

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAFIČKI FAKULTET**

ZAVRŠNI RAD

Dolores Javorić



Sveučilište u Zagrebu
Grafički fakultet

Smjer: Dizajn grafičkih proizvoda

ZAVRŠNI RAD

MOGUĆNOSTI REPRODUKCIJE LINIJA I TEKSTA U PROPUSNOM TISKU

Mentor:
izv. prof. dr. sc. Sanja Mahović Poljaček

Student:
Dolores Javorić

Zagreb, 2019

SAŽETAK:

Tiskovna forma za propusni tisak građena je od okvira i mrežice određene linijature napete na okvir. Linijatura i svojstva mrežice, svojstva fotoosjetljivog sloja i način otiskivanja određuju količinu prenesene tiskarske boje na podlogu te ujedno utječu i na kvalitetu otisnute reprodukcije. U ovom radu promatrane su mogućnosti reprodukcije linija i teksta u ovisnosti o linijaturi mrežice. Korištene su tiskovne forme linijature 120, 140 i 165 l/cm, a otisnute su linije različitih debljina i tekst različitih tipografskih veličina na dvije vrste tiskovnih podloga. Mjerenja reproduciranog motiva su provedena mikroskopski, slikovnom analizom i 3D analizom otisaka. Rezultati mjerenja su pokazali da na kvalitetu otisnute linije i promatranog teksta, osim linijature, utječe i izgled motiva koji je reproduciran (odnosno je li motiv u pozitivu ili negativu).

KLJUČNE RIJEČI: propusni tisak, linijatura mrežice, reprodukcija teksta i linija

Sadržaj:

1. UVOD	1
2. TEORIJSKI DIO	2
2.1. Povijesni razvoj propusnog tiska.....	2
2.2. Propusni tisak	3
2.3. Tiskovne forme za propusni tisak.....	3
2.3.1. Mrežice u sitotisku	4
2.3.1.1. Kalandriranje mrežice	5
2.3.2. Okviri u sitotisku.....	7
2.3.2.1. Napinjanje mrežice na okvir	8
2.3.3 Načini izrade tiskovnih formi.....	8
2.3.3.1. Direktni postupak izrade tiskovne forme	9
2.3.3.2. Indirektni postupak izrade tiskovne forme.....	11
2.4. Tiskarske boje za propusni tisak.....	11
2.5. Načini otiskivanja.....	12
2.6. Parametri koji utječu na kvalitetu otiska	13
2.6.1. Linijatura	13
2.6.2. Tip tkanja.....	14
2.6.4. Volumen tiskarske boje	16
3. EKSPERIMENTALNI DIO	17
3.1. Priprema motiva za reprodukciju	17
3.2 Priprema sita i izrada tiskovne forme.....	17
3.3 Proces otiskivanja.....	18
3.4. Uređaji.....	19
4. REZULTATI I RASPRAVA	21
4.1. Vizualna procjena tiskovnih elemenata	21
4.2. 3D mikroskopija tiskovnih elemenata.....	29
5. ZAKLJUČCI.....	31
6. LITERATURA	32

1. UVOD

U ovom radu opisan je postupak izrade tiskovne forme za propusni tisak (sitotisak) od procesa izrade motiva za reprodukciju, izrade tiskovne forme do procesa otiskivanja. Navedeni su materijali koji se najčešće koriste za izradu sitotiskarske mrežice, materijali za izradu okvira tiskovne forme, fotoosjetljivi slojevi, postupci izrade tiskovne forme te tiskarske boje koje se mogu koristiti za otiskivanje.

U eksperimentalnom dijelu rada prikazan je utjecaj linijature mrežice na reprodukciju detalja u propusnom tisku, tj. kako linijaturom mrežice možemo postići kvalitetnije ili manje kvalitetne otiske.

Cilj ovog rada je bio analizirati mogućnosti reprodukcije detalja (tankih linija, teksta malih tipografskih veličina) u tehnici propusnog tiska koristeći mrežice različitih linijatura. Na dobivenim otiscima je analizirana definicija rubova linija, širina linija te izgled i deformacija otisnutog teksta metodama 2D i 3D mikroskopije i slikovne analize. Očekivano je da rezultati eksperimenta omoguće definiranje veze između granične optimalne linijature mrežice tiskovne forme za sitotisak i kvalitete otiska prilikom reprodukcije tankih linija i teksta malih pismovnih veličina.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. Povijesni razvoj propusnog tiska

Prvi put sitotisak se pojavio za vrijeme dinastije Song u Kini, a nakon toga sve ostale zemlje Azije su ga počele prihvaćati. Nije bio u velikoj upotrebi u Europi sve dok svilena mrežica nije bila dostupnija s istoka.

