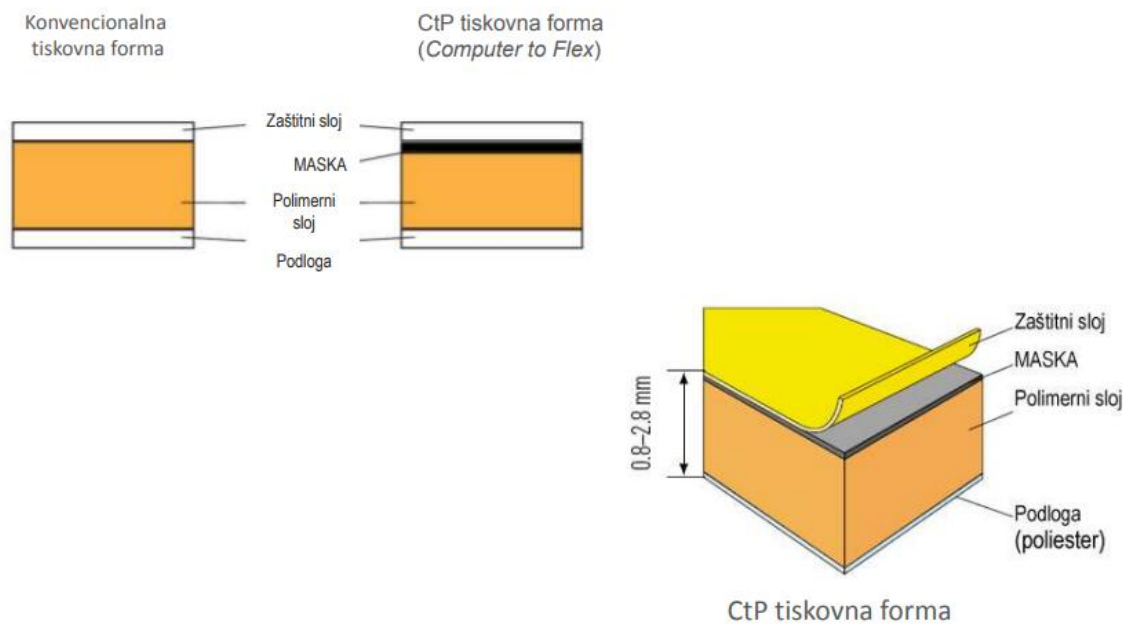
Slika 5. Presjek različitih fotopolimernih tiskovnih formi

Izvor: <http://moodle.srce.hr/2015->

2016/pluginfile.php/702862/mod\_resource/content/1/Predavanje10ok.pdf

Na Slici 6. prikazana je razlika između konvencionalnih i CtP polimernih tiskovnih formi te njihov presjek. Osnovni dijelovi konvencionalne tiskovne forme su podloga, polimerni sloj i zaštitni sloj dok kod CtP tiskovne forme kao fotopolimerni materijal ima na sebi još i masku.

Kod ovojnih tiskovnih formi tiskovna forma nalazi se na aluminijskom cilindru koji je oslojen elastičnim gumenim materijalom. Materijali koji se koriste su razne vrste gume i u zadnje vrijeme različite vrste polimera. Ograničenja ovojnih tiskovnih formi su rezolucija i veličina tiskovnih elemenata. Ovojna tiskovna forma se ne deformira kod postavljanja na temeljni cilindar tiskarskog stroja. Oslikava se u uređaju za ispis koji je istog promijera kao i temeljni cilindar. Zapis se na tiskovnu formu generira u obliku rukavca. Prilikom tiska, lakše se postiže registar, veća je ušteda vremena radi bržeg montiranja i demontiranja tiskovne forme, ali je kvaliteta otisaka niže razine.



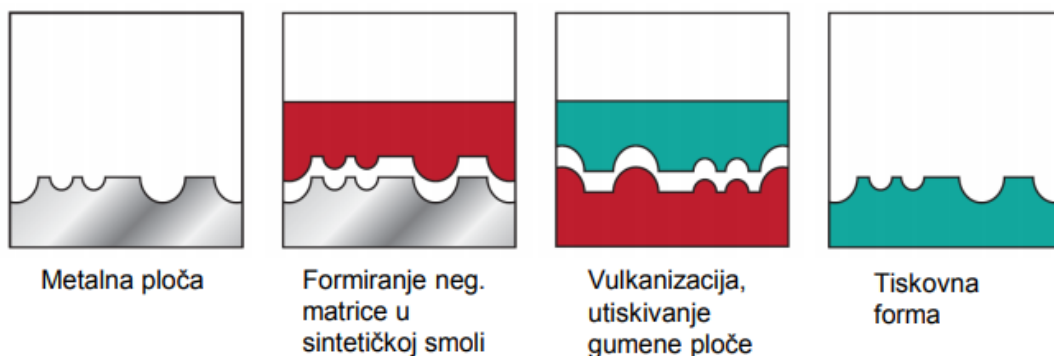
*Slika 6. Razlika između konvencionalne i CtP polimerne tiskovne forme*

*Izvor:* <http://moodle.srce.hr/2015->

[2016/pluginfile.php/702862/mod\\_resource/content/1/Predavanje10ok.pdf](http://moodle.srce.hr/2015-2016/pluginfile.php/702862/mod_resource/content/1/Predavanje10ok.pdf)

### 2.2.2.1. Gumene tiskovne forme za fleksotisak

Izrada gumene tiskovne forme je prilično zahtjevna. Postupak je sljedeći: fotoosjetljivim slojem oslojava se metalna (cinkova) ploča te se na nju stavi negativ predložak. Prilikom osvjetljavanja u kopirnoj rami na mjestima gdje se svjetlo apsorbiralo u fotoosjetljivi sloj dolazi do fotokemijske reakcije polimerizacije. Na tim mjestima fotoosjetljivi sloj mijenja svoja kemijska svojstva i postaje netopiv u otopini razvijачa. Neosvijetljeni fotoosjetljivi sloj ostaje topiv i uklanja se procesom razvijanja pogodnim otapalima. Nakon toga, metalna ploča se jetka u otopini dušične kiseline odgovarajuće koncentracije. Otopina dušične kiseline na mjestima gdje je fotoosjetljivi sloj uklonjen otapa cink, a na mjestim gdje se zadržao, služi kao zaštita i cink se ne otapa. Na taj način dobije se u metalnoj ploči reljef gdje su uzdignuti tiskovni elementi, a udubljene slobodne površine. U daljnjem postupku, jetkana cinkova pločica pritišće se na vrući prijenosni materijal u kojem nakon što se stvrdne ostane reljef. U taj se reljef izlije guma koja se nakon vulkanizacije, još dok je topla, vadi iz kalupa. Na taj način dobiva se gotova tiskovna forma.



*Slika 7. Postupci izrade gumene tiskovne forme*

*Izvor:* [http://moodle.srce.hr/2015-2016/pluginfile.php/490504/mod\\_resource/content/1/Predavanje6.pdf](http://moodle.srce.hr/2015-2016/pluginfile.php/490504/mod_resource/content/1/Predavanje6.pdf)



Zbog slabe dimenzionalne stabilnosti, gumene tiskovne forme prilikom tiska daju veliki prirast rasterskog elementa. Radi upotrebe dušične kiseline nisu ekološki prihvatljive. U današnje se vrijeme rijetko koriste, najviše kod CtP postupaka kod kojih laser izravno gravira na mjestima slobodnih površina i stvara zapis na tiskovnoj formi. Čestice uklonjene laserskom ablacijom se usisavaju. Za lasersku ablaciju koriste se laseri velikih snaga 1-2,5 kW CO<sub>2</sub>.

## **2.2.2.2. Fotopolimerne tiskovne forme**

### **2.2.2.2.1. Fotopolimerne tiskovne forme od tekućeg fotopolimera**

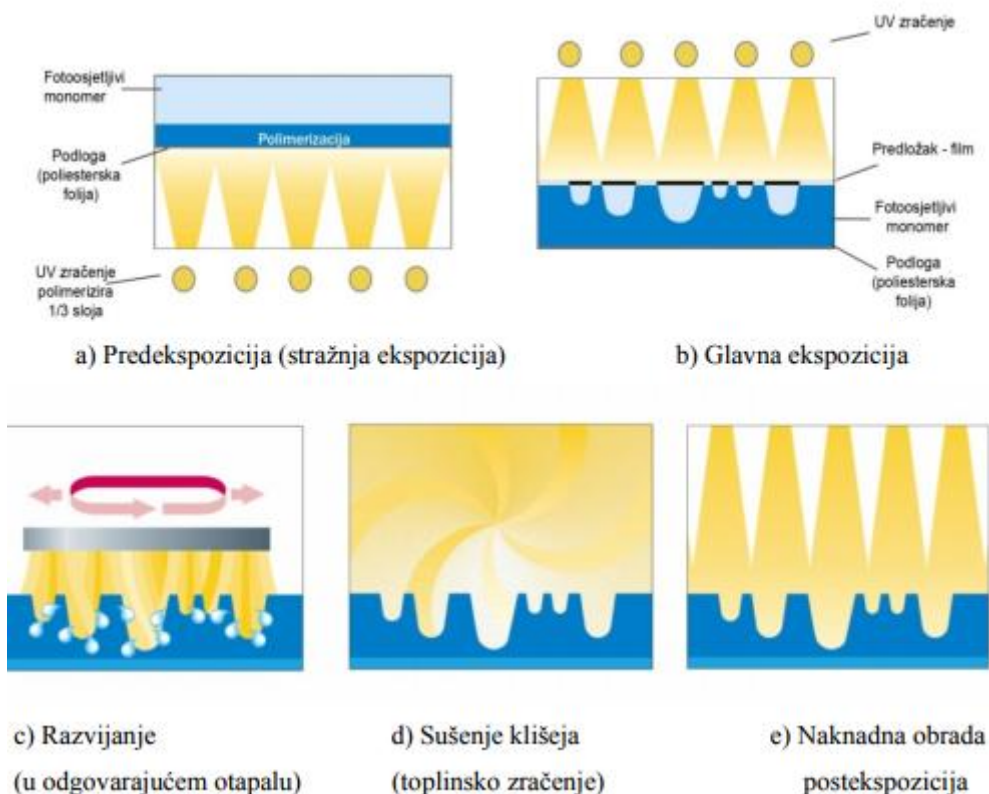
Tiskovnu formu ovog tipa potrebno je izraditi u posebnom uređaju za osvjetljavanje u kojem se volumen buduće tiskovne forme određuje graničnicima. Da bi se spriječio izravni kontakt fotomomera i stakla kopirnog uređaja, postavlja se poliesterska folija ispod graničnika i druga folija preko fotomomera koji služi sprječavanju izravnog kontakta s kopirnim predloškom.

Osvjetljavanje se provodi u tri faze pomoću UV fluorescentnih cijevi, a ekspozicijom dolazi do fotopolimerizacije sloja.

1. Preekspozicija – osvjetljava se s donje strane fotomomera UV zračenjem na maloj udaljenosti. Time dolazi do postupne polimerizacije. Ukoliko se duže osvjetljava, zračenje prodire dublje i dolazi do dubinske polimerizacije. Vrijeme preekspozicije definira se prema specifikacijama proizvođača na način da zračenje prodire do cca. 1/3 ukupne debljine tiskovne forme. Prilikom ovog osvjetljavanja ne koristi se film, te se dobije polimerizirani sloj koji predstavlja podlogu koja nosi tiskovne elemente.
2. Glavna ekspozicija – glavnom ekspozicijom diferenciraju se tiskovne i slobodne površine. Osvjetljava se s gornje strane kroz kopirni predožak. Tamo gdje zračenje prolazi kroz transparentne dijelove filma nastaju tiskovni elementi dok će mjesta koja ostanu neeksponirana formirati slobodne površine. Nakon glavne ekspozicije potrebno je ukloniti neosvjetljene dijelove fotomomera

kemijskom i mehaničkom obradom. Razvijanje se u pravilu provodi otapanjem u odgovarajućem otapalu uz primjenu četki koje fizički odstranjuju topivi monomer, nakon čega slijedi sušenje polimera [1].

3. Postekspozicija (naknadna ekspozicija) – da bi se očvrstnuo reljef i poboljšala mehanička svojstva tiskovne forme, potrebno je cijelu tiskovnu formu još jednom osvijetliti. Osvjetljavanje se vrši kako bi se nastale tiskovne površine mogle u potpunosti učvrstiti, pri čemu dolazi do polimerizacije preostalih monomera u sloju [1].



Slika 8. Postupci izrade tiskovne forme od fotomonomera

Izvor:

<http://eprints.grf.unizg.hr/1447/1/Magistarski%20rad%20Brajnovi%C4%87%20Oli%20vera.pdf>

### 2.2.2.3. CtP tiskovne forme za fleksotisak

CtP postupci izrade tiskovnih formi omogućavaju bržu izradu istih bez primjene predložaka. S obzirom da je na neki način potrebno odvojiti tiskovne od slobodnih površina, danas na tržištu postoji nekoliko tipova tiskovnih formi za digitalne postupke koji sadrže tzv. „simuliran predložak“ koji omogućava formiranje reljefa u fotopolimernoj ploči.

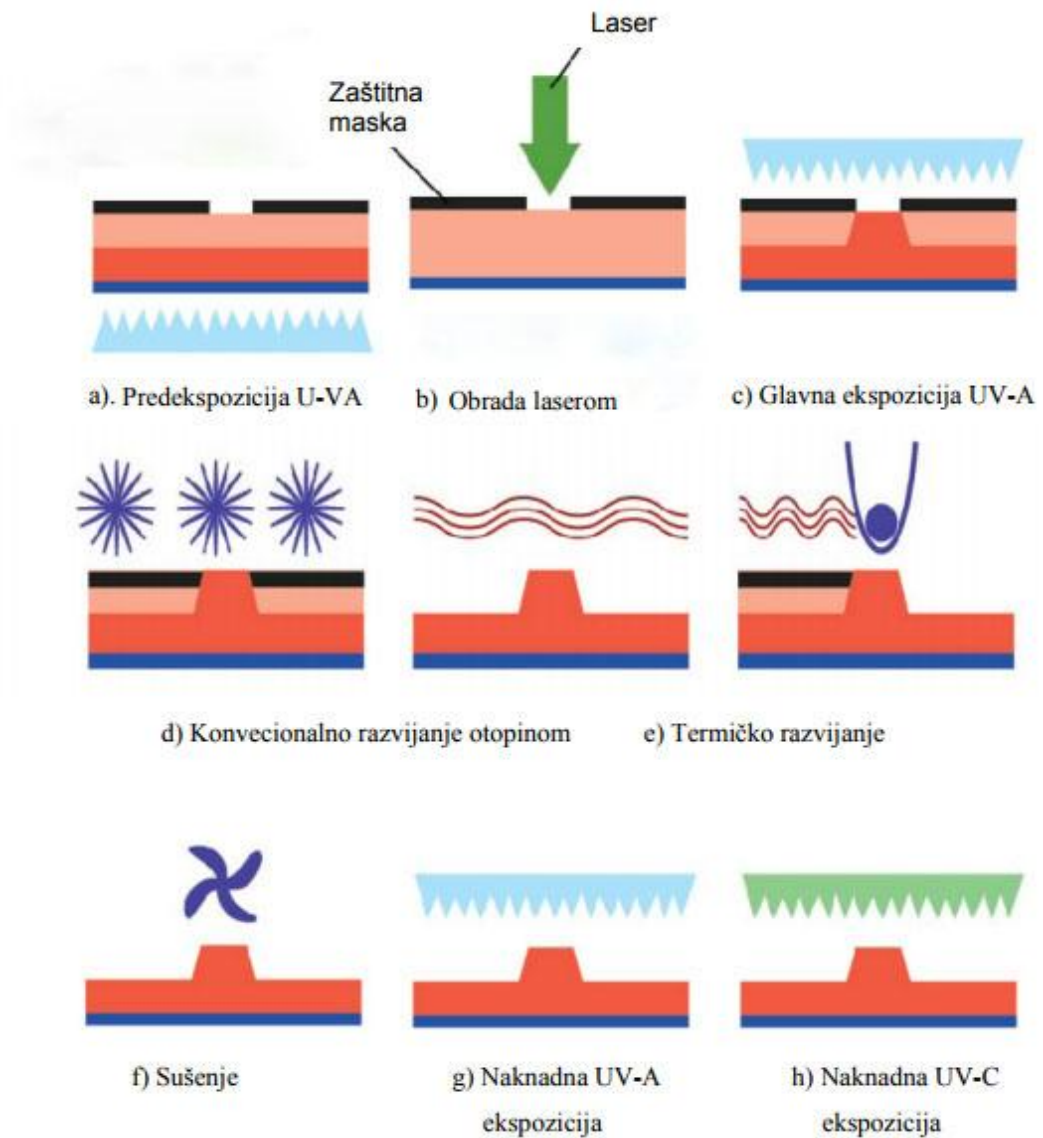
#### 2.2.2.3.1. LAMS

LAMS (*laser-ablated-mask*) je vrsta tiskovnih formi za CtP postupke koja sadrži fotoosjetljivi sloj i masku koja ima ulogu konvencionalnog predloška na polimeru. Na mjestima budućih tiskovnih površina radi se laserska ablacija maske koja ima svrhu da se prilikom eksponiranja UV zračenjem polimerizira polimerni sloj i na taj način nastaju buduće tiskovne površine. Prilikom uklanjanja termoaktivnog sloja laserom visoke snage (ili diodama) postoji mogućnost da se odstranjene sitne čestice slegnu na optički sustav ili na polimer. Iz tog razloga je potreban interni usisni sustav.

Faze izrade LAMS tiskovne forme digitalnim postupkom su sljedeće:

1. Preekspozicija – provodi se sa stražnje strane tiskovne forme bez upotrebe negativa iz razloga da se učvrsti i formira dubina reljefa (Slika 11a).
2. Obrada LAMS sloja – laserom se obrađuju buduće tiskovne površine. Nakon što se ukloni zaštitna folija, tiskovna forma se postavlja u uređaj za ispis. Laserska zraka „razara“ LAMS sloj dok preostali dio sloja peuzima ulogu konvencionalnog predloška, tj. negativa (Slika 11b).
3. Glavna ekspozicija – Ekspozicija tiskovne forme UV-A zračenjem (Slika 11c).
4. Razvijanje – kemijsko i mehaničko (konvencionalno) ili termalno uklanjanje neekspoziranih dijelova površine tiskovne forme (slike 11d i e).
5. Sušenje – (Slika 11f).

6. UV-A ekspozicija – dodatno eksponiranje zbog polimerizacije svih polimera i poboljšanja mehaničkih svojstava tiskovne forme (Slika 11g).
7. UV-C ekspozicija – eksponiranje tiskovne forme da bi se smanjila ljepljivost površine (Slika 11h).