Sitotisak uvelike proizlazi iz razvoja tekstilnog tiska. Proces tiskanja tekstila mnogo je stariji od grafičkog sitotiska. 1907. godine patent za tiskanje tekstila dobio je Englez Samuel Simon. Sami sitotisak dobio je važnost u Europi nakon 1945. Iako je već stekao važnost mnogo ranije u Engleskoj. „Selectasine“ sitotisak patentiran je u Engleskoj 1918. , a 1920. godine američki patent za razvoj sitotiska „fosfor-bronca“ podnio je Sydney James Waters u Londonu. Posebni Američki izumi doprinijeli su poboljšanju tehnologije sitotiska. 1924. Amerikanac Joseph J. Adaijan registrirao je patent za tiskarski stroj za tekstil, a James Flockheart prvi automatski stroj za sitotisak 1925. godine. Američki sitotiskar Louis d'autremont razvio je prvi rezani film za proizvodnju šablona za sitotisak dok je njegov sunarodnjak Joseph Ulano izumio novu vrstu sitotiska. Samo 22 godine nakon što su američki sitotiskari formirali profesionalnu udruhu „Silk screen Unit“ 1940 godine, u Europi se osnovala „Federacija Europskih sitotiskara“. Znanstvenici Roy Beck, Charles Petar i Edward Owens otkrivaju emulziju za formiranje foto-osjetljive šablone. Današnji sitotisak koristi ne toksične fotoosjetljive materijale. Grafička industrija tek nakon 60-tih godina zamjećuje prednosti sitotiska te ga primjenjuje za potrebe tiska velikog formata te nanašanja ekstremno velikih nanosa bojila. Sitotisak pogoduje tisku na platnu pa su ga tako Andy Warhol, Arthur Okamura, Robert Rauschenberg, Roy Lichtenstein, Harry Gottlieb i mnogi drugi umjetnici koristili kao izraz kreativnosti i umjetničke vizije. [1]



Slika 1. Tisak na majice kroz povijest

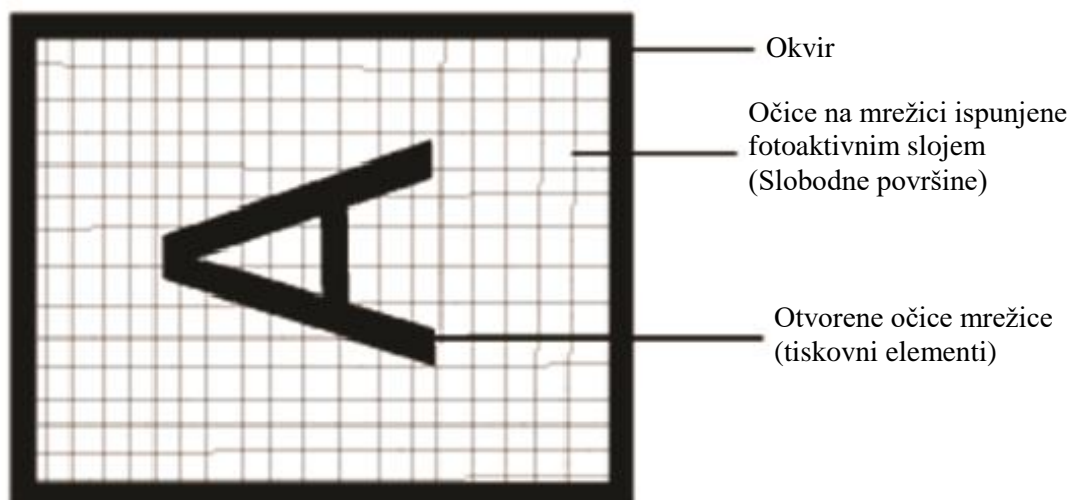
([***https://tisaknamajice.wordpress.com/2014/07/17/tisak-na-majice-kroz-povijest/](https://tisaknamajice.wordpress.com/2014/07/17/tisak-na-majice-kroz-povijest/))

2.2. Propusni tisak

Propusni tisak je u razvoju već dugi niz godina. Najsvestranija je tiskarska tehnika, koja se uspješno koristi i u drugim industrijskim granama (tekstilna industrija, elektronička industrija, auto industrija itd.). Tiskanje na platnu kao proces može se pohvaliti tradicijom koja je možda starija i raznolikija od bilo koje druge reprodukcijske tehnike. Najraniji zapis o propusnom tisku bio je u Japanu. Radilo se o šablonskom tisku koji se nakon toga proširio i na ostale Azijske zemlje. U Europi se javlja u osamnaestom stoljeću. Koristio se za otiskivanje tapeta, svile i lana. Sitotisak je „tehnika tiskanja šablona” u kojoj se boja nanosi kroz tiskovnu formu za otiskivanje. Sastoji se od mrežice na kojoj se nalazi emulzijski (fotoosjetljivi) sloj i okvira. Ovom tehnikom motiv možemo tiskati na više različitih materijala ali i podloga zbog elastične tiskovne forme. Sitotiskarska šablona (matrica) blokira zadana područja na mrežici kako bi spriječila prolaz boje (slobodne površine), dok se drugi dijelovi mrežice ostavljaju otvorenima kako bi tiskarska boja nesmetano prolazila (tiskovni elementi). Boju za tisak rakelom protiskujemo kroz mrežicu koja je zategnuta na okvir i tako dobivamo željeni otisak na podlozi.

2.3. Tiskovne forme za propusni tisak

Osnovni dijelovi tiskovne forme za propusni tisak su okvir i mrežica napeta na okvir (Slika 2).



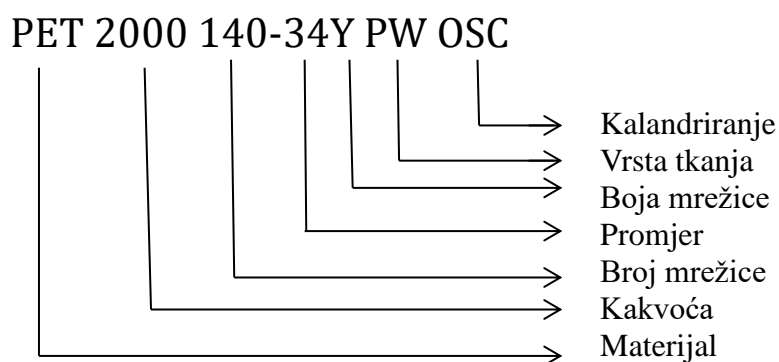
Slika 2. Osnovni elementi tiskovne forme za propusni tisak

2.3.1. Mrežice u sitotisku

Mrežica je osnova tiskovne forme za sitotisak. Njezina uloga jest da nosi motiv za reprodukciju. Sitotiskarska mrežica definirana je različitim stupnjevima gustoće odnosno brojem niti po centimetru. Može biti od metala te prirodnih ili sintetičkih vlakna. Materijal za izradu metalnih mrežica mora biti fine obrade, tankih niti, određene čvrstoće te dimenzionalno stabilan i otporan na koroziju pa je to najčešće antikorozivni čelik. Takve mrežice se koriste kod krutih i tvrdih podloga gdje je potrebna čvrstoća mrežice. Kod ovakvih mrežica otisci se brže suše zbog dobre provodljivosti topline. Vrlo je izdržljiva i stabilna ali zato i skupa. Malo oštećenje te mrežice čini ju neiskoristivom. Sintetička vlakna danas su najviše u uporabi. Najčešće su to poliamidne (najlon) mrežice i poliesterske mrežice. [2] Dobivaju se miješanjem kemikalija etilen glikola sa tereftalatnom kiselinom. Polietilen tereftalat je osnova gotovo svih sintetičkih vlakana među kojima je i najpoznatiji poliester. One podnose visoku temperaturu, vodu i kemikalije. Pri vanjskom pritisku njihova fizikalna svojstva ostaju ista. Te mrežice povećavaju pouzdanost procesa i omogućavaju veću napetost prilikom većeg broja otisaka i puno duže traju. Ističu se po mnogim svojstvima kao što su otpornost na svjetlost, abraziju i istezanje te na razne kiseline. Ako su u doticaju s lužinom mogu se oštetiti.

Poteškoće u procesu tiska i prekomjerni nanos i potrošnja boje mogu se izbjeći pravilnim odabirom materijala mrežice. Mrežica mora biti sposobna za jaku napetost, a niti i propusnost boje bi trebale biti ujednačeni.