Slika 11. Faze izrade tiskovne forme digitalnim postupkom

Izvor:

<http://eprints.grf.unizg.hr/1447/1/Magistarski%20rad%20Brajnovi%C4%87%20Olivera.pdf>

### 2.2.2.3.2. TIL

TIL (*Thermal Imaging Layer*) je postupak izrade tiskovnih formi kod kojeg TIL-film ima ulogu grafičkog predloška. TIL-film je specifično formuliran termalni ablacijski film koji omogućava visoku rezoluciju, brzo oslikavanje te kvalitetan kontakt s fotopolimernim slojem za vrijeme trajanja glavne ekspozicije [1]. Ispis na TIL-film vrši se u uređaju za ispis. Nakon toga se termalni zapis na TIL-u prenosi laminiranjem na fotopolimernu tiskovnu formu. Ostale faze izrade tiskovne forme su iste kao i kod LAMS metode.

TIL postupak izrade tiskovnih formi je sljedeći:

1. Ispis Til-filma (maske) – vrši se u uređaju za ispis. Procesom ablacije digitalno vođenim laserom ( $\lambda=830\text{nm}$ ) uklanja se dio filma na mjestima budućih tiskovnih površina.
2. Laminiranje – postupak kojim se prenosi TIL- film na fotopolimernu tiskovnu formu. Glava laminatora laminira TIL na fotopolimerni sloj neposredno nakon skidanja zaštitne folije s polimera. Taj postupak odvija se suhim kemijskim procesom bez utjecaja pritiska i topline. Postupak se odvija cca 4 min i ima vrlo važnu ulogu u procesu izrade tiskovne forme jer uklanja sav kisik između sloja termalnog filma i fotopolimera. Time se omogućuje da je fotopolimer u kratkom roku u kontaktu sa zrakom što doprinosi da je deformacija rubova tiskovnih elemenata, koja se često javlja u reakciji kisika s fotopolimerom, svedena na najmanju moguću razinu. Postupak nanašanja TIL-a na fotopolimer laminiranjem omogućava stvaranje visokokvalitetnih rasterskih točkica pune amplitude i ravnih vrhova tiskovnih elemenata [1].
3. Preekspozicija – provodi se sa stražnje strane tiskovne forme bez upotrebe negativa iz razloga da se učvrsti i formira dubina reljefa (Slika 11b).
4. Glavna ekspozicija – Ekspozicija tiskovne forme UV-A zračenjem (Slika 11c).
5. Razvijanje – kemijsko i mehaničko (konvencionalno) ili termalno uklanjanje neekspoziranih dijelova površine tiskovne forme (Slike 11d i e).
6. Sušenje – (Slika 11f).

7. UV-A ekspozicija – dodatno eksponiranje zbog polimerizacije svih polimera i poboljšanja mehaničkih svojstava tiskovne forme (Slika 11g).
8. UV-C ekspozicija – eksponiranje tiskovne forme da bi se smanjila ljepljivost površine (Slika 11h).

#### **2.2.2.4. Teksturirane tiskovne forme**

Ekspozicija fleksotiskarskih tiskovnih formi s UV-A LED-om pruža veliku vjerojatnost da se postavi novi standard u kvaliteti za izradu fleksotiskarskih tiskovnih formi. Jaka UV emisija vodi prema značajnom napredku u reprodukciji najfinijih elemenata na reljefu tiskovne forme. Mogućnost reproduciranja površinskih rastera visoke rezolucije pruža veću kvalitetu otiska s povećanim prijenosom boje. Unaprijeđena mehanička svojstva i precizno definirani tiskovni elementi s ravnom površinom osiguravaju konzistentno visoku kvalitetu otisaka, isto vrijedi i za veće naklade. Kod usporedbe s klasičnim rasterskim elementom, fizikalne karakteristike elemenata sa ravnim vrhom omogućuju reduciranje prirasta rastertonskih elemenata [4].

##### **2.2.2.4.1. Flint NEXT tehnologija**

Nylonflex NEXT je visokointenzivna UV ekspozicijska tehnologija predstavljena od Flint grupe. Omogućuje preciznu reprodukciju digitalnog predloška na tiskovnu formu. Tiskovne forme teksturiraju se u kombinaciji s NEXT tehnologijom.

Kod Flint NEXT tehnologije, ekspozicija se vrši u dva koraka, kombinacijom UV-A LED svjetiljki i s UV-A cijevima (Slika 12). U prvom koraku UV-A ekspozicijom osvjetljava se površina tiskovne forme s nizom visokog intenziteta UV LED lampi. Rezultat je vrlo brza polimerizacija površine tiskovne forme, čak brža nego što kisik uspije rasprostraniti svoj utjecaj. Na taj način je uklonjen utjecaj kisika. U drugom koraku tiskovni elementi su kreirani ekspozicijom sa standardnih UV-A cijevi. Također,

prema značajno višoj razini UV intenziteta zračenja (do 20 puta veće zračenje), emisija UV LED-a je konzistentnija i rok trajanja je duži nego kod UV cijevi.



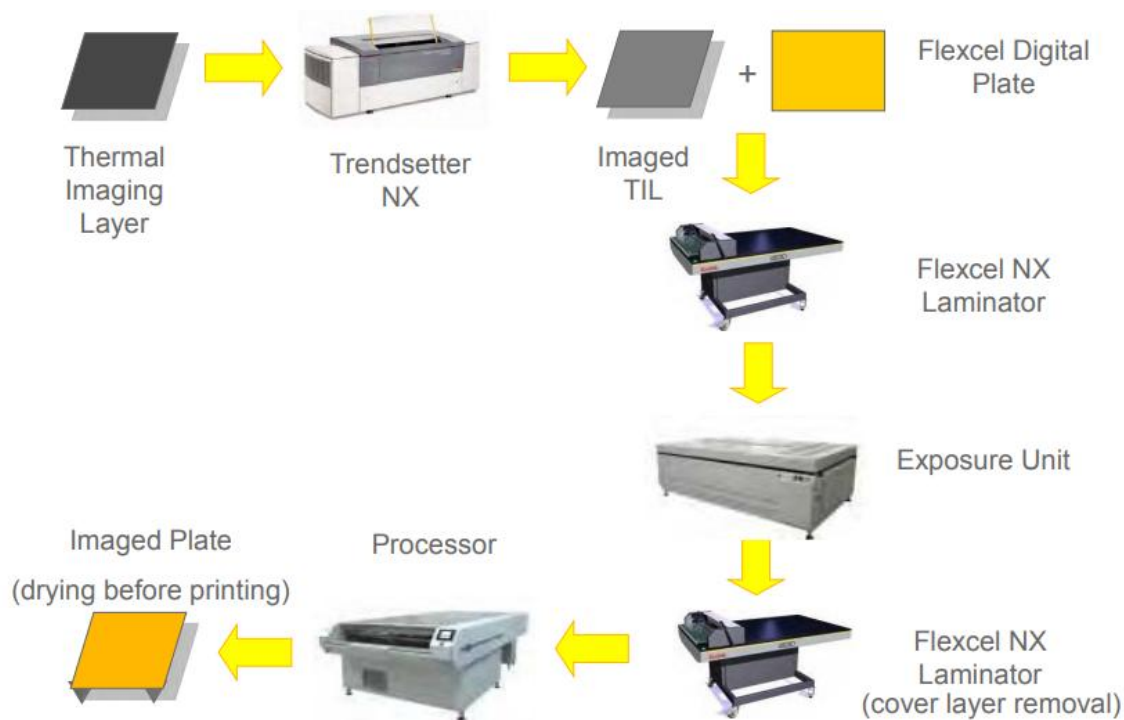
*Slika 12. UV ekspozicija tiskovne forme u 2 koraka*

*Izvor: [https://www.flintgrp.com/media/1263/nyloflex\\_next\\_en.pdf](https://www.flintgrp.com/media/1263/nyloflex_next_en.pdf)*

U usporedbi sa zaobljenim tiskovnim elementima sa tradicionalno izrađenim digitalnim postupkom, tiskovni elementi s ravnim vrhom i precizno reproduciranom hrapavom površinom omogućuju napredak u transferu bojila i povećanje gustoće (do 25%). Produženi gamut omogućuje reprodukciju finijih svijetlih tonova. Smanjen je prirast tiskovnog elementa. Reprodukcijski omjer je u omjeru 1:1 [4].

#### **2.2.2.4.2. Kodak NX tehnologija**

Kodak NX sustav izrade tiskovnih formi (Slika 13.) funkcionira tako da se kopirni predložak ispisuje na TIL film. Nakon toga se taj film laminira sa tiskovnom formom u uređaju za laminiranje. Potom slijedi ekspozicija tiskovne forme te uklanjanje suvišnog filma. Dalje slijedi proces razvijanja nakon kojeg je dobivena tiskovna forma. Prije upotrebe tu tiskovnu formu je potrebno osušiti.

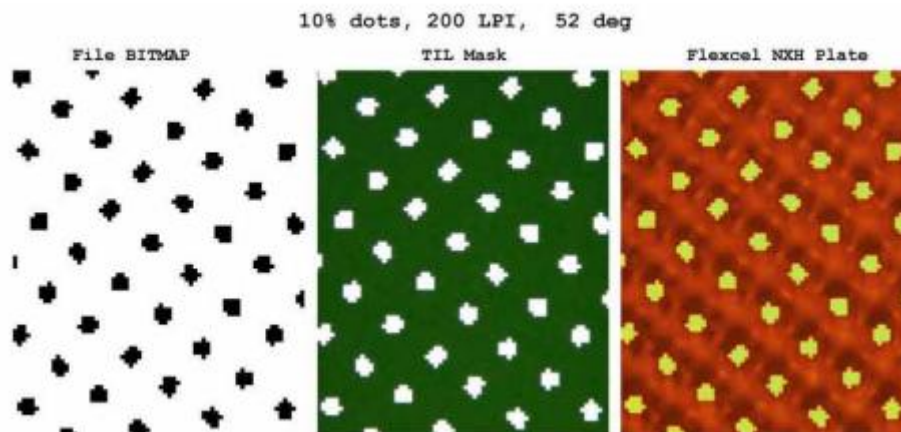


Slika 13. Flexcel NX sustav

Izvor: [http://www.flexoplatedigital.com/download/doc/Kodak\\_v1.pdf](http://www.flexoplatedigital.com/download/doc/Kodak_v1.pdf)

Flexcel NX sustav čini jedinstvenim superioran transfer bojila, omogućuje kvalitetnu reprodukciju punih tonova, predvidljivu izradu tiskovnih formi i tisak te ravne tiskovne elemente. Kod tradicionalnog fleksotiskarskog sustava tiskovni elementi su u obliku metka zbog doticaja s kisikom. Flexcel NX sustav osigurava laminiranjem odsutnost kisika, proces laminiranja je brz i jednostavan, tiskovni elementi s ravnim vrhom su formirani kroz cijeli tonalitet. Reprodukcijski zapis u omjerima 1:1 donosi predvidljivost fleksotisku. Isti onakvi rastrirani elementi kakvi se nalaze u digitalnoj datoteci, preslikavaju se na TIL masku i takvi isti sa TIL maske prelaze na tiskovnu formu. Na taj način se dobiju površinski ravni tiskovni elementi onakvog oblika kakvog su u digitalnom zapisu (Slika 14.) [5].





*Slika 14. Reprodukcijski element od digitalnog zapisa do tiskovne forme*

Izvor: [http://www.flexoplatedigital.com/download/doc/Kodak\\_v1.pdf](http://www.flexoplatedigital.com/download/doc/Kodak_v1.pdf)

## 2.3. Površinska svojstva tiskovnih formi

Proces fleksotiska ovisi o mnogim parametrima koji se moraju definirati i kontrolirati u reprodukcijском toku. Prilikom izrade fleksotiskarske tiskovne forme, osim praćenja instrukcija od proizvođača potrebno je definirati još određeni broj parametara. Stoga treba navesti nekoliko važnih parametara što se tiče samih tiskovnih formi. Što se tiče fotopolimernih tiskovnih formi to su tvrdoća, elastičnost, hrapavost, slobodna površinska energija i izdržljivost.

### 2.3.1. Tvrdoća

Tvrdoća tiskovne forme za fleksotisak je parametar koji utječe na deformaciju tiskovne forme prilikom otiskivanja i povezana je s elastičnom deformacijom tiskovne forme. Čim je forma mekša, veća je njena deformacija. Kad je forma izložena UV zračenju, izloženi dijelovi prolaze proces polimerizacije i postanu netopivi. Nakon izlaganja UV zračenju tiskovna forma još nije nužno kompletno polimerizirala. To

može rezultirati ljepljivošću tiskovne forme i/ili smanjenom tvrdoćom iste, što može još više istaknuti deformacije prilikom tiskanja. Naknadna ekspozicija poboljšava tvrdoću tiskovne forme do određene tvrdoće i može poslužiti kao alat za postizanje optimalne vrijednosti tvrdoće. Tvrdoća tiskovne forme treba biti prilagođena specifikacijama tiskovne podloge radi postizanja optimalnih rezultata [6].

### **2.3.2. Elastičnost**

Elastičnost ili elastična deformacija tiskovne forme za fleksotisak može biti ujedno njihova prednost i mana. Mogu tiskati na različite vrste podloga zbog prilagodljivosti tiskovne forme prema površinama različite hrapavosti na način da se deformira prema njoj. Negativna strana toga je da prilikom deformacije tiskovne forme, slika na tiskovnoj podlozi također može biti deformirana. U procesu reprodukcije treba biti poznat parametar razine deformacije tiskovne forme koji se zajedno sa visinom tiskovne forme uzima u obzir da bi se izračunala distorzija tiskovne forme prilikom procesa otiskivanja [6].

### **2.3.3. Hrapavost**

Hrapavost tiskovne forme za fleksotisak je svojstvo koje je povezano s fizikalno kemijskim svojstvima površine fotopolimernog materijala. Ako je veća hrapavost površine tiskovne forme, bolja je adsorpcija tiskarske boje na njenoj površini. Hrapavost tiskovne forme od fotopolimernog materijala je vrlo niska, a može biti povećana aplikacijom mikro strukture na površini tiskovnih elemenata. Ta procedura se često koristi na područjima gdje je veća pokrivenost u svrhu poboljšanja transfera tiskarskog bojila za jasniji ispis. Promjena hrapavosti fotopolimernog materijala s obzirom na vanjske utjecaje, poput UV postupaka, može biti korišteno kao indikator promjena u njegovoj strukturi [6].

### **2.3.4. Slobodna površinska energija**

Vrijeme trajanja post-ekspozicije utječe na slobodnu površinsku energiju fotopolimernog materijala. U slučaju da je ekspozicija duža, UV radijacija uzrokuje polimerizaciju spojeva u strukturi materijala. Produžavanjem trajanja ekspozicije, povećava se molekularna masa fotopolimera. Povećanjem molekularne mase nastoji se povećati i površinska napetost polimera, iako to ovisi o tipu fotopolimernog materijala. U tom slučaju, vrijednost slobodne površinske energije se također povećava. Polarne i disperzne komponente površinske energije se promijene kao rezultat fizikalno-kemijskih promjena koje se pojave na površini fotopolimera pod utjecajem UV zračenja. Te promjene mogu utjecati na prijenos bojila na tiskovnu formu u procesu reprodukcije [6].

### **2.3.5. Izdržljivost**

Izdržljivost je vrlo važna komponenta tiskovne forme za fleksotisak. Nakon korištenja, tiskovne forme za fleksotisak često se znaju spremati da bi se opet koristile, u slučaju da je posao potrebno ponoviti, kao što je to kod različitih vrsta ambalaže. Većina fleksotiskarskih tiskovnih formi ima mogućnost reproducirati do oko jedan milion kopija prije nego se mehanički istroše. Ipak, vrsta bojila koja se koristi za ispis prilikom tiskanja i sredstva s kojima se tiskovna forma čisti nakon otiskivanja imaju velik utjecaj na fotopolimerni materijal. UV sušeće fleksotiskarske boje poznate su po tome da destruktivno utječu na površinu tiskovne forme i imaju mogućnost umajiti za pola njenu izdržljivost u odnosu na bojila koja su na bazi vode. Sredstva za pranje fleksotiskarskih tiskovnih formi često sadrže u sebi otopine poput etil acetata, koji uzrokuje bubrenje fotopolimernog materijala i može prouzročiti otapanje fotopolimera do određene razine. Iz tog razloga, potrebno je pažljivo podešavanje materijala koji se koriste u fleksografskoj reprodukciji [6].

## **2.4. Osnovni materijali u fleksotisku**

### **2.4.1. Bojila u fleksotisku**

Prvo bojilo koje se koristilo u fleksotisku bilo je anilinsko bojilo po kojem je fleksotisak dobio naziv i anilinski tisak. Daljnjim razvojem nastala su tri tipa bojila, bojila na bazi organskih otapala (solventna bojila), bojila na bazi vode i UV sušeća bojila. Današnji zahtjevi za navedena bojila za fleksotisak su: velika izdašnost bojila, niska viskoznost, visoki sadržaj krute tvari, visoki sjaj otiska, dobra topljivost, maksimalna stabilnost u tisku, svojstva slobodnog protoka, brzo sušenje na podlozi. Općenito je povoljniji tanak nanos bojila koncentriranih krutih čestica (pigmenata), nego debeli nanos bojila niže koncentracije [2]. Na taj način se prilikom otiskivanja smanjuje mogućnost proširenja tiskovnih elemenata na tiskovnoj podlozi i smanjuje im se vrijeme sušenja. To omogućuje postizanje otiska s većom gustoćom obojenja i oštar, jasan izgled na otisku.

Što se tiče samih bojila za fleksotisak i njihovih karakteristika, solventna bojila primjenjuju se na ambalažu (folije), ambalažu za tekućine (mlijeko i sokovi), materijali za omot. Bojila na bazi vode koriste se za papirnu ambalažu, tapete, časopise, novine, ambalažu od valovitog kartona. UV sušeća bojila služe za tisak na folije, etikete i kartonsku ambalažu (Tablica 1.).

Tablica 1. Karakteristike bojila i njihova primjena u tisku

	<b>Solventna bojila</b>	<b>Vodena bojila</b>	<b>UV bojila</b>
Tiskarski proizvodi	ambalaža(folije) ambalaža za tekućine (mlijeko,sokovi) materijali za omatanje etikete	ambalaža (papir) tapete časopisi novine ambalaža od valovitog kartona	ambalaža(folije) etikete kartonska ambalaža
Viskoznost	20 - 50 mPas ili 20 - 30 s (povećava se za vrijeme tiska)	20 – 50 mPas 20 – 30 s (povećava se za vrijeme tiska)	100 – 500 mPas (smanjuje se za vrijeme tiska)
Sušenje	penetracijom hlapljenjem /isparavanjem	penetracijom hlapljenjem/ isparavanjem	polimerizacijom
Miris	jak miris	bez mirisa	specifičan miris

#### 2.4.2. Tiskovne podloge u fleksotisku

Fleksotisak ima mogućnost otiskivanja na različite vrste materijala, tj. tiskovnih podloga. Hrapave i glatke tiskovne podloge, premezane, nepremazane, papir, karton, polimerne podloge, ljepenka, laminati, plastika i metal. Zbog svakodnevne potražnje za većom kvalitetom, mogućnošću reciklacije, manjom potrošnjom energije i novca, papir ili karton sve se češće zamjenjuju laminiranim materijalima (film – film, film - papir) i sa specijalno oslojenim materijalima koji bolje štite sadržaj koji se nalazi u ambalaži. Također, valovita ljepenka, koja se vrlo lako reciklira, metrijal je koji se i dalje uvelike koristi u tehnici fleksotiska.