Opisi tipa mrežice:



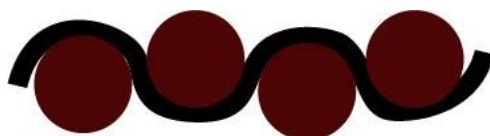
2.3.1.1. Kalandriranje mrežice

Često se kod mrežica provodi obrada postupkom kalandriranja. To je proces koji omogućava smanjenje debljine nanosa tiskarske boje na podlogu. Tim postupkom također smanjujemo ljepljivost mrežice za podlogu.

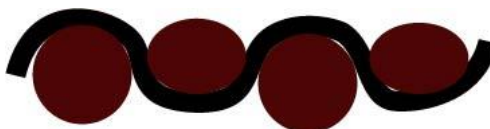
Dvije su tehnike:

- kalandriranje gornje strane mrežice pa se tako smanjuje propusnost od 10 do 15% - kada mrežicu napinjemo sa sjajnom površinom okrenutom prema protiskivaču.

- kalandriranje podložne strane mrežice pa se tako smanjuje propusnost od 15 do 25% - kada je sjajna površina napeta tako da je okrenuta prema podlozi. [3]



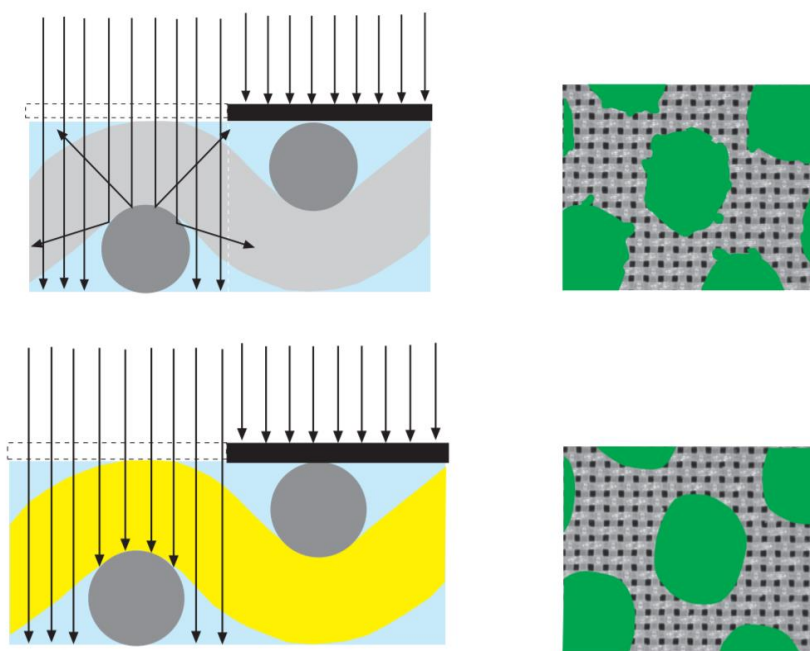
Slika 3. Normalna mrežica



Slika 4. Kalandrirana mrežica s rakelske strane

2.3.1.2. Boja mrežice

Boja mrežice također može utjecati na reprodukciju motiva. Postoje bijele i žute mrežice te kroz obje na različiti način probijaju svjetlosne zrake u procesu osvjetljavanja tiskovne forme. Kod bijelih mrežice zrake se reflektiraju ispod zacrnjenih područja kopirnog predloška pa tako u ovom slučaju motivi nisu potpuno oštri. Zato se bijela mrežica najčešće ne koristi kod višetonskih otisaka jer bi došlo do krivih rezultata zbog smanjenih otvorenih površina. Žutom mrežicom sprječava se rasipanje svjetlosti. Ona je komplementarna sa UV zračenjem jer apsorbira elektromagnetsko zračenje u rasponu od 350-420 nanometara. Tako da kada UV zračenje padne na žutu mrežicu, samo se žuta svjetlost i reflektira pa ne dolazi do potkopiravanja. Koristimo ih kod reprodukcije teksta te finih tonских prijelaza i linija.



Slika 5. Utjecaj svjetlosti na bijelu i žutu mrežicu

(Udruga H, Sitotiskara. PRIRUČNIK ZA SITOTISKARE. Zagreb; 1999.)

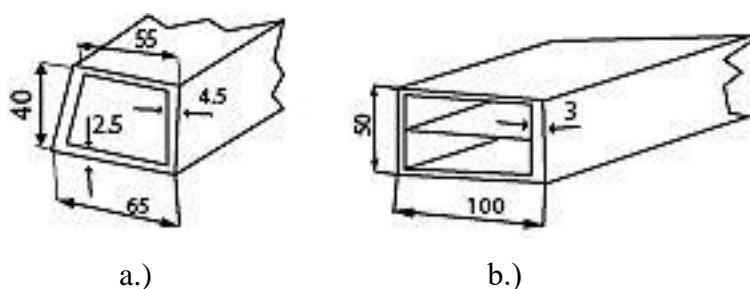
2.3.2. Okviri u sitotisku

Okviri moraju biti što otporniji na mehaničku deformaciju prilikom izrade tiskovne forme i tijskom procesa otiskivanja te vrlo otporni na kemikalije, otapala i boje kojima se otiskuje. Trebaju biti izrađeni točno prema specifikaciji, jer može doći do pogreške u registru. Danas su najčešće građeni od metala tj. aluminijski ili drveni. Drveni su namijenjeni za male i jednostavne formate. Nedostatak je da se deformiraju prilikom promjene temperatura ili pojave vlage. Oni su puno jeftiniji i više primjereni za kućnu uporabu. Imaju puno manji vijek trajanja za razliku od metalnih. Aluminijski okviri su puno stabilniji. Imaju jako malu težinu, dobru otpornost na koroziju, jeftini su i lako se čiste. Mrežica se na metalni okvir napinje pneumatskim zatezaljkama, a lijepi se odgovarajućim ljepilom. Od metala tu je još i čelik no on se vrlo rijetko koristi zbog njegove krutosti i gustoće materijala koja ga čini teškim. Bez obzira na karakteristike ovih okvira bitno je da svaki okvir podnese određenu količinu sile sa minimalnim odstupanjem deformacije.

Na dimenzionalnu stabilnost cijele tiskovne forme utječu i profili te debljina svakog okvira. Kod standardnih okvira sve debljine stijenki su iste dok kod specijalnih imamo pojačane okomite stjenke, kosi unutrašnji rub, unutrašnje podupiranje, konkavni rub, oblik slova L i trakasti profil.[4]

Najčešći profili koji se koriste su :

- 1) Profil s kosim unutrašnjim rubom
- 2) Profil s unutrašnjim podupiračem



Slika 6. Najčešći profili okvira a) Profil s kosim unutrašnjim rubom
b) Profil s unutrašnjim podupiračem

2.3.2.1. Napinjanje mrežice na okvir

Za kvalitetne otiske potrebno je i dovoljno dobro učvrstiti mrežicu na okvir. Tri su načina: ručno, mehaničko i pneumatsko napinjanje.

Ručno napinjanje najjeftiniji je i tradicionalan način. Osim rukama može se napesti i pomoću kliješta. Postupak je takav da tkanine fiksiramo klamanjem. Da bi rezultat bio što bolji mrežice možemo i zalijepiti za okvir. Nedostatak ovog načina je što se tkanina može poderati te napetost nije toliko dobra.

Mehaničko napinjanje radi se pomoću uređaja koji mogu napinjati više sita odjednom. Sile djeluju u dva smjera. Što se tiče mehaničkog napinjanja postoje: samonapinjajući sitotiskarski okviri, strojevi za napinjanje s pomičnom osovinom, strojevi za napinjanje šipkama, strojevi za napinjanje s fiksnim jednostrukim stezačima te poluautomatske strojevi za mehaničko napinjanje. [2] Strojevi za pneumatsko napinjanje sastoje se od mnogih stezača za pojedinačno napinjanje, koji su međusobno povezani i djeluju usklađeno. Stezače pokreće komprimirani zrak, a broj upotrijebljenih stezača ovisi o veličini sitotiskarskog okvira.

2.3.3 Načini izrade tiskovnih formi

Za izradu tiskovne forme za propusni tisak mogu se koristiti dva načina, a to su fotomehanički i digitalni CTP postupak (eng. *Computer to Plate*). [5] U privredi se danas, još uvijek većinom koristi fotomehanički postupak izrade tiskovne forme.

Od svih klasičnih tiskarskih tehnika sitotiskom se može dobiti najdeblji sloj otisnute boje i to oko 60 μm , što omogućuje dug vijek postojanosti boje na podlozi. Koliko će boje proći kroz otvore mrežice i doći na podlogu ovisi o finoći mrežice i o viskozitetu boje.