Glavna područja korištenja tiskovnih podloga za tisak ambalaže u tehnici fleksotisak jesu:

- Etikete,
- Omotni matrijali,

- Kutije od valovite ljepenke,
- Složive kutije,
- Fleksibilna ambalaža, plastike, folije
- Papirne vrećice,
- Vrećice za trgovine, papirne ili plastične,
- Metalne konzerve i kutije
- Plastične boce,
- Tube,
- Plastični poklopci,
- Blister ambalaža [2].

## **2.5. Svojstva papirnatih/kartonskih podloga**

### **2.5.1. Svojstva površine**

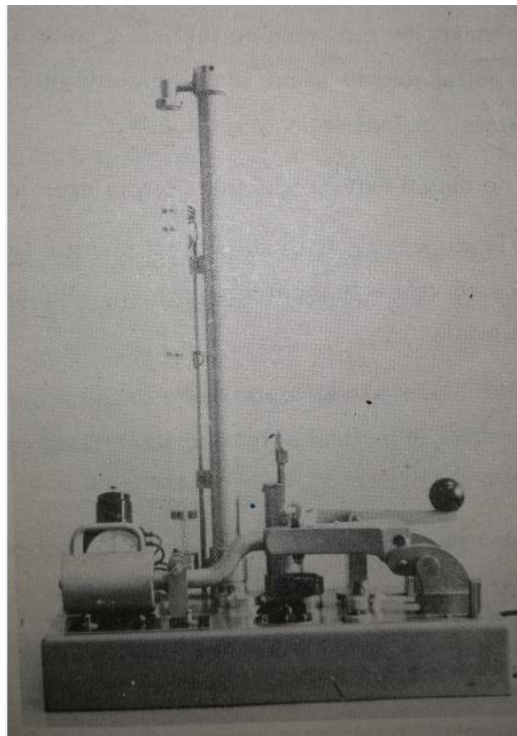
#### **2.5.1.1. Glatkost i hrapavost**

Bitan faktor za kvalitetnu reprodukciju prilikom tiska je čistoća i jednoličnost pojedinih rasterskih točkica. Stručnjaci se slažu da je za kvalitetu otisnute reprodukcije mjerodavna glatkost površine papira. Može se reći da je papir pogodniji za tisak što mu je viša glatkost. Pod glatkost neke površine smatra se približavanje te površine idealnoj ravnini. Na papiru treba razlikovati mikro i makro neravnine. Makro neravnine su one koje nastaju na površini papira stvaranjem valova ili nakupljanjem vlakanaca, dok su mikro neravnine one koje nastaju zbog nejednakosti i neravnina vlakanaca i čestica punila koje leže na površini lista. Iz tog se da zaključiti da glatkost ne ovisi samo o načinu glačanja papira, već ovisi dobrim dijelom o svojstvima vlakanaca papira, stupnju mljevenja te vrsti i količini punila.

Jedan od načina određivanja glatкости je prema Bekku. Broj glatкости prema Bekku određuje se vremenom u sekundama, u kojem se može usisati 10ml zraka uz srednji

potlak od 370 mm Hg / od 380 do 360 mm / i specifičnog opterećenja između površine papira i jedne polirane ploče od 1 kp/cm<sup>2</sup>.

Ispitivanje se vrši na uzorcima klimatiziranog papira veličine 50 x 50 mm i to na 10 uzoraka sa sitove i 10 uzoraka s pustene strane. Rezultat se izračunava kao srednja vrijednost i daje u sekundama [7].

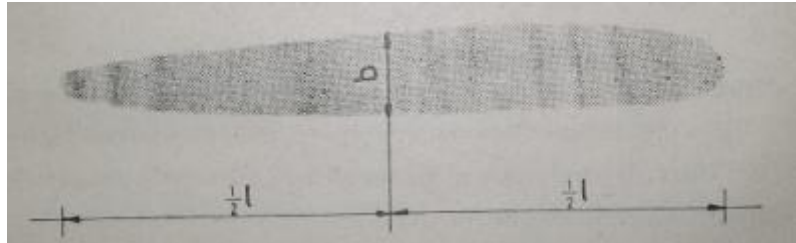


*Slika 15. Bekkov aparat za određivanje glatkosti papira*

Hrapavost papira određuje se IGT metodom tako da se u određenim uvjetima razvalja kap obojene vode i iz veličine nastale pjege zaključujemo hrapavost. Princip određivanja hrapavosti pomoći IGT aparata sastoji se u tome da se točno određena količina destilirane vode obojene s trypane-plavilom/ 1g / 100 ml/ razvalja po papiru. Formira se ovalna mrlja koja ispunjava neravnine na površini papira [7]. Vrijeme interakcije između papira i tekućine je kratko pa ne dolazi do penetracije vode u kapilarnu podlogu papira, tako da se kroz rezultat mjerenja dobiva samo hrapavost.

Mjerenje hrapavosti na IGT uređaju izvodi se na način da se dva uzorka papira pričvrste u hvataljke tako da su istovrsne strane papira okrenute jedna prema drugoj.

Jedna traka prebacuje se preko 2 cm širokog aluminijskog valjka, a druga preko gumene navlake pričvršćene na segmentu. Na prvu traku papira nakapa se lak radi sprječavanja prodiranja vode u papir u vremenu između nanošenja i razmazivanja vode. Nakon što se lak osuši, s mikro-pipetom nanosi se točno određena količina vode. Pritiskom od 40 kp i brzinom  $b$  voda se razvalja preko papira dajući ovalnu mrlju (slika 16.)



*Slika 16. Način određivanja površine mrlje radi određivanja hrapavosti pomoću IGT aparata*

Površina nastale mrlje ( $O$ ) određuje se pomoću planimetra ili računa pomoću formule:

$$O = 0,85 \times l \times b \quad (1)$$

gdje je :  $l$  = dužina mrlje [mm]

$b$  = širina mrlje na polovici te mrlje [mm]

prema IGT metodi hrapavost se izražava u [ $\text{cm}^3/\text{m}^2$ ] kao volumen po jedinici površine, a računa se i prikazuje kao prosječna dubina neravnine površine papira[8].

$$R = (V / 2 \times O) \times 1000 \quad (2)$$

gdje je :  $R$  = hrapavost [ $\text{cm}^3 / \text{m}^2$ ]

$V$  = volumen kapi vode [ $\text{mm}^3$ ]

$O$  = površina mrlje [ $\text{mm}^2$ ]



## **2.5.2. Svojstva lista**

### **2.5.2.1. Upojnost**

List papira prema svom sastavu i načinu izrade ima više ili manje šupljina. Te šupljine utječu na prodiranje tekućina u papir, odnosno na njegovu upojnost. Papiri s mnogo šupljina odlikuju se visokom upojnošću [7]. Na upojnost se može utjecati prilikom same izrade papira i to dodatkom drvenjače, punila, posnim mljevenjem te uvjetom da se papiri kad se izrade ne smiju satinirati.

U svrhu smanjenja upojnosti, potrebno je prilikom izrade papira uzeti celulozna vlakna, što manje punila, mljevenje mora biti masno i papir se naknadno treba satinirati.

Ako je upojnost papira premala, kod visokog i plošnog tiska tiskarska boja presporo prodire u podlogu. Rezultat toga je mazanje svježeg otiska na izlagaćem dijelu tiskarskog stroja. Prevelika upojnost papira uzrokuje da vezivo tiskarske boje prebrzo i gotovo potpuno proдре u list papira, dok pigment ostane nevezan na površini i lako se otire. [7]

### **2.5.2.2. Dimenzionalna stabilnost**

Na promjenu dimenzija tiskovnih podloga u uzdužnom i poprečnom smjeru više ili manje utječe vlaga. Ovu promjenu označavamo kao rastezanje u vlažnom, zadržavanje mjera ili dimenzionalna stabilnost [7]. Vrlo je važno za tiskovne podloge poznavanje veličine promjene u uzdužnom i poprečnom smjeru. Za vrijeme tiska poželjna je što manja promjena u dimenzijama. Ukoliko tiskovne podloge imaju prevelike promjene u dimenzijama, stvaraju teškoće s registrom prilikom višebojnog tiska.

Rastezanje u vlažnom je relativna promjena dužine neke probe izražena u postocima, a odnosi se na razliku u suhom i mokrom stanju s obzirom na početno stanje.

### **2.5.2.3. Keljenost i stupanj keljenja**

Papir je u nekeljenom stanju sklon upijanju. Od mnogih papira zahtjeva se da na njihovu površinu nanese tekućine ostanu u vrlo oštrom obliku poslije sušenja. To svojstvo se postiže keljenjem papira, pri čemu se zatvore cjevčice vlaknaca kao i sama površina lista papira. Keljiva listu zatvaraju i poravnavaju površinu te mu daju hidrofoban karakter. Zbog toga dolazi do kvalitetnog otiskivanja bojom i sprječava se razlijevanje vodenih otopina poput tinte za pisanje.

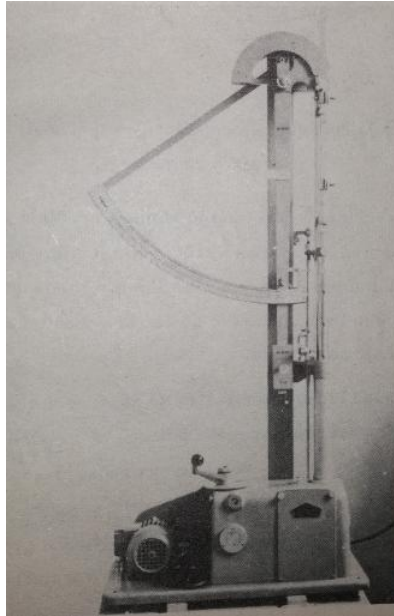
Budući da se keljenost stupnjuje, može se govoriti o četvrt, pola, tričetvrt i puno keljenim papirima. Kako stupanj keljenja raste, opada stupanj upijanja papira. Papiri za tisak su najčešće pola do tričetvrt keljeni, dok papiri za višebojni ofset, umjetnički tisak i pisači papiri zahtjevaju punu keljenost.

### **2.5.3. Mehanička svojstva papira**

#### **2.5.3.1. Otpornost prema kidanju**

Uzorci za otpornost prema kidanju uzimaju se s različitih mjesta, prilikom izrade ili prilikom isporuke, da bi se dobio prosječan uzorak. Broj ispitivanih araka ovisi o obujmu isporuke, a iznosi najmanje deset. Površina uzorka, koji nije presavijen, mora biti takva da u ispitivanom smjeru iznosi 25 – 30 cm. Uzorci se prije ispitivanja moraju klimatizirati na normalne uvjete ( 50 +/- 2% relativne vlažnosti zraka i 23 +/- 1 °C ), dok se ne postigne ravnotežno stanje s tom klimom. Za papire je potrebno kondicioniranje najmanje 12 sati, dok je za kartone potrebno najmanje 24 sata. Poželjno je da se ispitivanje vrši u istim klimatskim uvjetima i da se kidalica također nalazi u klimatiziranoj prostoriji.

Uzorci na kojima se vrši ispitivanje otpornosti prema kidanju režu se iz araka u uzdužnom i poprečnom smjeru. Za rezanje je najbolje upotrebljavati giljotinu. Uzorci trebaju biti široki 15 mm i dugi 180 mm. Kod materijala koji prilikom rezanja ne daju oštre rubove širina treba biti 50 mm a dužina 200 mm.



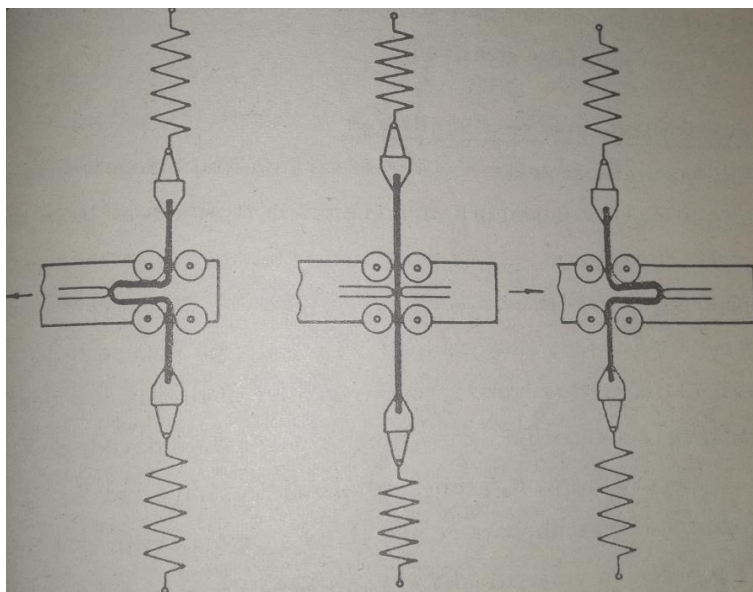
*Slika 18. Uređaj za određivanje otpornosti prema kidanju*

Nakon ispitivanja, kao rezultat daju se odvojene srednje vrijednosti u uzdužnom i poprečnom smjeru dobivene iz pojedinačnih mjerenja, kao i ukupna srednja vrijednost te otpornost prema kidanju, prekidno rastezanje i prekidnu dužinu [8]. Otpornost prema kidanju izražava se u (kp), a prekidna dužina u (%).

### **2.5.3.2. Otpornost prema savijanju**

Još jedno vrlo važno mehaničko svojstvo papira, kartona, ljepenke je otpornost prema savijanju. To ima poseban značaj za papire koji se prerađuju u strojevima za pakiranje ili papire koji se svakodnevno pregibaju i gužvaju kao npr. novčanice. Na otpornost prema savijanju značajan utjecaj imaju dužina vlaknaca i modul elastičnosti vlaknaca.

Ispitivanje se izvodi na način da se mjeri broj dvostrukih savijanja koje izdrži uzorak određenih dimenzija, dok ne dođe do njegovog pucanja. Princip rada uređaja za određivanje otpornosti prema savijanju prikazan je na Slici 19.



*Slika 19. Princip rada uređaja za određivanje broja dvostrukog savijanja*

Kao rezultat ispitivanja daje se srednja vrijednost broja dvostrukih savijanja u uzdužnom i poprečnom smjeru i srednja vrijednost iz oba smjera, nadalje relativna odstupanja pojedinačnih vrijednosti do srednje vrijednosti i naziv aparata na kojem je provedeno ispitivanje [7].

### **2.5.3.3. Otpornost prema cijepanju**

Da bi se ocijenila kvaliteta mnogih vrsta papira, kao npr. sirovih papira za premazivanje, transparentnih, crtaćih, toaletnih, omotnih itd., vrlo je važno svojstvo otpornost prema cijepanju. Dok u slučaju otpornosti prema kidanju najveću ulogu imaju sile između pojedinih vlaknaca, u otpornosti prema cijepanju glavnu ulogu ima dužina vlaknaca i elastičnost papirne tvorevine.

Otpornost prema cijepanju je srednja sila u pondima duž jednog određenog puta cijepanja, a potrebno ju je primjeniti nakon zarezivanja uzorka da bi uzorak rascijepili [7]. Obično se određuje otpornost na cijepanje uzduž i popreko papira tj. kad cijepanje teče uzduž toka vlaknaca u papiru i kad cijepanje teče popreko toka vlaknaca u papiru.

#### **2.5.3.4. Otpornost prema tlaku**

Otpornost prema tlaku je svojstvo nužno za papirne i kartonske ambalaže, u obliku vrećica ili kutija koje se podvrgavaju transportu ili se slažu jedna na drugu. Dok prilikom kidanja djeluje sila samo u jednom smjeru, pri djelovanju tlaka naprezanja, sila je raspoređena u dvije dimenzije u svim smjerovima.

Ako tlak, koji se konstantno povećava, djeluje na jedan kružni uzorak papira koji je na obodu upet, papir će se ispupčivati dok ne pukne, odnosno prsne. Mjera za otpornost prema tlaku kod kojeg dolazi do prskanja je u  $\text{kp/cm}^2$ . Zajedno s mjerenjem tlaka mjeri se i visina ispupčenja uzorka u trenutku prskanja i daje se u milimetrima.

Razlog je taj što mjerene vrijednosti ovise o gramaturi papira, pa se vrijednosti preračunavaju na " relativnu otpornost" prema tlaku koja se odnosi na gramaturu od  $100 \text{ g/m}^2$ . Preračunavanje se vrši prema formuli:

$$b = B/G * 100 \quad (3)$$

gdje je:

$b$  = relativna otpornost prema tlaku

$B$  = izmjerena otpornost prema tlaku

$G$  = gramatura papira u  $\text{g/m}^2$

$100$  = gramatura papira  $100 \text{ g/m}^2$

#### **2.5.4. Optička svojstva papira**

##### **2.5.4.1. Bjelina**

U Europi se daje velika važnost bjelini papira, pogotovo onim pisaćim, crtaćim i tiskovnim. Kao stupanj bijeline nekog materijala podrazumijevamo stupanj, odnosno postotak kojim se taj materijal približava idealno bijelom, a koje je dogovorno

postavljeno za magnezijev oksid. Stupanj remisije magnezijevog oksida kao standarda uzima se kao 100 %. Bjelina ili stupanj bjeline definirani su prema JUS. H. N8. 129 kao stupanj refleksije ili remisije difuznog svjetla valne dužine 461 nm s površine sloja papira u odnosu na standardni uzorak magnezijevog oksida čija se vrijednost uzma kao 100 % [7]. Stupanj bjeline dobije se u postotcima u odnosu na određene standarde.

Budući da je stupanj refleksije teško mjeriti prilikom određivanja bjeline papira, mjeri se stupanj remisije.

Stupanj refleksije je omjer reflektiranog svjetlosnog toka i svjetlosnog tokai svjetlosnog toka koji pada okomito na neku površinu.

Stupanj remisije je omjer sjajnosti ispitivane probe i bijelog standarda uz osvjetljenje od 45° prema okomici i mjerenje paralelno s okomicom na probu [7].

#### **2.5.4.2. Opacitet i transparentnost**

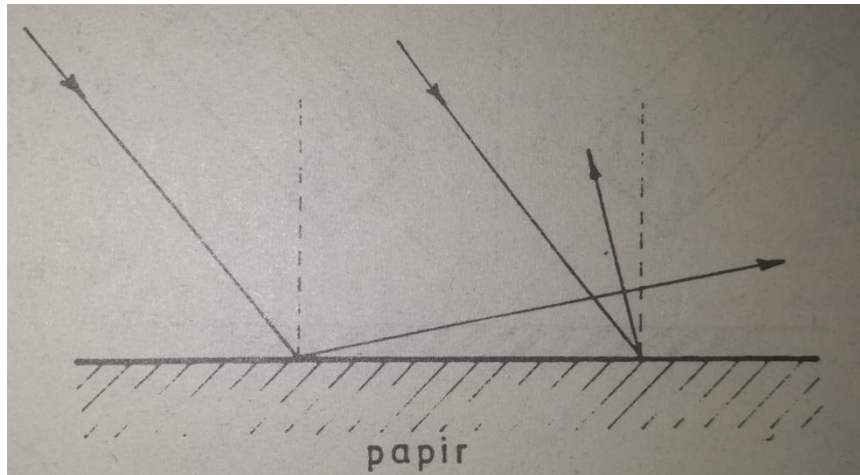
Opacitet i transparentnost vrlo su tražena svojstva papira, ovisno o njegovoj primjeni. Paus i pergamin papir moraju biti prozirni, dok tanki tiskovni papiri i papiri za kuverte moraju biti neprozirni da se tekst ili slika ne bi vidjeli preko na drugu stranu. Transparentnost i opacitet su obrnuto proporcionalne veličine. Papir visoke transparentnosti nema opacitet ili je vrlo malen, isto tako papir visokog opaciteta ima minimalnu transparentnost.

Materijal može apsorbirati, propustiti ili reflektirati svjetlosnu zraku. Ako dolazi do prolaza svjetlosti bez promjene smjera zraka, onda je materijal 100 % transparentan. Ako se smjer mijenja, materijal je proziran, ali je stupanj transparentnosti niži. Transparentnost je propusnost papira za difuzno upadno svjetlo [7].

Opacitet je mjera za nepropusnost svjetla i izražava se u postocima. Opacitet je odnos između stupnja remisije pojedinog lista papira iznad jedne crne podloge prema stupnju remisije tog istog papira iznad tolikog snopa listova papira jednake vrste da kroz njega ne može proći svjetlo.

### 2.5.4.3. Sjajnost

Zbog različitog stanja površine na koju svjetlo pada i difuzno se reflektira, površina se čini manje sjajna ili uopće nije sjajna. Radi se o mikroneravninama na kojima dolazi do difuzne refleksije (Slika 20.). Upadni snop paralelnih zraka svjetlosti reflektira se u svim smjerovima. Iz tog razloga većina papira nema sjajnu površinu.



*Slika 20. Difuzna refleksija s površine papira*

Ponekad, iz estetskih ili nekih drugih razloga, traži se da površina papira ima veći ili manji sjaj. To je moguće postići na više načina, a najčešće se koristi kalandriranje.

### 2.5.4.4. Flourescentnost

Svako tijelo apsorbira dio svjetla koji padne na njega. U većini slučajeva se to apsorbirano svjetlo pretvara u toplinu. U slučajevima kada tijelo pretvara to svjetlo u zrake koje naknadno izračuju, ta se pojava naziva flourescencija.

Ako na list papira padne dnevno svjetlo, jedan dio svjetla će se apsorbirati i to uglavnom iz ultraljubičastog i dijela plavog spektra. Zbog toga list izgleda žućkasto. Visoki stupanj bjeline papira, postiže se na način da se kompenzira žućkasti ton uz

istovremeno zadržavanje, pa čak i povećavanje količine reemitiranog svjetla. To se radi dodavanjem male količine optičkih bjelila. Optičko bjelilo djeluje tako da ultraljubičasto svjetlo, koje je za ljudsko oko nevidljivo, izračuje kao vidljivo. Te zrake zajedno s reflektiranim zrakama vidljivog svjetla odbijaju se i kompenziraju žutilo dodatnom emisijom plavog svjetla, te poboljšavaju svjetlinu papira. Dolazi do dodatne emisije plavog svjetla, pa se tako ultraljubičasto pretvara u svjetlo kraćih valnih duljina, ljubičasto i plavo.

Učinak optičkih bjelila ovisi o fluorescenciji, dok fluorescencija ovisi o kratkovalnom zračenju. Iz toga se da zaključiti da se bjelina papira povećava, ukoliko sadrži optička bjelila, jedino u slučaju ako ga promatramo na svjetlosti koja sadrži te kratkovalne zrake. Takvi su izvori sunce, fluorescentne, živine i slične lampe, dok se kod obične električne žarulje ne primjećuje utjecaj optičkih bjelila na papir i papir ne izgleda bjelije.

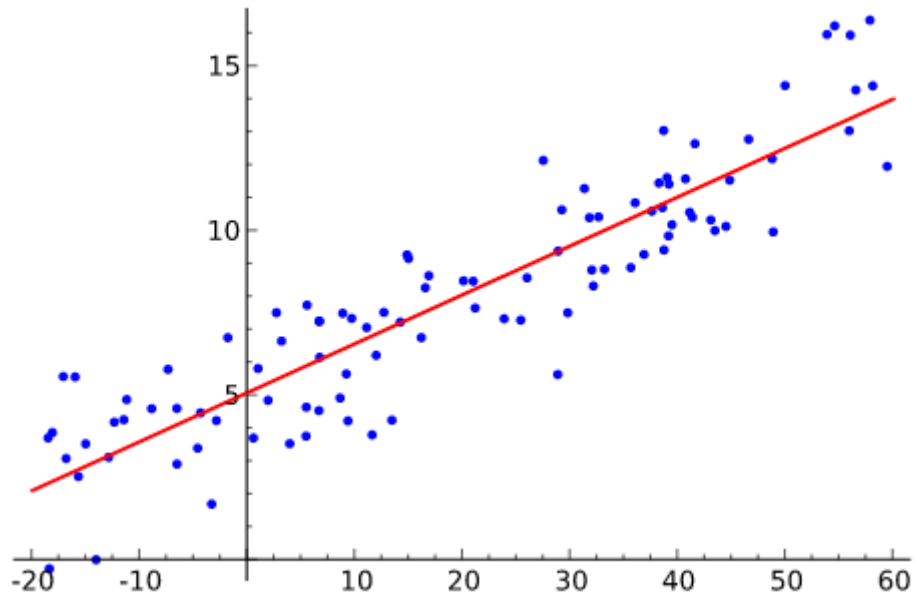
## **2.6. Metoda najmanjih kvadrata u matričnom obliku**

Metoda najmanjih kvadrata je standardni pristup u regresivnoj analizi da bi se dobilo približno rješenje preodređenog sustava, setova jednadžbi u sustavu gdje se nalazi više jednadžbi od nepoznanica. Najmanji kvadrati znače da cjelokupno rješenje minimizira sumu kvadrata od ostataka napravljenih u rezultatima od svake pojedine jednadžbe.

Najveća primjena metode najmanjih kvadrata je u prilagodbi podataka. Najbolja prilagodba najmanjih kvadrata minimizira sumu kvadriranih ostataka (razlika između promatrane vrijednosti i prilagođene vrijednosti) [8]. Problem najmanjih kvadrata često se koristi u raznim tehničkim primjenama kao i u ekonomiji (linearna regresija) [9].

Oblik rješenja metode najmanjih kvadrata može se vidjeti na Slici 21.





Slika 21. Rješenje metode najmanjih kvadrata

Izvor: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3a/Linear\\_regression.svg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3a/Linear_regression.svg)

Metoda najmanjih kvadrata koristi se u slučaju kada matrica sustava  $\mathbf{A}$  ima linearno nezavisne stupce, te je u tom slučaju rješenje problema najmanjih kvadrata jedinstveno.

Zadan preodređeni sustav  $\mathbf{Ax} = \mathbf{b}$  od  $m$  jednažbi s  $n$  nepoznanica, pri čemu je

$m > n$ . Kako za normu vektora  $\mathbf{x}$  vrijedi  $\|\mathbf{x}\|^2 = \mathbf{x}^T \mathbf{x}$ .

Problem najmanjih kvadrata

$$\|\mathbf{Ax}-\mathbf{b}\|^2 \rightarrow \min$$

Može se zapisati kao

$$(\mathbf{Ax}-\mathbf{b})^T (\mathbf{Ax}-\mathbf{b}) \rightarrow \min.$$

Uvedimo oznaku

$$Q(\mathbf{x}) = \|\mathbf{Ax}-\mathbf{b}\|^2 = (\mathbf{Ax}-\mathbf{b})^T (\mathbf{Ax}-\mathbf{b}) \quad (4)$$

$$= \mathbf{x}^T \mathbf{A}^T \mathbf{Ax} - \mathbf{b}^T \mathbf{Ax} - \mathbf{x}^T \mathbf{A}^T \mathbf{b} + \mathbf{b}^T \mathbf{b}$$

$$= \mathbf{x}^T \mathbf{B} \mathbf{x} - 2 \mathbf{x}^T \mathbf{c} + \beta$$

Gdje je

$$\mathbf{B} = \mathbf{A}^T \mathbf{A}, \quad \mathbf{c} = \mathbf{A}^T \mathbf{b}, \quad \beta = \|\mathbf{b}\|^2.$$

U višedimenzionalnom slučaju imamo situaciju  $\mathbf{x} = \mathbf{B}^{-1} \mathbf{c}$ , pa je  $\mathbf{x}$  rješenje sustava  $\mathbf{B} \mathbf{x} = \mathbf{c}$ , odnosno  $\mathbf{A}^T \mathbf{A} \mathbf{x} = \mathbf{A}^T \mathbf{b}$ .

Ova jednadžba naziva se normalna jednadžba. Vektori  $\mathbf{A} \mathbf{x}$  i  $\mathbf{A} \mathbf{x} - \mathbf{b}$  su međusobno okomiti (jednadžba 5.).

$$(\mathbf{A} \mathbf{x}) \cdot (\mathbf{A} \mathbf{x} - \mathbf{b}) = (\mathbf{A} \mathbf{x})^T (\mathbf{A} \mathbf{x} - \mathbf{b}) = \mathbf{x}^T \mathbf{A}^T (\mathbf{A} \mathbf{x} - \mathbf{b}) = 0. \quad (5)$$

Geometrijski gledano je vektor  $\mathbf{A} \mathbf{x}$  ortogonalna projekcija vektora  $\mathbf{b}$  na skup  $\{\mathbf{A} \mathbf{y} : \mathbf{y} \text{ proizvoljan}\}$ . Nadalje, vektori  $\mathbf{A} \mathbf{x}$ ,  $\mathbf{b}$  i  $\mathbf{A} \mathbf{x} - \mathbf{b}$  tvore pravokutan trokut s hipotenuzom  $\mathbf{b}$ .

Rješenje problema najmanjih kvadrata  $\mathbf{x}$  još se naziva i kvadratična prilagodba sustavu  $\mathbf{A} \mathbf{x} = \mathbf{b}$  u smislu najmanjih kvadrata. Kvalitetu prilagodbe mjerimo s:

$$q = \sqrt{\frac{Q(\mathbf{x})}{Q(0)}} = \frac{\|\mathbf{A} \mathbf{x} - \mathbf{b}\|}{\|\mathbf{b}\|}. \quad (6)$$

Iz činjenice da je  $\mathbf{b}$  hipotenuza pravokutnog trokuta sa stranicama  $\mathbf{A} \mathbf{x}$ ,  $\mathbf{b}$ , i  $\mathbf{A} \mathbf{x} - \mathbf{b}$  i  $\mathbf{b}$ , slijedi da je  $q$  uvijek između 0 i 1. Ako je  $q = 0$ , onda je prilagodba najbolja moguća, odnosno  $\mathbf{x}$  je točno rješenje sustava  $\mathbf{A} \mathbf{x} = \mathbf{b}$ . Ako je  $q$  mali, prilagodba je dobra, a ako je  $q$  blizu jedan, prilagodba je loša [9].

Ova metoda (Least squares - LS – sustav) korištena je u završnom radu kako bi se aproksimirao sustav „parametri tiskovne podloge – tiskovna forma – parametri otiska“. Metodom najmanjih kvadrata (LS metodom) dobiveni su težiski faktori za parametre tiskovnih podloga koji utječu na parametre otiska dobivenog odrađenom tiskovnom formom za fleksotisak.

## **3. EKSPERIMENTALNI DIO**

### **3.1. Priprema uzoraka**

Za ovaj završni rad vršeno je ispitivanje na pet vrsta papira koji su se rezali ako je bilo potrebno na način na koji su zahtjevale potrebe eksperimenta. Papiri koji su se koristili su: Tauro offset, Matt 100 g/m<sup>2</sup>, Gloss 115 g/m<sup>2</sup>, Sinarvanda 245 g/m<sup>2</sup> i Silk 350 g/m<sup>2</sup>. Na papirima je prije otiskivanja vršeno ispitivanje njihove hrapavosti, sjaja, slobodne površinske energije, glatkost, otpornost na kidanje i upojnost. Nakon otiskivanja izmjerena je gustoća zacrnljenja i tonska vrijednost na otiscima. Koristila se jedna teksturirana i jedna neteksturirana tiskovna forma. Budući da su bile na raspolaganju postojeće tiskovne forme koje su mogle zadovoljiti zahtjeve eksperimenta, nije bilo potrebe za izradom novih primjeraka teksturirane i neteksturirane tiskovne forme.

### **3.2. Ispitivanje papira**

#### **3.2.1. Hrapavost**

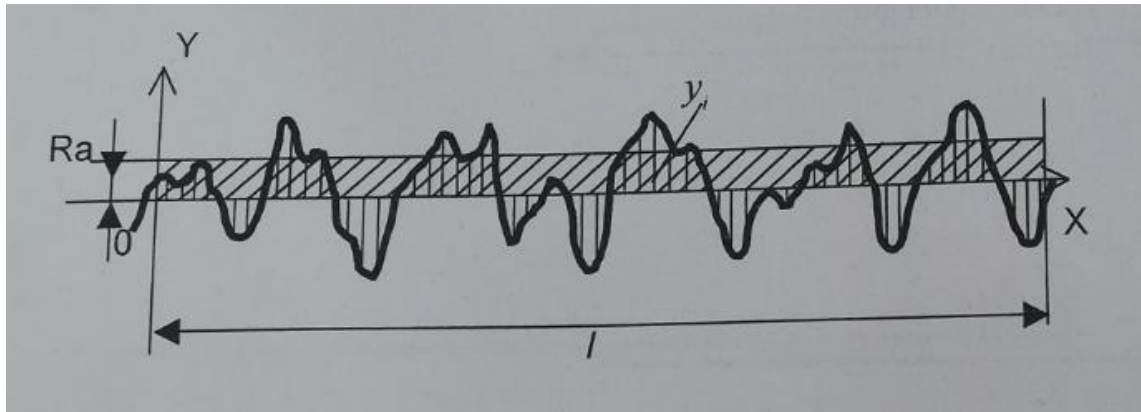
Ispitivanje hrapavosti papira provedeno je s ručnim testerom za hrapavost TR200 (Slika 22). Hrapavost papira određena je na način da je provedeno po deset mjerenja sa svake strane (a,b). Na svakoj strani po pet mjerenja u smjeru toka vlaknaca i pet mjerenja u smjeru okomitom na tok vlaknaca u papiru. Svako mjerenje provodi se na drugačijem mjestu na uzorku.



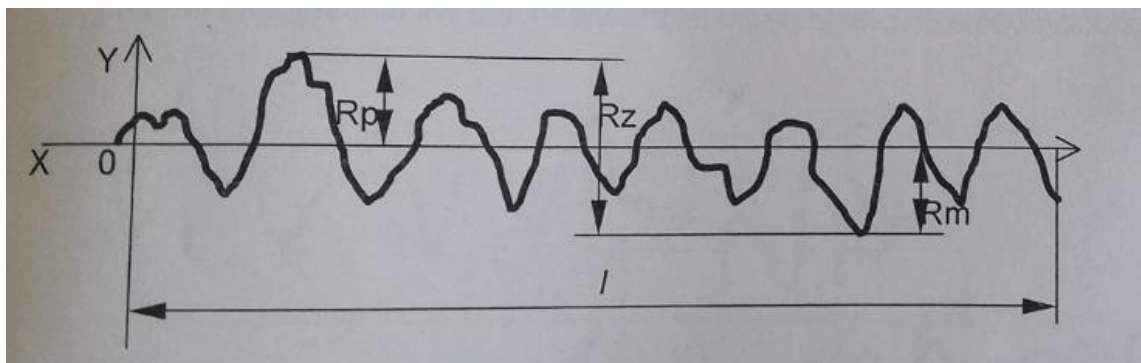
*slika 22. Ručni tester za hrapavost TR200*

Izvor: <https://www.bowersgroup.co.uk/row/w-tr200-surface-roughness-tester-tr-200.html>

Uređaj TR200 priključen je na računalo u kojem se nalazi pripadajući program kojim se može pokrenuti pojedino mjerenje i u kojem se izlistaju rezultati mjerenja. Postavljanjem uređaja na željeno mjesto u programu na računalo pritisne se „play“. Time se na mjernom uređaju pokreće iglica koja prelazi po površini papira u točno određenom rasponu koji je moguće odabrati (20qm, 40qm i 80qm) i mjeri neravnine na površinama. Nakon što je izmjera završena, rezultati izmjere se prikazuju u programu na računalo. Vrijednosti koje su uzete u obzir za potrebe ovog eksperimenta su Ra i Rz gdje je Ra aritmetička sredina profila u pojedinom mjerenju, a Rz je maksimalna visina profila između najvišeg brijega i najnižeg dola na papiru u pojedinom mjerenju (Slika 23 i 24). Krajnji rezultat hrapavosti za određenu stranu na uzorku koji se ispituje dobiven je kao srednja vrijednost mjerenja koja su izvršena na toj strani na uzorku. Za LS modeliranje odabran je Ra parametar, budući da su Ra i Rz pokazali zavisnost.



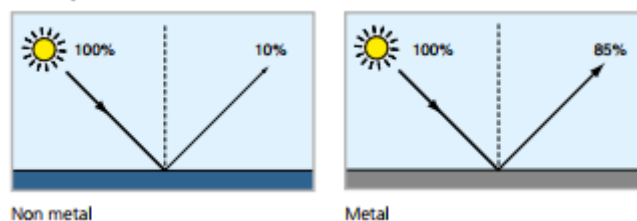
Slika 23. Aritmetska sredina profila  $R_a$



Slika 24. Maksimalna visina profila  $R_z$

### 3.2.2. Sjajnost

Sjajnost papira mjeri se pomoću glossmetra koji mjeri reflektirajući odsjaj. Intenzitet svjetla registrira se preko malog dometa reflektiranog kuta. Intenzitet svjetla ovisi o materijalu i kutu osvjetljenja. U slučaju nemetala (premaz, plastika) količina reflektiranog svjetla povećava se s povećanjem kuta osvjetljenja. Preostali dio svjetla penetrira u materijal te se apsorbira ili difuzno raspršuje ovisno o boji. Metali imaju mnogo veću refleksiju i manje su ovisni o kutu upada svjetla od nemetala.



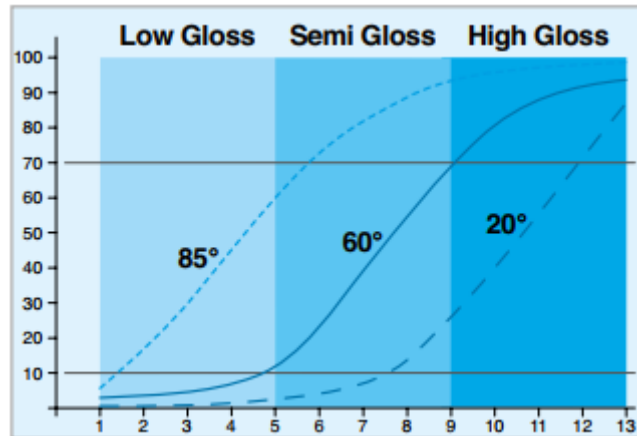
Slika 25. Prikaz reflektirajuće količine svjetla u odnosu na vrstu materijala

Izvor:

[https://www.byk.com/fileadmin/byk/support/instruments/theory/appearance/en/Intro\\_Gloss.pdf](https://www.byk.com/fileadmin/byk/support/instruments/theory/appearance/en/Intro_Gloss.pdf)

Rezultati mjerenja glossmetrom povezani su s količinom reflektiranog svjetla od crnog stakla standardiziranog s definiranim indeksom refrakcije, a ne prema količini slučajnog osvjetljenja. Vrijednost mjerenja za taj definirani standard jednaka je 100 gloss jedinica (kalibrirano). Materijali sa većim indeksom refrakcije mogu imati mjerene vrijednosti iznad 100 gloss jedinica (GU). U slučaju transparentnih materijala, mjerene vrijednosti mogu biti povećane zbog multiplicirane refleksije u materijalu. Zbog visokoreflektivnih mogućnosti metala mogu se doseći vrijednosti i do 2000 GU. Takva mjerenja se obično pohranjuju u postotcima u količini svjetla koje se reflektira i upadne količine svjetla [10].

U svrhu dobivanja jasne razlike kod mjerenja u rasponu od visoko sjajnih do mat površina, definirane su tri različite geometrije i tri različita raspona [10]. Mat površine mjere se pod kutem od  $85^\circ$ , površine srednjeg sjaja pod kutem  $60^\circ$  i površine visokog sjaja pod kutem od  $20^\circ$  (Slika 26).



Slika 26. Kut mjerenja sjajnosti ovisno o sjajnosti površine materijala

Izvor:

[https://www.byk.com/fileadmin/byk/support/instruments/theory/appearance/en/Intro\\_Gloss.pdf](https://www.byk.com/fileadmin/byk/support/instruments/theory/appearance/en/Intro_Gloss.pdf)

Postupak određivanja sjajnosti pomoću glossmetra (Elcometer 407) je takav da se na papir koji se ispituje sjajnost postavi glossmetar, te pritiskom na tipku start, uređaj izvrši izmjernu sjajnosti papira. Nakon što izmjera završi, na ekranu uređaja pojave se vrijednosti za sjajnost papira pod kutovima od 20°, 60° i 85°. Za krajnji rezultat uzima se vrijednost koja je pod kutem koji je određen prema sjajnosti površine materijala (Slika 26).

Mjerenja na uzorcima provedena su po deset puta sa svake strane pojedinog uzorka. Kao rezultat mjerenja računa se srednja vrijednost mjerenja za svaki pojedini uzorak posebno za a, posebno za b stranu uzorka.



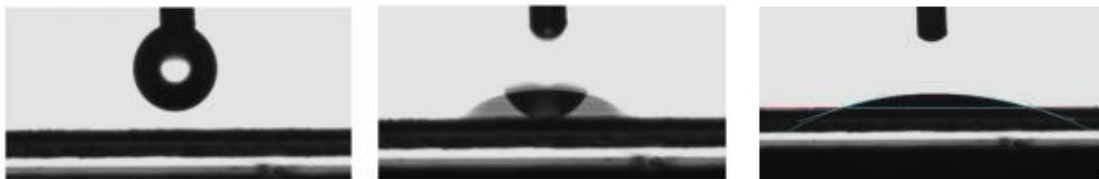
*Slika 27. Glossmetar elcometer 407*

### **3.2.3. Slobodna površinska energija**

Slobodna površinska energija i kontaktni kut na uzorcima papira sa različitim ispitivanim tekućinama analizirani su pomoću goniometra *Data Physics OCA 30*. Kontaktni kut i slobodna površinska energija ispitivanih tekućina su parametri koji se koriste za izračun površinske energije uzorka. Za mjerenja se koriste tri probne tekućine za koje je poznata površinska energija a to su: voda, glicerol i diodometan [6].

Kontaktni kut izmjeren je metodom viseće kapi, osam puta za svaki uzorak na različitim mjestima na papiru.





Slika 28. Izmjera kontaktnog kuta koristeći metodu kapanja

Izvor: Tomašegović T. Funkcionalni model procesa izrade fotopolimerne tiskovne forme, doktorski rad, Grafički fakultet

Oblik kapi od probne tekućine je kao sferna kapa, a volumen kapi je 1  $\mu\text{l}$ . Sva mjerenja kontaktnog kuta napravljena su u trenutku nakon što je kap dotakla površinu papira sa odgodom od 20 frameova, te je izračunata srednja vrijednost.

Slobodna površinska energija izračunata je metodom OWRK. Nakon što su dobiveni kontaktni kutevi za svaku probnu tekućinu na uzorku, izračunate su srednje vrijednosti kontaktnog kuta za svaki uzorak. Rezultati kontaktnog kuta omogućuju računanje slobodne površinske energije, te njezine polarne i disperzivne komponente (Jednadžba 7):

$$\frac{(1-\cos\theta)\cdot\gamma_s}{2\sqrt{\gamma_l^D}} = \sqrt{\gamma_s^P} \sqrt{\frac{\gamma_l^P}{\gamma_l^D}} + \sqrt{\gamma_s^D} \quad (7)$$

gdje je  $\gamma_s$  površinska napetost krutine,  $\gamma_l$  površinska napetost tekućine,  $\gamma^D$  disperzivna komponenta površinske napetosti,  $\gamma^P$  polarna komponenta površinske napetosti i  $\theta$  kontaktni kut [6].

### 3.2.4. Glatkost

Glatkost uzoraka na kojima se vrši ispitivanje određena je prema „BEKKu“. Uređaj na kojem je vršeno ispitivanje je: PTI-Line Bekk, proizvođač: PTI Austria GmbH (Slika 29).



*Slika 29. PTI-Line Bekk uređaj za određivanje glatкости*

*Izvor:* <http://materijali.grf.unizg.hr/media/vjezbe%20Papir/PAPIR%203.vjezba.pdf>

Uzorak se postavi na staklenu pločicu iznad koje se nalazi mjerna glava, s ispitivanom stranom prema dolje. Kada se pritisne tipka start, na uzorak se spušta mjerna glava koja pritišće uzorak na staklenu pločicu masom od 10 kg. Nakon toga se vakuumske pumpama isprazni spremnik za zrak do ciljanog tlaka od 50.7 kPa. Ovisno o hrapavosti ispitivanog uzorka, zrak koji je preostao između površine papira i staklene pločice usisava se u spremnik sve dok tlak ne padne na 48.0 kPa. Vrijeme koje je potrebno da se usiše potrebni volumen zraka od 10 ml kako bi se postigao tlak u spremniku od 48.0 kPa mjeri se u sekundama.

Uređaj u sebi sadrži jednu mjernu glavu za ispitivanje glatкости papira i sličnih materijala prema navedenim standardima. Sadrži integrirano računalo i zaslon na kojem se grafički prikazuju rezultati. Uređaj je automatiziran i može raditi sa volumenima zraka od 10 ml, 1 ml i 0,5 ml. Rezultati su dobiveni s točnošću od 0,01 sekundi, a mjerenje se izvodi na području veličine 10 cm<sup>2</sup> [11].

Ispitivanje glatкости se izvodi prema TAPPI standardu T 479, na 5 uzoraka (najmanjih dimenzija 50 x 50 mm) sa svake strane (donje – sitove i gornje – pustene).

Broj glatkosti prema BEKKu izražava se u sekundama. Što je taj broj veći, površina papira je glađa.

Za potrebe određivanja glatkosti papira, izrezano je deset uzoraka za svaku pojedinu vrstu papira koji se ispituje u dimenzijama 50 x 50 mm, te je izvršeno mjerenje na navedenom uređaju po 5 uzoraka za svaku stranu. Kao rezultat glatkosti uzorka uzima se srednja vrijednost mjerenja, posebno za a i b stranu.

### **3.2.5. Otpornost prema kidanju**

Prije izvođenja testa kidanja, uzorci se moraju klimatizirati na normalne uvjete ( $50\pm 2\%$  RVZ i  $23\pm 1$  °C) dok ne postignu ravnotežno stanje s tom klimom. Vrijeme potrebno za klimatizaciju za papire je minimalno 12 sati, a za kartone i ljepenke minimalno 24 sata, nekad i više [12].

Uzorci koji su rezani za ispitivanje otpornosti prema kidanju režu se iz araka u uzdužnom i poprečnom smjeru. Uzorci moraju biti široki 15 mm uz slobodnu dužinu od 180 mm iz razloga što se krajevi pričvršćuju za hvataljke. Pokus kidanja služi za određivanje otpornosti prema kidanju ili prekidne sile (kp; N) i prekidnog istezanja (%; mm). Vrijednosti se očitavaju na uređaju.

Test otpornosti prema kidanju provodi se na uređaju pod nazivom kidalica (Frank). Uzorak koji se ispituje pričvrsti se na dvije hvataljke koje se uključivanjem uređaja počnu udaljavati jedna od druge sve do trenutka kidanja ispitivanog uzorka. Prekidna sila, koju kidalica registrira, izražava se u kp (kilopondima) ili N. Prekidna sila na uzorak djeluje jednodimenzionalno [12].

Ispitivanje je izvedeno na pet uzoraka izrezanih iz araka u uzdužnom i poprečnom smjeru za svaku vrstu papira koji se u ovom radu ispituje. Kao rezultat ispitivanja izračunata je aritmetička sredina mjerenja za svaku vrstu papira i smjer.

### 3.2.6. Upojnost

Upojnost papira određena je metodom prema Cobb-u. Metoda prema Cobb-u upotrebljava se za određivanje površinske apsorpcije vode, izražene u gramima, koju apsorbira 1 m<sup>2</sup> papira s jedne od njegovih strana u određenom vremenu, pod pritiskom vodenog stupca od 10 mm na temperaturi od 20 ± 1 °C, pri čemu voda ne smije probiti na drugu stranu papira [7].

Za izmjeru upojnosti korišteno je 10 uzoraka od svake ispitivane vrste papira, na kojima se izvodi mjerenje po 5 uzoraka sa svake strane. Uzorci su dimenzija 125 x 125 mm. Prije ispitivanja klimatizirani su u standardnim uvjetima (50±2% RVZ i 23±1 °C). Prije ispitivanja upojnosti uzorci se izvažu na analitičkoj vagi. Nakon stavljanja uzorka u aparat i nalijevanja vode do visine od 10 mm, uključi se štoperica i štopa se 60 s. Nakon isteka vremena, voda se odlije a preostala voda na površini uzorka ukloni se sa bugačicom. Uzorak se ponovno izvaže.

Cobb vrijednost dobije se prema sljedećoj formuli:

$$C_{(t)} = \frac{m_2 - m_1}{p} \cdot 1000 \text{ [g/m}^2\text{]} \quad (8)$$

gdje je:

$C_t$  = Cobb vrijednost u [g/m<sup>2</sup>]

t = vrijeme djelovanja vode na površinu epruvete (60 s)

$m_2$  = masa uzorka poslije djelovanja vode [g]

$m_1$  = masa uzorka prije djelovanja vode [g]

p = površina uzorka izložena djelovanju vode (100 cm<sup>2</sup>) [7].

Rezultat upojnosti prikazan je kao srednja vrijednost količine vode (g/m<sup>2</sup>) koju je ispitivani uzorak upio za pojedinu vrstu papira i stranu na kojoj je vršeno ispitivanje.

### **3.2.7. Tiskovne forme**

U ovom istraživanju korištene su dvije CtP LAMS fotopolimerne tiskovne forme na bazi stiren-izopren-stiren kopolimera: teksturirana i neteksturirana. Teksturirana tiskovna forma izrađena je sa mikro-teksturom u čitavom području tonskih vrijednosti (0 – 100 %). Obzirom na otiskivanje na različite vrste papirnih tiskovnih podloga, na tiskovnim formama nisu primijenjene kompenzacijske krivulje. Budući da je svrha rada opisati utjecaje teksturirane i neteksturirane tiskovne forme na kvalitetu otiska prilikom korištenja različitih tiskovnih podloga, obje tiskovne forme izrađene su od identičnog materijala. Izmjerena ukupna slobodna površinska energija korištenog fotopolimernog materijala relativno je niska i iznosi oko 30 mN/m. Od toga, polarna komponenta iznosi oko 0,25 mN/m, a ostatak otpada na disperznu.

### **3.3. Otiskivanje i ispitivanje otisaka**

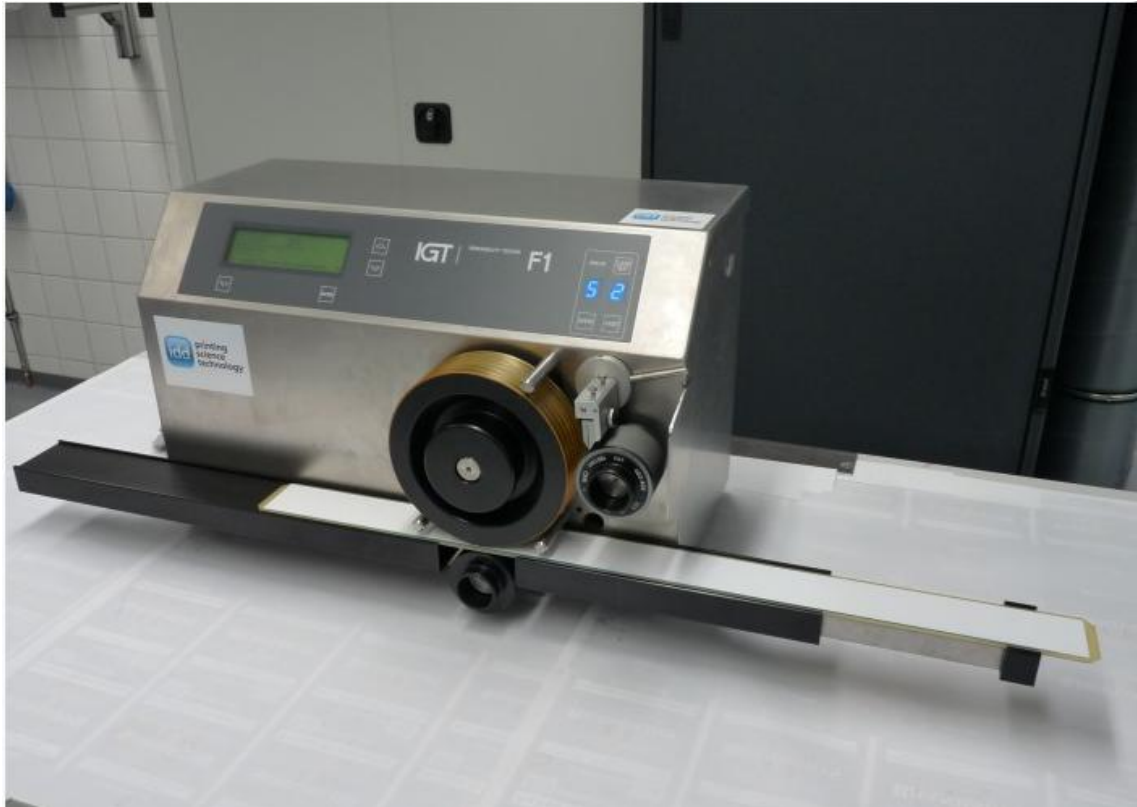
Nakon što je izvršeno ispitivanje određenih svojstava papira, slijedi postupak otiskivanja. Napravljena su po dva probna otiska sa teksturiranom i neteksturiranom tiskovnom formom za svaku vrstu papira koji se ispituje. Probni otisci napravljeni su na IGT F1 uređaju za otiskivanje probnih otisaka za fleksotisak (slika 30). Otisak je rađen na a strani papira. Pritisak između aniloks valjka i tiskovne forme je 300 N, pritisak između tiskovne forme i tiskovnog cilindra je 50 N, a brzina otiskivanja iznosi 0,3 m/s. Parametri tiska podešeni su prema 100 matt papiru, s ciljanom gustoćom zacrnljenja 1,5.

Na probnim otiscima provodi se ispitivanje gustoće zacrnljenja i tonske vrijednosti pomoću denzitometra x-rite exact.

Gustoća zacrnljenja se mjeri po pet puta na svakom otisku otisnutom sa teksturiranom i neteksturiranom tiskovnom formom za svaku vrstu papira na kojem je vršeno ispitivanje.

Za tonsku vrijednost mjeri se po pet puta na različitim područjima na tonskom vrijednostima od 5%, 40% i 80%. Izmjera je napravljena na dva otiska otisnuta sa teksturiranom i dva otiska otisnuta sa neteksturiranom tiskovnom formom.

Za gustoću zacrnjenja i tonsku vrijednost, rezultat mjerenja prikazan je kao srednja vrijednost mjerenja na pojedinom otisku za svaku vrstu papira, što je popraćeno pripadajućim dijagramima.



*Slika 30. IGT F1 uređaj za probno otiskivanje za fleksotisak*

*Izvor:* [https://www.idd.tu-darmstadt.de/re\\_search/equipm/printing\\_lab/index.en.jsp](https://www.idd.tu-darmstadt.de/re_search/equipm/printing_lab/index.en.jsp)

### **3.4. Metoda najmanjih kvadrata**

Metoda najmanjih kvadrata primijenjena je u matričnom obliku, koristeći kalkulator za izračune *Octave*. Eksperiment je postavljen tako da su za ulaze korištene odabrane značajke podloga koje imaju utjecaj na kvalitetu otiska (matrica A), a za izlaze

su korištene vrijednosti izmjerene na otiscima (gustoća zacrtnjenja – D, i tonska vrijednost na 5%, 40% i 80% - TV – matrica b). Sve ulazne i izlazne parametre potrebno je prvo normirati na vrijednosti 0 – 1.

Prilikom ovog modeliranja bilo je važno odabrati ulazne parametre tako da redovi i stupci ulazne matrice (matrica A) budu linearno nezavisni. U suprotnom, matrica postaje vrlo slična singluarnoj, što prilikom izračuna i transformacija (matrice B, c) utječe na točnost rezultata. Stoga su za izlaze odabrani parametri podloga Ra, sjajnost, disperzna SPE i polarna SPE. Rezultati dobiveni primjenom metode najmanjih kvadrata daju faktore težine (matrica X) utjecaja svakog od ulaznih parametara na gustoću zacrtnjenja i tonske vrijednosti na otisku te kvalitetu prilagodbe  $q$ . Budući da je modeliranje provedeno odvojeno za svaku tiskovnu formu, dobiva se uvid u model utjecaja parametara podloge na otisak prilikom otiskivanja tiskovnim formama za fleksotisak koje posjeduju različita svojstva površine. Što je  $q$  bliži 0, kvaliteta prilagodbe je bolja.

Primjer izračuna:

A =

	<b>Ra</b>	<b>sjajnost</b>	<b>SPE d</b>	<b>SPE p</b>
<b>Sinarvanda</b>	0.00072	0.00000	1.00000	0.00000
<b>115 gloss</b>	1.00000	0.07472	0.87040	1.00000
<b>100 matt</b>	0.86383	0.60271	0.07094	0.92358
<b>350 silk</b>	0.00000	1.00000	0.00000	0.51647

b =

(za gustoću zacrtnjenja na teksturiranoj tiskovnoj formi)

<b>Sinarvanda</b>	0.00000
<b>115 gloss</b>	0.76471
<b>100 matt</b>	0.52941
<b>350 silk</b>	1.00000

B =

1.74620	0.59536	0.93239	1.79782
0.59536	1.36885	0.10779	1.14785
0.93239	0.10779	1.76262	0.93592
1.79782	1.14785	0.93592	2.11975

c =

1.22203  
1.37622  
0.70315  
1.77013

X =

Ra	-2.2558255
sjajnost	-0.5817323
SPE d	0.0016196
SPE p	3.0625888

q = 3.8424e-15



## 4. REZULTATI I RASPRAVA

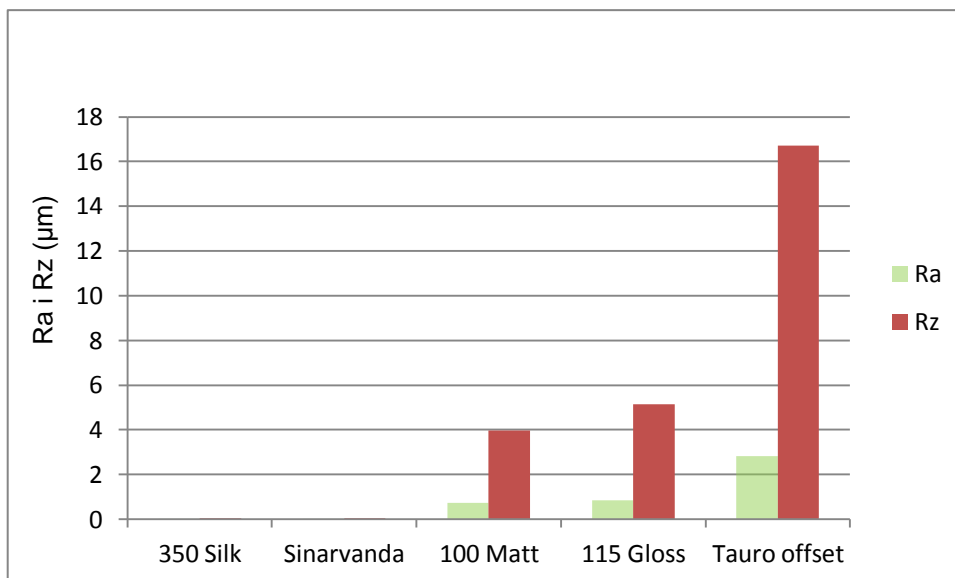
### 4.1. Rezultati mjerenja hrapavosti

Tablica 2 prikazuje tablicu rezultata za provedena mjerenja hrapavosti na ispitivanim papirima. U tablici, Ra označava ukupnu aritmetičku sredinu profila za navedeni papir, dok Rz označava ukupnu srednju vrijednost maksimalne visine profila između najvišeg brijega i najnižeg dola u cjelokupnoj izmjeri za navedenu vrstu papira. SD označava standardno odstupanje. Iz priložene tablice vidi se da je najhrapaviji papir Tauro offset koji ujedno dosta iskače od preostalih papira na kojima je vršeno ispitivanje. Papiri koji imaju najmanju hrapavost površine su Silk 350 g/m<sup>2</sup>, slijedi Sinarvanda 245 g/m<sup>2</sup>. Što se tiče razlike u hrapavosti između a i b strane ispitivanih uzoraka, nisu primjećene velike razlike, osim kod Tauro offseta gdje je b strana uzoraka približno na pola manje hrapava u odnosu na a stranu uzoraka.

Tablica 2. Rezultati mjerenja hrapavosti papira

	a strana				b strana			
	Ra	SD	Rz	SD	Ra	SD	Rz	SD
115 gloss	0,8393	0,165578	5,1482	1,437273	0,9103	0,199473	4,8651	1,122226
100 matt	0,7255	0,107208	3,9739	0,618688	0,6552	0,132749	3,9143	0,660493
tauro	2,8157	0,237739	16,702	1,447249	1,3499	1,415723	7,8021	8,203805
350 silk	0,0036	0,002836	0,0368	0,007729	0,0034	0,002547	0,036	0,007775
sinarvanda	0,0042	0,003225	0,0336	0,01401	0,0047	0,002908	0,0392	0,004541

Razlika u hrapavosti između ispitivanih vrsta papira može se primjetiti na Slici 31, na kojoj se nalazi stupčasti dijagram sa ispitivanim vrstama papira i njihovom hrapavosti. Budući da se otiskivanje radilo samo na a strani ispitivanih uzoraka, na prikazanom dijagramu za hrapavost nalazi se a strana hrapavosti uzoraka. X os na dijagramu sadrži ispitivane papire, dok se na y osi nalaze njihove vrijednosti za Ra i Rz. Ra prikazan je plavom, a Rz crvenom bojom. Papiri su poredani od onih namanje prema onima najveće hrapavosti.



Slika 31. Stupčasti dijagram za hrapavost ispitivanih uzoraka

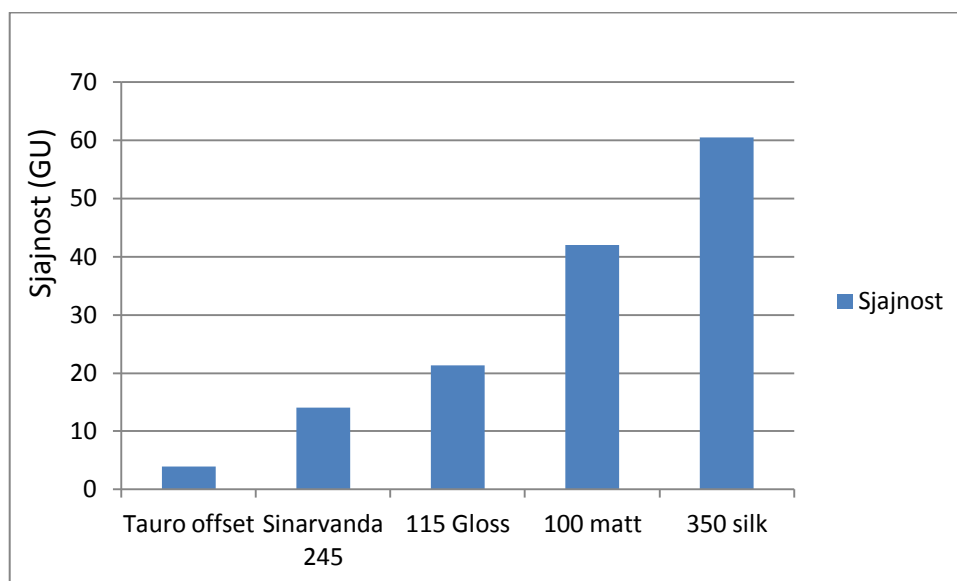
## 4.2. Rezultati merenjenja sjajnosti

Tablica 3 prikazuje rezultate za sjajnost papira na kojima je provedeno ispitivanje. Za Tauro offset, Matt i Silk vrstu papira uzet je kut za sjajnost od  $85^\circ$ , a za Sinarvandu i Gloss uzet je kut od  $60^\circ$ . Kutevi su uzeti prema standardu koji je određen ovisno o vrsti papira gdje se  $60^\circ$  uzima za srednje sjajne papire, a  $85^\circ$  za papire visokog sjaja. Iz rezultata je uočljivo da su najsjajniji papiri Silk  $350 \text{ g/m}^2$  i Matt  $100 \text{ g/m}^2$  dok su najmanje sjajni Tauro offset i Sinarvanda  $245 \text{ g/m}^2$ . Primljeljiva razlika u sjaju je kod Sinarvande između a i b strane, dok kod ostalih vrsta papira nisu toliko vidljive razlike između strana.

Tablica 3. Rezultati za sjajnost ispitivanih papira

sjajnost	A strana		B strana	
	GU	SD	GU	SD
Tauro	3,91	0,191195	5,38	0,18738
Sinarvanda	14,02	0,439191	2,78	0,439191
Gloss	17,49	1,662294	21,38	2,466577
Silk	60,46	2,468108	55,69	2,873809
Matt	42,01	2,895763	43,32	4,297234

Na stupčastom dijagramu koji prikazuje Slika 32 prikazane su vrijednosti za sjajnost za a stranu ispitivanih papira iz razloga što se otisak radio na a strani. Vrste papira su radi preglednosti poredane od papira najmanje sjajnosti prema papirima najveće sjajnosti.



Slika 32. Stupčasti dijagram za sjajnost ispitivanih papira

#### 4.3. Rezultati izračuna slobodne površinske energije

Kontaktne kutevi za slobodnu površinsku energiju papira koji su korišteni vide se u Tablici 4, dok Tablica 5 prikazuje izračunatu ukupnu, disperznu i polarnu slobodnu površinsku energiju za navedene vrste papira. Rezultati slobodne površinske energije podijeljeni su na tri dijagrama koji su izrađeni posebno za ukupnu (Slika 33), disperznu (Slika 34) i polarnu (Slika 35) slobodnu površinsku energiju.

Tablica 4. Kontaktne kut za slobodnu površinsku energiju ispitivanih papira

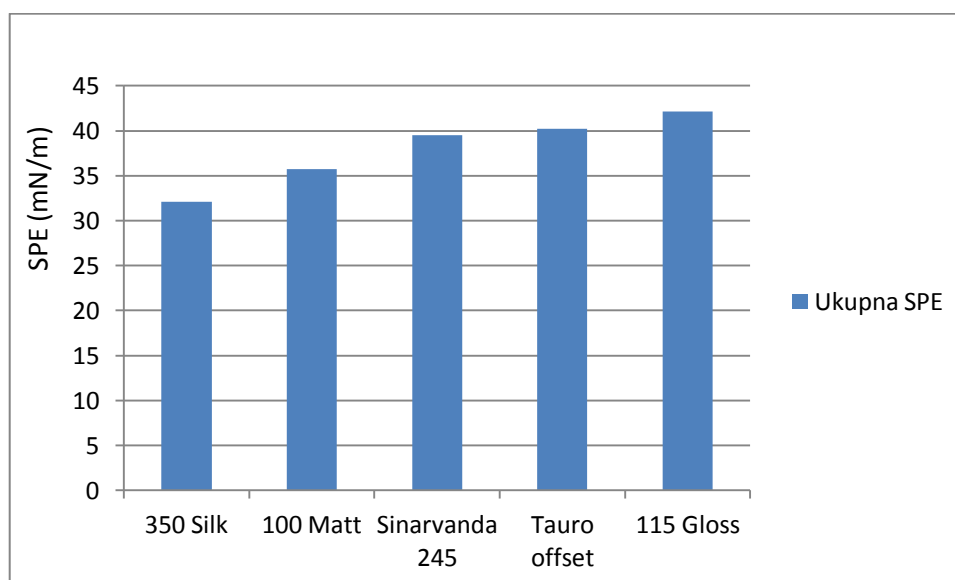
**Kontaktne kut**

	dijodometan	SD	glicerol	SD	voda	SD
<b>sinarvanda</b>	26,2	1,14	94,95	2,34	95,99	2,81
<b>115 gloss</b>	25,82	0,82	83,07	1,23	61,49	1,79
<b>100 matt</b>	37,35	3,9	93,54	3,64	65,21	3,11
<b>tauro</b>	35,2	7,18	104,47	2,64	115,03	1,16
<b>350 silk</b>	44,85	3,59	93,62	1,77	76,72	2,7

Tablica 5. Slobodna površinska energija ispitivanih vrsta papira

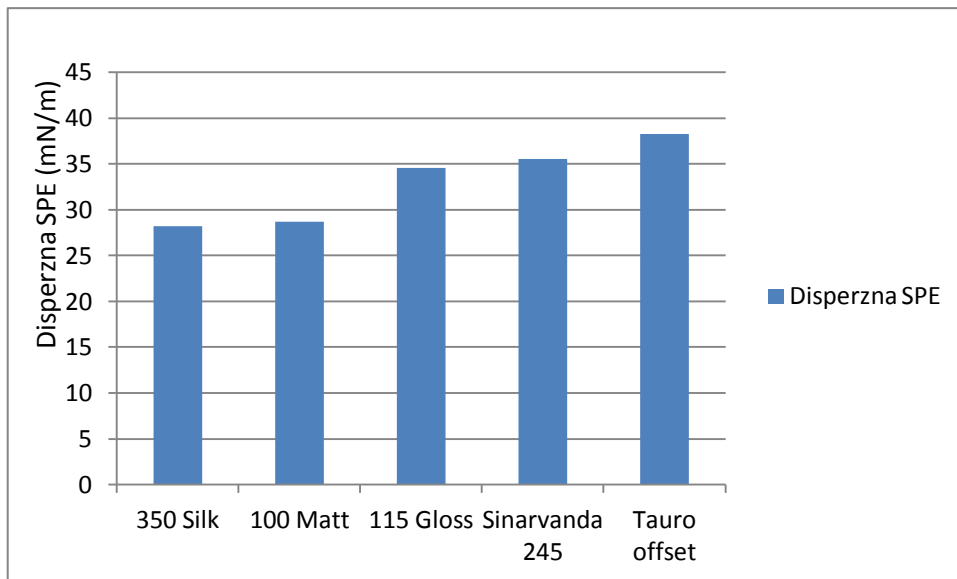
<b>SPE</b>	ukupna	disperzna	polarna
<b>sinarvanda</b>	39,51	35,5	0,01
<b>115 gloss</b>	42,15	34,55	7,6
<b>100 matt</b>	35,71	28,69	7,02
<b>tauro</b>	40,25	38,27	1,97
<b>350 silk</b>	32,1	28,17	3,93

Kao što je vidljivo na Slici 33, Gloss 115 g/m<sup>2</sup> ima najveću slobodnu površinsku energiju. Valja istaknuti kako Sinarvanda 245 g/m<sup>2</sup> papir ima vrlo malu vrijednost na polarnoj komponenti slobodne površinske energije u odnosu na ostale vrste papira.

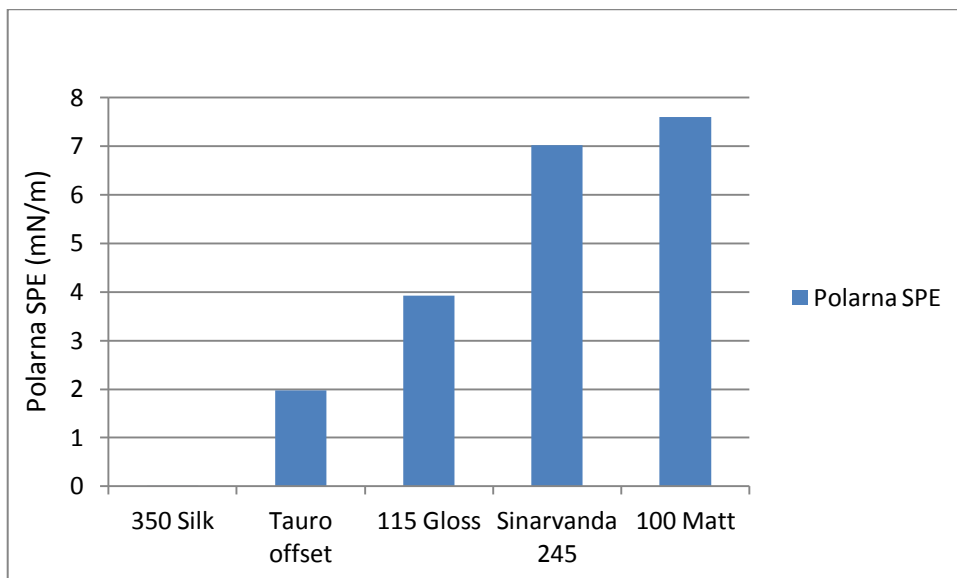


Slika 33. Ukupna slobodna površinska energija

Radi bolje preglednosti, vrste papira na priloženim dijagramima za slobodnu površinsku energiju, poredani su od onih sa najmanjom prema onima sa najvećom vrijednosti.



Slika 34. Dispersna komponenta SPE



Slika 35. Polarna komponenta SPE

#### 4.4. Rezultati mjerenja glatkosti

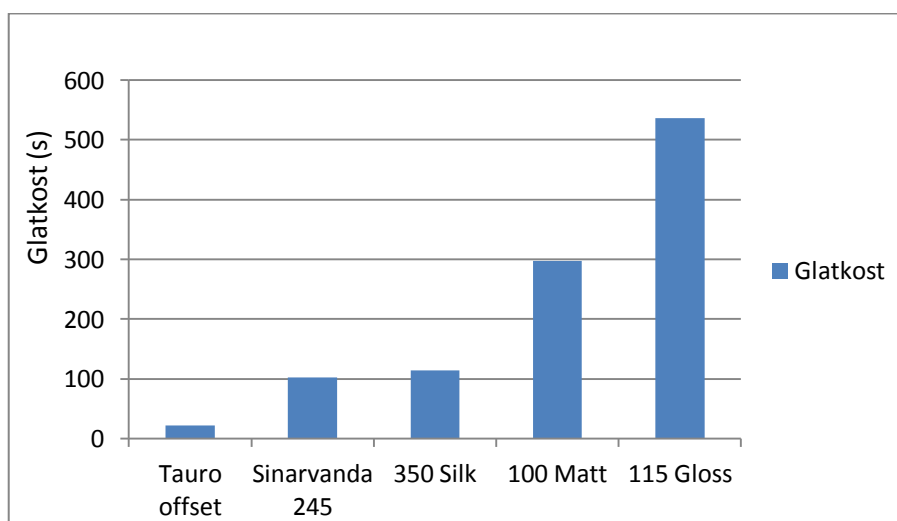
Glatkost ispitivanih papira prikazana je na Tablici 6. Može se uočiti da je Gloss 115 g/m<sup>2</sup> daleko najgladi papir od priloženih, isto tako najmanje gladak papir je Tauro offsetni. Može se primjetiti velika razlika kod glatkosti Sinarvande u odnosu na stranu

na kojoj je mjerena glatkost. B strana Sinarvande ima poprilično manju glatkost u odnosu na a stranu. Kod ostalih ispitivanih papira to nije slučaj. Razlog tome jest što je Sinarvanda jednostrano premazana podloga.

Tablica 6. Rezultati mjerenja glatkosti papira

Glatkost	A strana		B strana	
	s	SD	s	SD
matt 100	296,94	15,57	288,28	11,54
sinarvanda	102,26	8,17	24,96	5,32
350 silk	114,54	3,2	116,52	5,03
tauro	22,38	1,64	33,02	1,79
115 gloss	535,98	20,03	576,94	52,5

Stupčasti dijagram na Slici 36 pokazuje glatkost papira s obzirom na zadanu vrstu papira. Papiri su postavljeni prema rasporedu od najmanje prema najvećoj vrijednosti za glatkost. Glatkost papira koja je prikazana na ovom dijagramu je prikazana za a stranu papira. B strana nije navedena iz razloga jer na njoj nije proveden otisak i naknadno ispitivanje.



Slika 36. Glatkost ispitivanih vrsta papira

#### 4.5. Rezultati mjerenja otpornosti prema kidanju

Rezultati ispitivanja otpornosti prema kidanju određenih papira vidljivi su na Tablici 7. Vrijednost PS označava prekidnu silu u kp (kilopondima), SD označava standardnu devijaciju i PI označava prekidno istežanje (%). Kod svih ispitivanih vrsta papira primjećena je veća prekidna sila kidanja u paralelnom smjeru toka vlaknaca u papiru u odnosu na okomiti smjer. Prekidno istežanje je u većem postotku kod kidanja u okomitom smjeru u odnosu na paralelni. Najveću prekidnu silu ima Sinarvanda 245 g/m<sup>2</sup> neovisno o smjeru kidanja, a najmanju Tauro offset. Prekidno istežanje je u paralelnom i okomitom smjeru najmanje kod Tauro offseta, a najveće je kod Silk 350 g/m<sup>2</sup> u paralelnom smjeru, kod Gloss 115 g/m<sup>2</sup> u okomitom smjeru.

Tablica 7. Rezultati otpornosti prema kidanju ispitivanih vrsta papira

Kidanje	paralelno				okomito			
	PS	SD	PI	SD	PS	SD	PI	SD
tauro	4,62	0,192354	0,74	0,31305	2,1	0,122474	2,4	0,484768
matt 100	6,64	0,343511	0,86	0,391152	2,9	0,141421	3,58	0,349285
115 gloss	6,72	0,109545	0,98	0,148324	3,56	0,219089	4,38	0,825833
sinarvanda 245	15,34	1,242176	1,38	0,327109	10,32	2,476288	2,94	1,427585
350 silk	14,28	0,491935	1,7	0,458258	8,5	0,424264	4,12	1,005982

#### 4.6. Rezultati mjerenja upojnosti

Upojnost ispitivanih papira vidljiva je u tablici na Tablici 8. A i b označavaju strane papira, a SD standardnu devijaciju. Upojnost papira izražena je u g/m<sup>2</sup>. Gledajući rezultate ispitivanja upojnosti, papir koji najviše upija vodu neovisno o strani na kojoj se vršilo ispitivanje je Gloss 155 g/m<sup>2</sup>. Najmanju upojnost ima Sinarvanda 245 g/m<sup>2</sup>. Ako se pogleda za svaki papir zasebno, Silk, Sinarvanda i Gloss imaju veću upojnost na b strani, a Tauro offset i Matt papiri imaju veću upojnost na a strani.

Tablica 8. Rezultati upojnosti ispitivanih vrsta papira

Upojnost				
	a	SD	b	SD
100 matt	5,168	1,535057	4,4978	0,590886
350 silk	5,4946	0,615939	6,2868	2,848335
sinarvanda	3,9184	2,261342	4,2354	1,689902
tauro	4,7386	0,218069	4,3788	0,506761
115 gloss	7,3106	0,200192	7,7196	0,460639

#### 4.7. Rezultati mjerenja gustoće zacrnenja

Nakon procesa probnog otiskivanja uspostavljeno je da otisak napravljen na papiru Tauro offset nije dovoljno kvalitetan da bi se na njemu mogla provoditi daljnja mjerenja. Iz tog razloga Tauro offset se ne nalazi u daljnjim mjerenjima i rezultatima.

Gustoća zacrnenja koja je izmjerena na otiscima ispitivanih papira najveća je na otisku koji je napravljen sa teksturiranom tiskovnom formom kod Sinarvanda 245 g/m<sup>2</sup> papira, a najniži kod 100 g/m<sup>2</sup> Matt. Otisak napravljen neteksturiranom tiskovnom formom daje najveću gustoću zacrnenja kod kartona Silk 350 g/m<sup>2</sup>, ali samo kod prvog otiska. Na drugom otisku je ta gustoća zacrnenja najniža kod iste vrste papira (Tablica 9).

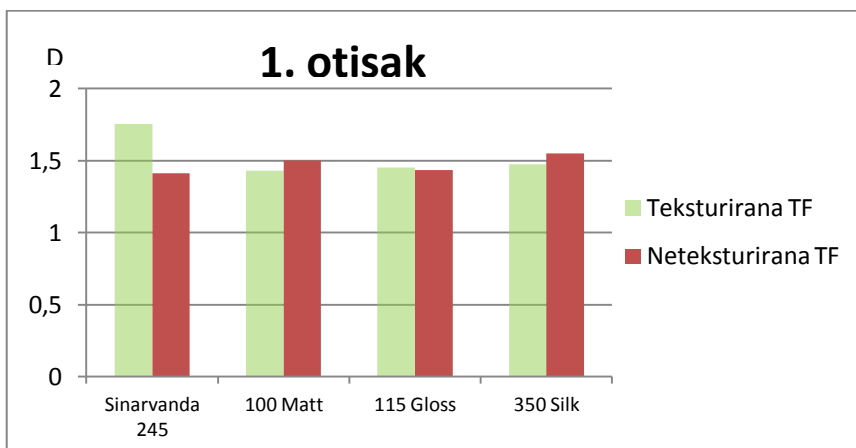
Tablica 9. Gustoća zacrnenja izmjerena na otiscima

	Teksturirana TF				Neteksturirana TF			
	1. otisak	SD	2. otisak	SD	1. otisak	SD	2. otisak	SD
100 matt	1,43	0	1,418	0,0491935	1,5	0,043589	1,412	0,03114482
115 gloss	1,452	0,037014	1,434	0,02701851	1,436	0,02881	1,416	0,01341641
350 silk	1,476	0,035777	1,45	0,05567764	1,548	0,140784	1,338	0,02863564
sinarvanda	1,756	0,0300665	1,74	0,042895221	1,412	0,0502	1,416	0,03286335

Radi boljeg opisa gustoće zacrnenja napravljenih otisaka, najbolje se osvrnuti na Sliku 37 i 38 koje prikazuju stupčasti dijagram na kojem se nalazi vrijednost gustoće zacrnenja za svaku pojedinu vrstu papira na kojem je vršeno ispitivanje otiska. Isto tako, na dijagramu je moguće vidjeti odnos u gustoći zacrnenja između otiska napravljenog s teksturiranom i onog koji je napravljen s neteksturiranom tiskovnom formom. Na Slici 37 je prikazan prvi otisak, a na Slici 38 drugi otisak. Kod prvog otiska

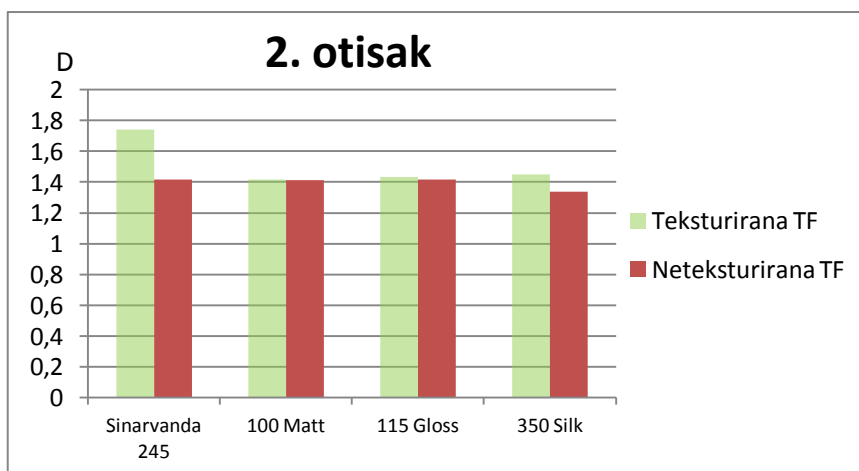


vidljiva je veća gustoća zacrnljenja kod papira Sinarvanda 245 g/m<sup>2</sup> na otiscima s teksturiranom tiskovnom formom. Kod drugih vrsta papira ne primjeti se tolika razlika u gustoći zacrnljenja u odnosu otisaka napravljenim sa teksturiranom i neteksturiranom tiskovnom formom.



Slika 37. *Gustoća zacrnljenja prvog otiska na zadanim vrstama papira*

Kod drugog otiska gustoća zacrnljenja u odnosu na prvi otisak pada kod papira Silk 350 g/m<sup>2</sup> gledajući neteksturiranu tiskovnu formu, dok na teksturiranoj ta gustoća zacrnljenja ostaje ista. Papir Gloss 115 g/m<sup>2</sup> i Sinarvanda 245 g/m<sup>2</sup> zadržali su približnu gustoću zacrnljenja za obje vrste tiskovnih formi na oba otiska. Matt 100 g/m<sup>2</sup> papir ima primjećenu slabiju gustoću zacrnljenja na drugom otisku u odnosu na prvi gledajući neteksturiranu tiskovnu formu, a vrijednost gustoće zacrnljenja kod teksturirane tiskovne forme ostaje gotovo nepromijenjena.

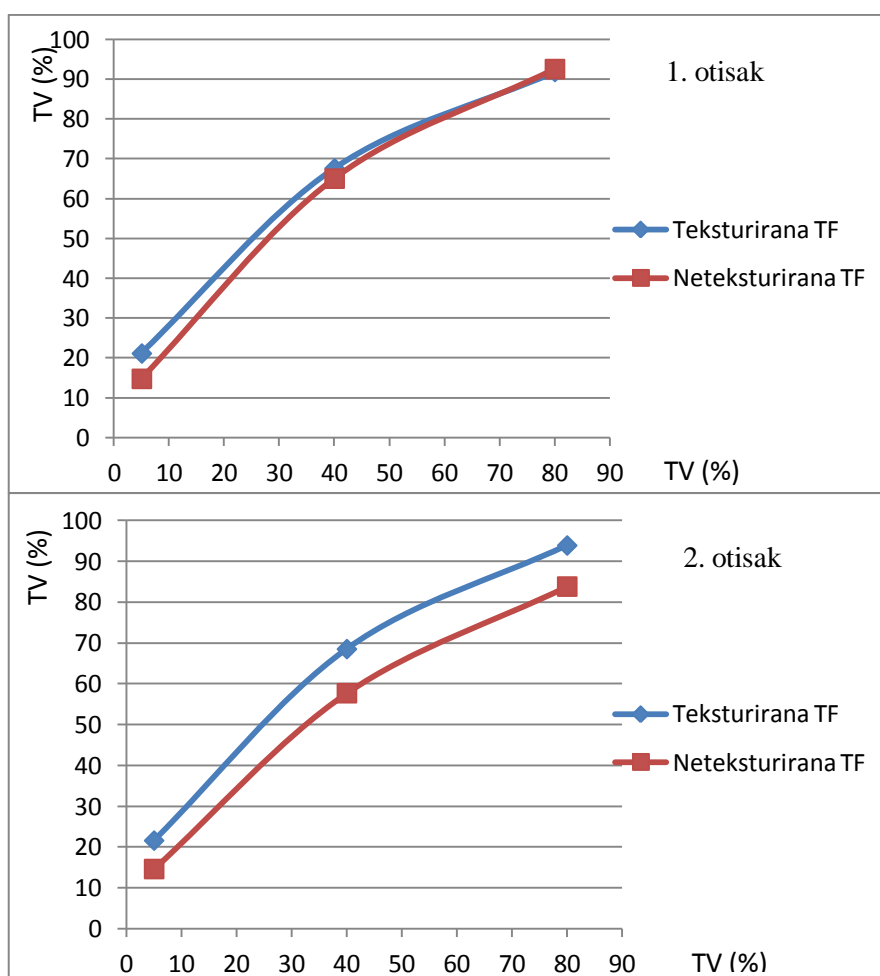


Slika 38. *Gustoća zacrnljenja drugog otiska na zadanim vrstama papira*

#### 4.8. Rezultati mjerenja tonskih vrijednosti

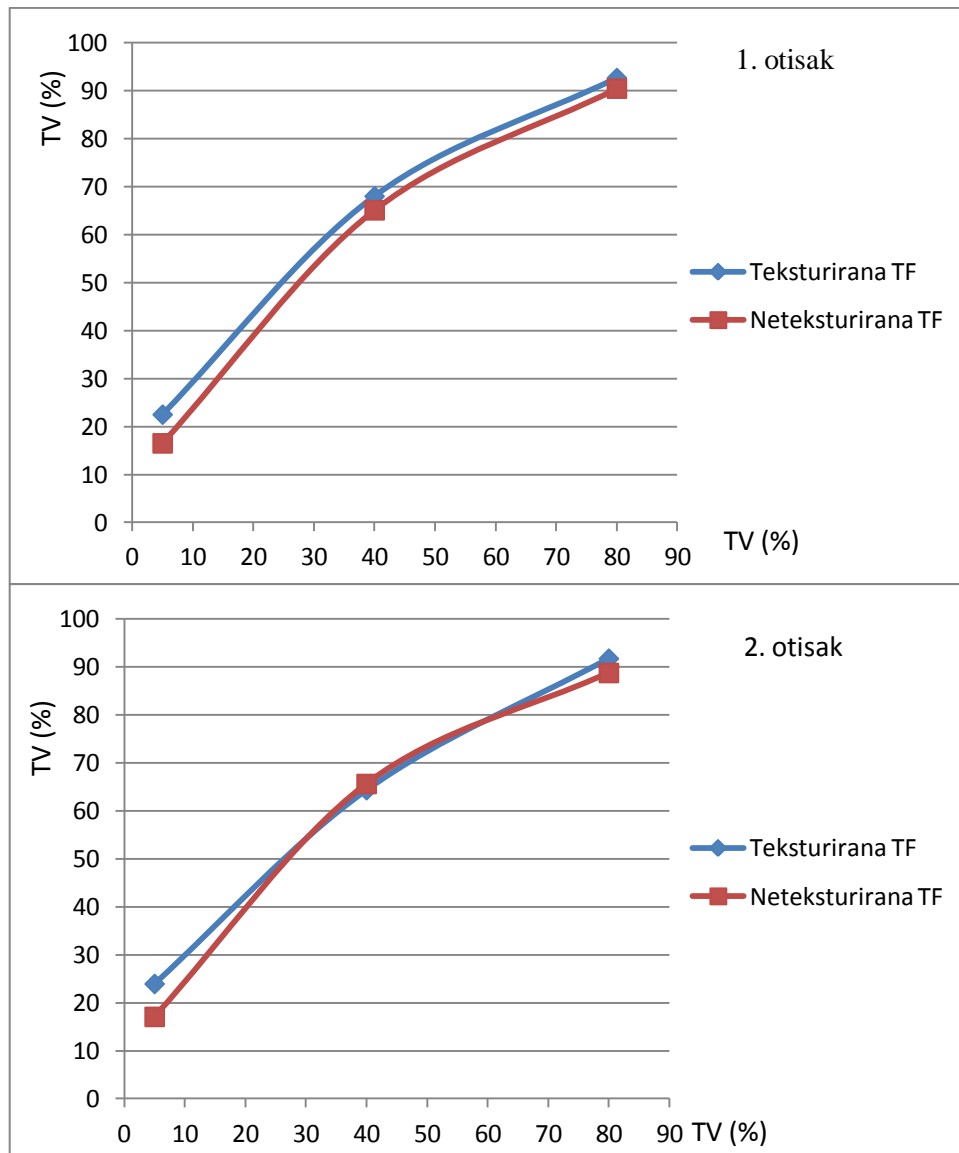
Na x osi dijagrama nalaze se zadane vrijednosti tonske vrijednosti, a na y osi se nalazi izmjereno stvarno stanje tonske vrijednosti na otisku. Iznad se nalazi dijagram za prvi otisak, a ispod za drugi otisak.

Slika 39 prikazuje dijagram tonske vrijednosti za papir Matt 100 g/m<sup>2</sup> na kojem je prikazan odnos tonske vrijednosti otisaka napravljenim s teksturiranom i neteksturiranom tiskovnom formom. Na dijagramima je vidljiv prirast tonskih vrijednosti za obje vrste korištenih tiskovnih formi u odnosu na zadane vrijednosti od 5, 40, i 80 %. Primjetno je da otisci koji su napravljeni s teksturiranom tiskovnom formom daju veći prirast tonske vrijednosti na otisku u odnosu na neteksturirane tiskovne forme. To se pogotovo vidi na drugom otisku, gdje je veća razlika. Ova pojava izražena je zbog poboljšano g prijenosa boje teksturiranom tiskovnom formom.



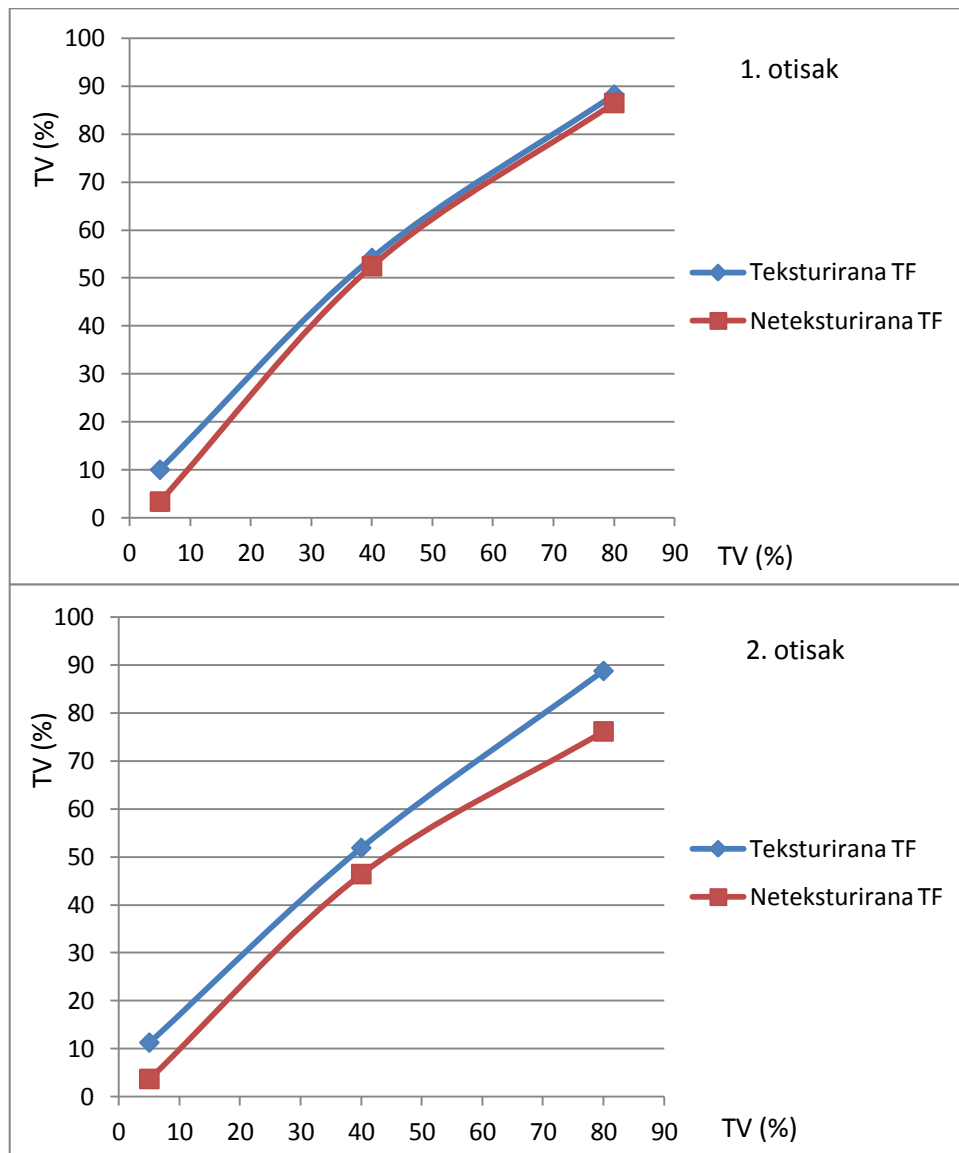
Slika 39. Dijagrami tonskih vrijednosti na otiscima na papiru Matt 100 g/m<sup>2</sup>

Na dijagramima koji se nalaze na Slici 40 vidljivo je kako je porast tonske vrijednosti na prvom otisku veći kod teksturirane tiskovne forme u odnosu na neteksturiranu. Kod drugog otiska je tonska vrijednost na 40% približno podjednaka što se tiče tiskovnih formi, a na ostalim vrijednostima teksturirana tiskovna forma daje veći prirast, pogotovo u područjima svjetlog i tamnog tona..



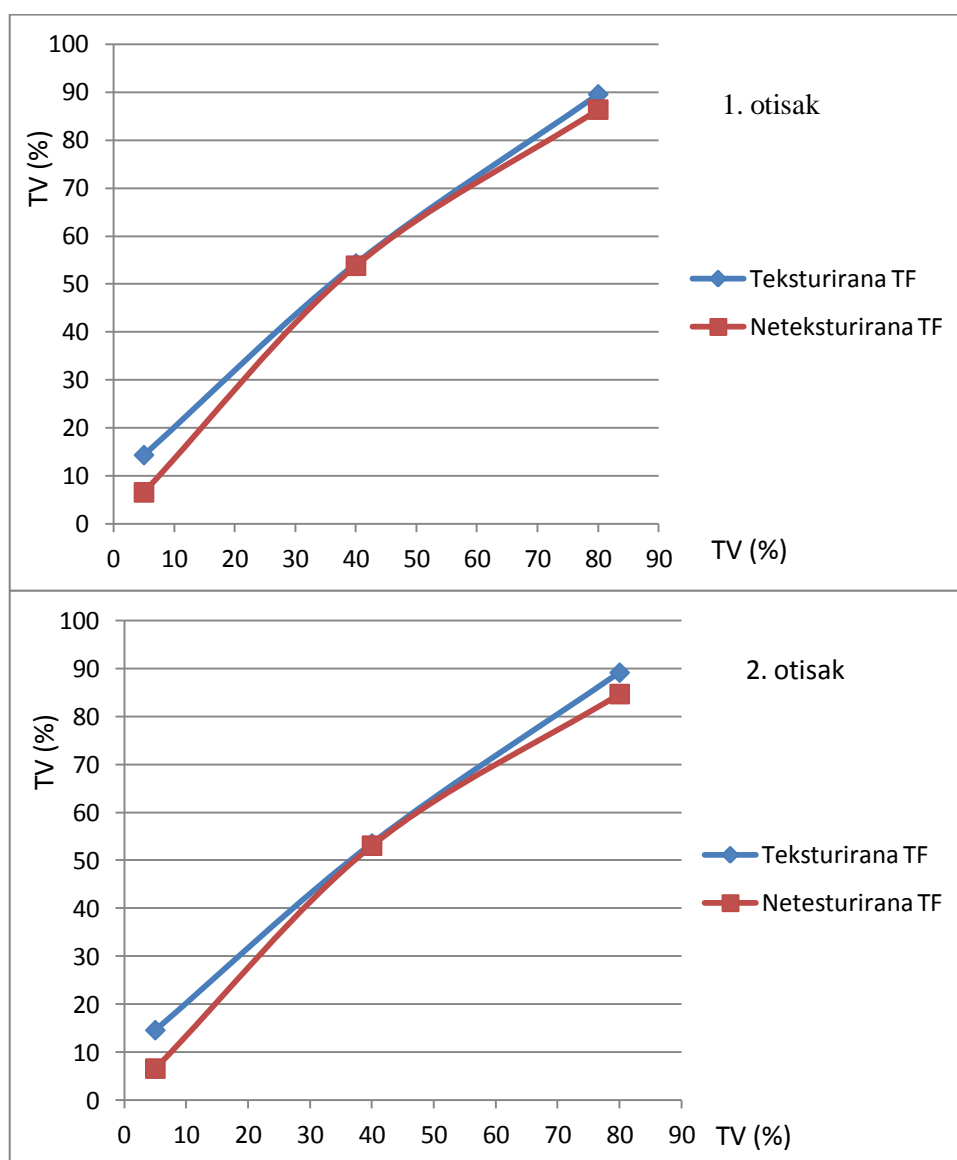
Slika 40. Dijagrami tonskih vrijednosti na otiscima na papiru Gloss 115 g/m<sup>2</sup>

Na Slici 41 nalaze se dijagrami tonske vrijednosti za prvi i drugi otisak na papiru Silk 350 g/m<sup>2</sup>. Na navedenom dijagramu vidljiva je smanjena tonska vrijednost kod otiska neteksturiranom tiskovnom formom. To se najviše primjeti kod 5 % RTV-a gdje raster tonska vrijednost pada ispod navedenih 5 % , te na drugom otisku gdje pada ispod zadanih 80 % TV. Na prvom otisku vidljiva je gotovo jednaka vrijednost TV za 40 i 80 %, ali kod drugog otiska, TV kod neteksturirane tiskovne forme dosta opada, pogotovo na 80 % TV.



Slika 41. Dijagrami tonskih vrijednosti na otiscima na papiru Silk 350 g/m<sup>2</sup>

Slika 42 prikazuje dijagrame tonskih vrijednosti za prvi i drugi otisak na papiru Sinarvanda 245 g/m<sup>2</sup>. Između prvog i drugog otiska nema nekih većih razlika što se tiče promjena TV za otiske teksturiranom i neteksturiranom tiskovnom formom. Na 40 % tonske vrijednosti, dobivene izmjerene vrijednosti su podjednake između otiska sa teksturiranom i neteksturiranom tiskovnom formom. Vidljiv je veći prirast raster tonske vrijednosti otiska koji je otisnut teksturiranom tiskovnom formom na vrijednostima 5 i 80 %. Također se primjećuje da je TV kod otiska neteksturiranom tiskovnom formom na zadanih 5 %, izmjeren približno 5 %.



Slika 42. Dijagrami tonskih vrijednosti na otiscima na papiru Sinarvanda 245 g/m<sup>2</sup>

## 4.9. Rezultati metode najmanjih kvadrata

Nakon prikazanih rezultata svih mjerenja tiskovnih podloga, primjena metode najmanjih kvadrata u matričnom obliku omogućuje interpretaciju dobivenih izmjerenih vrijednosti u kontekstu kvalitete otisaka dobivenih različitim tiskovnim formama (teksturiranom i neteksturiranom). Tako je moguće predvidjeti trend gustoće zacrnljenja i tonskih vrijednosti kada se koriste tiskovne podloge različitih površinskih svojstava prilikom otiskivanja tiskovnim formama za fleksotisak.

Tablice 10 – 12 prikazuju ulazne i izlazne parametre korištene u modeliranju najmanjih kvadrata (LS modeliranju).

Tablica 10. Ulazni parametri podloga za LS modeliranje

					NORMIRANI PARAMETRI				
ulazi	Ra	sjajnost	SPE d	SPE p	ulazi	Ra	sjajnost	SPE d	SPE p
sinarvanda	0,0042	14,02	35,5	0,01	sinarvanda	0,00071796	0,649849	1	0
115 gloss	0,8393	17,49	34,55	7,6	115 gloss	1	1	0,8703956	1
100 matt	0,7255	7,58	28,69	7,02	100 matt	0,86382673	0	0,0709413	0,923584
350 silk	0,0036	7,67	28,17	3,93	350 silk	0	0,009082	0	0,516469

Tablica 11. Izlazni parametri otisaka za teksturiranu tiskovnu formu

					NORMIRANI PARAMETRI				
izlazi - teks. TF	D	TV 5%	TV 40%	TV 80%	izlazi - teksturirana TF	D	TV 5%	TV 40%	TV 80%
sinarvanda	1,74	14,58	53,5	89,1	sinarvanda	1	0,26183	0,0996399	0,073643
115 gloss	1,434	23,94	64,34	91,74	115 gloss	0,04968944	1	0,7503001	0,585271
100 matt	1,418	21,58	68,5	93,88	100 matt	0	0,81388	1	1
350 silk	1,45	11,26	51,84	88,72	350 silk	0,09937888	0	0	0

Tablica 12. Izlazni parametri otisaka za neteksturiranu tiskovnu formu

					NORMIRANI PARAMETRI				
izlazi - neteks. TF	D	TV 5%	TV 40%	TV 80%	izlazi - neteksturirana TF	D	TV 5%	TV 40%	TV 80%
sinarvanda	1,416	6,58	53,04	84,64	sinarvanda	1	0,216418	0,3461538	0,674051
115 gloss	1,416	17,08	65,62	88,76	115 gloss	1	1	1	1
100 matt	1,412	14,62	57,7	83,82	100 matt	0,94871795	0,816418	0,5883576	0,609177
350 silk	1,338	3,68	46,38	76,12	350 silk	0	0	0	0

Nakon što je provedeno modeliranje, dobiveni su rezultati težinskih faktora utjecaja parametara tiskovnih podloga na svojstva otisaka dobivenih različitim tiskovnim formama za fleksotisak (Slika 43).

Faktori težine									
	teksturirana TF					neteksturirana TF			
	D	TV 5%	TV 40%	TV 80%		D	TV 5%	TV 40%	TV 80%
<b>Ra</b>	-0,3950	0,8990	1,0780	1,0590	<b>Ra</b>	0,8860	0,9100	0,6590	0,6150
<b>sjajnost</b>	-1,4840	-0,3030	-0,9920	-1,2880	<b>sjajnost</b>	-1,8120	-0,2360	0,0950	-0,4830
<b>SPE d</b>	1,9650	0,4580	0,7440	0,9090	<b>SPE d</b>	2,1770	0,3690	0,2840	0,9870
<b>SPE p</b>	0,2190	0,0050	0,0170	0,0230	<b>SPE p</b>	0,0320	0,0040	-0,0020	0,0080
<b>q</b>	1,53E-15	5,08E-16	9,40E-16	1,12E-15		1,57E-15	5,18E-16	3,45E-16	1,19E-15

Slika 43. Težinski faktori utjecaja parametara podloge na svojstva otisaka

Vidljivo je da prema modelu neki parametri imaju zanemariv utjecaj na svojstva otiska, specifično polarna faza slobodne površinske energije podloga, što je i logično obzirom na njene niske vrijednosti i na podlogama i na tiskovnim formama u odnosu na disperznu fazu. Dobiveni rezultati ukazuju na dominantan utjecaj hrapavosti tiskovne podloge, sjajnosti i disperzne faze slobodne površinske energije podloge na gustoću zacrnjenja i tonske vrijednosti na otisku.

Na gustoću zacrnjenja na otisku dobivenom neteksturiranom tiskovnom formom hrapavost podloge utječe pozitivno, dok je taj utjecaj prilikom korištenja teksturirane tiskovne forme negativan. Moguće je zaključiti da je prijenos tiskarske boje (time i gustoća zacrnjenja na otisku) poboljšana kada u prijenosu boje sudjeluju hrapava i glatka površina (hrapava tiskovna forma i glatka podloga ili obratno). U suprotnom slučaju, u sustavu glatko-glatko ili hrapavao-hrapavo će prijenos boje biti slabiji.

Utjecaj hrapavosti podloge s pozitivnim predznakom prisutan je za obje tiskovne forme kad se radi o tonskim vrijednostima. Veća hrapavost podloge dat će generalno, bez obzira na tiskovnu formu, za rezultat veći prirast tonske vrijednosti zbog deformacije rasterske točke na otisku zbog neravnine tiskovne podloge.

Utjecaji parametara podloga na tonske vrijednosti prema LS modelu su gotovo uniformni za sve izlazne vrijednosti. Sitna anomalija prisutna je samo za 40% tonske vrijednosti na otisku dobivenom neteksturiranom tiskovnom formom. Sjajnost, koju je moguće vezati uz tip premaza podloge, ima negativan utjecaj na gustoću zacrnjenja i prirast tonskih vrijednosti. Moguće je zaključiti da povećana sjajnost podloge uslijed korištenja specifičnih premaza smanjuje sposobnost močenja podloge bojom i njenu penetraciju u podlogu, pa se time smanjuju i gustoća zacrnjenja i prirast tonskih vrijednosti u odnosu na premaze koji nemaju, između ostalih svojstava, i visoku sjajnost.

Disperzna faza slobodne površinske energije pokazuje pozitivni utjecaj. Korištena UV fleksotiskarska boja većinom je sastavljena od nepolarnih komponenti (polimeri, oligomeri, voskovi itd.), pa je prilikom kontakta sa papirnom podlogom sa izraženijom disperznom fazom slobodne površinske energije moćenje poboljšano, a time i prijenos boje. To će se očitovati i povećanjem tonskih vrijednosti na otisku, a i povećanom gustoćom zacrnjenja.

Provedeno LS modeliranje omogućilo je povezivanje svojstava tiskovne podloge i otiska preko varijabilnog među-medija u tisku – tiskovne forme. Rezultati dobiveni LS metodom pružili su matematičku težinu interpretacijama utjecaja tiskovnih podloga i formi na otisak u fleksotisku, posebno u slučaju evaluacije i povezivanja više parametara.



## 5. ZAKLJUČAK

Svrha ovog završnog rada bila je odrediti kvantifikaciju utjecajnih parametara u fleksotiskarskom sustavu pomoću metode najmanjih kvadrata kako bi se definirala pogodnost određene vrste tiskovne forme u tisku na različite materijale te omogućila optimizacija prilikom odabira materijalnih parametara fleksotiskarskog sustava.

Odrađeno je ispitivanje hrapavosti, sjajnosti, slobodne površinske energije, glatkosti, otpornost na kidanje i upojnost na papirima Matt 100 g/m<sup>2</sup>, Sinarvanda 245 g/m<sup>2</sup>, Silk 350 g/m<sup>2</sup>, Tauro offset i Gloss 115 g/m<sup>2</sup>. Napravljeni su probni otisci na navedenim papirima s teksturiranom i neteksturiranom tiskovnom formom te je na probnim otiscima provedeno ispitivanje gustoće zacrnljenja i tonske vrijednosti u određenim postotcima (5, 40 i 80 %). Od parametara Ra, sjajnosti, disperzne i polarne komponente slobodne površinske energije u odnosu na kvalitetu otisaka na određenim vrstama papira, konstruiran je model pomoću metode najmanjih kvadrata za teksturiranu i neteksturiranu tiskovnu formu.

Iz dobivenih rezultata mogu se navesti sljedeći zaključci:

- prijenos tiskarske boje (time i gustoća zacrnljenja na otisku) poboljšan je kada u prijenosu boje sudjeluju hrapava i glatka površina (hrapava tiskovna forma i glatka površina ili obrnuto);
- polarna komponenta slobodne površinske energije podloge ima zanemariv utjecaj na svojstva otisaka. Ovo je logično, obzirom na vrlo niske vrijednosti polarne komponente i na tiskovnim podlogama, i na tiskovnim formama korištenima u istraživanju;
- kod obje vrste tiskovne forme, veća hrapavost tiskovne podloge uzrokovat će veći prirast tonskih vrijednosti;
- sjajnost podloge imaju negativan utjecaj na gustoću zacrnljenja i na prirast tonske vrijednosti na otisku, što je moguće objasniti površinskim svojstvima sjajnih premaza i smanjenom penetracijom boje u tiskovnu podlogu;

- disperzna faza slobodne površinske energije ima pozitivan utjecaj na gustoću zacrnjenja i povećanje tonских vrijednosti prilikom korištenja obiju vrsta tiskovnih formi i odabranu UV fleksotiskarsku boju.

Provedeno istraživanje pokazalo je da na kvalitetu otisaka dobivenih UV fleksotiskarskom bojom (gustoća zacrnjenja i tonska vrijednost) uvelike utječu hrapavost, sjajnost i disperzna komponenta slobodne površinske energije podloge. U skladu s kvalitativnim zahtjevima otiska stoga je moguće odabrati kombinaciju teksturirane/neteksturirane tiskovne forme i podloge kako bi se optimizirao prijenos tiskarske boje u fleksotiskarskom sustavu.

## 5. LITERATURA

1. Brajnović O., (2011). Prilagodba izrade fotopolimerne tiskovne forme novim kvalitativnim zahtjevima, magistarski rad, Grafički fakultet
2. Bolanča S., (2013). Tisak ambalaže, HRVATSKA SVEUČILIŠNA NAKLADA, Zagreb
3. [http://moodle.srce.hr/20152016/pluginfile.php/702862/mod\\_resource/content/1/Predavanje10ok.pdf](http://moodle.srce.hr/20152016/pluginfile.php/702862/mod_resource/content/1/Predavanje10ok.pdf), datum pristupa: (28. 05. 2018.)
4. [https://www.flintgrp.com/media/1263/nyloflex\\_next\\_en.pdf](https://www.flintgrp.com/media/1263/nyloflex_next_en.pdf), datum pristupa: (30. 05. 2018.)
5. [http://www.flexoplatedigital.com/download/doc/Kodak\\_v1.pdf](http://www.flexoplatedigital.com/download/doc/Kodak_v1.pdf), datum pristupa: (30. 05. 2018.)
6. Tomašegović T., (2016). Funkcionalni model procesa izrade fotopolimerne tiskovne forme, doktorski rad, Grafički fakultet
7. Golubović A., (1993.) Svojstva i ispitivanje papira, HRVATSKA TISKARA, Zagreb
8. [https://en.wikipedia.org/wiki/Least\\_squares](https://en.wikipedia.org/wiki/Least_squares), datum pristupa: (22. 08. 2018.)
9. <http://lavica.fesb.unist.hr/mat2/ls/ls.pdf>, datum pristupa: (22. 08. 2018.)
10. [https://www.byk.com/fileadmin/byk/support/instruments/theory/appearance/en/Intro\\_Gloss.pdf](https://www.byk.com/fileadmin/byk/support/instruments/theory/appearance/en/Intro_Gloss.pdf), datum pristupa: (30. 08. 2018.)
11. <http://materijali.grf.unizg.hr/media/vjezbe%20Papir/PAPIR%203.vjezba.pdf>, datum pristupa: (30. 08. 2018.)
12. <http://materijali.grf.unizg.hr/media/vjezbe%20Papir/PAPIR%204.%20vjezba.pdf>, datum pristupa: (31. 08. 2018.)