„Teorijski gledano, na mjestima gdje su niti mrežice, poslije otiska trebale bi ostati tanke bijele linije, no to se ne događa jer tiskarska boja popuni praznine. Rubovi otisnute reprodukcije su neravni (nazubljeni) što ovisi o linijaturi mrežice.“ [3]

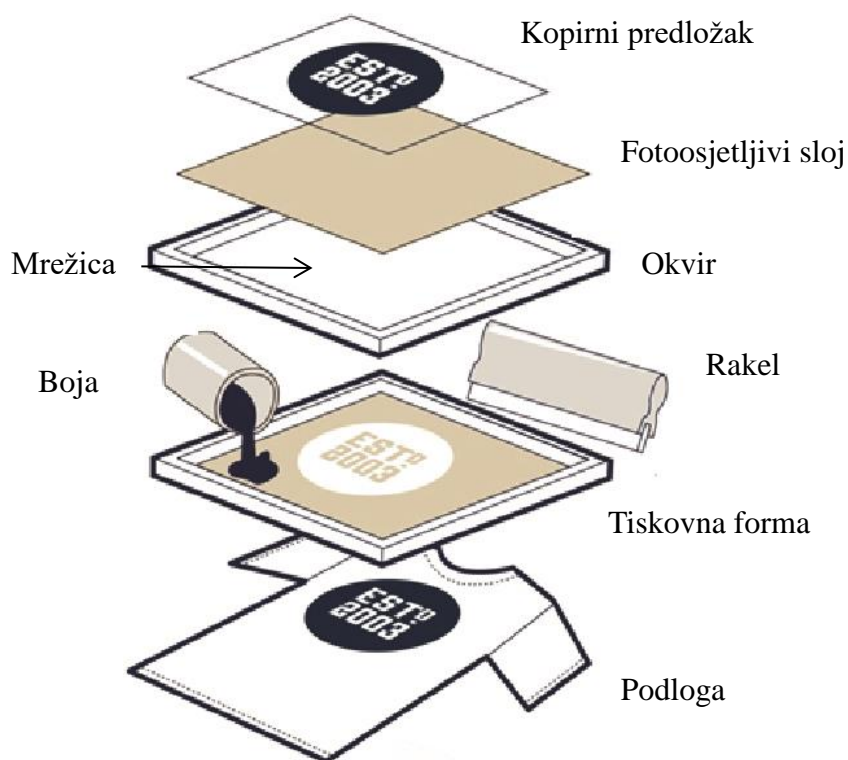
Fotomehanički radni tijek izrade tiskovne forme omogućava izradu tiskovne forme direktnim i indirektnim postupkom.

2.3.3.1. Direktni postupak izrade tiskovne forme

Direktni postupak izrade tiskovne forme za sitotisk danas je najčešći postupak koji se koristi u industriji.

Faze izrade tiskovne forme (Slika 7): [3]

- 1) Priprema fotoosjetljivog sloja (emulzija);
- 2) Odmašćivanje (radi se odgovarajućim sredstvom za odmašćivanje);
- 3) Ispiranje mrežice;
- 4) Sušenje mrežice;
- 5) Oslojavanje pomoću lađice s jedne i druge strane- jednoliko nanašanje fotoosjetljive emulzije postupkom mokro na mokro;
- 6) Sušenje- na temperaturi do maksimalno 40 stupnjeva;
- 7) Kopirni predložak stavlja se na kopirnu ramu;
- 8) Osvjetljavanje kroz predložak;
- 9) Razvijanje vodom ili razvijачem – uklanjanje topivih dijelova fotoosjetljive emulzije;
- 10) Sušenje.



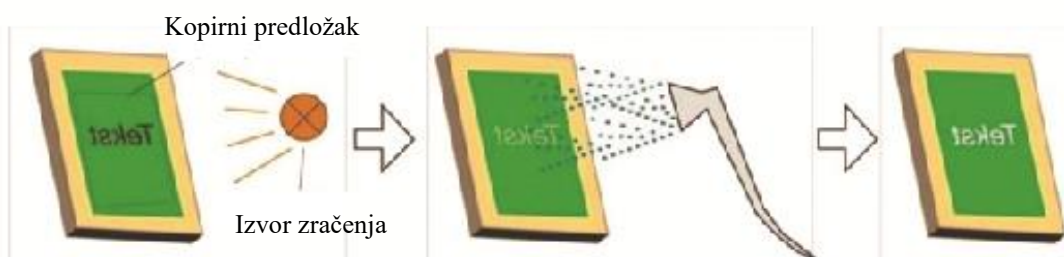
Slika 7. Direktni postupak izrade (bez kapilarnog filma)

([***http://www.proscreen.com.au/page/Services](http://www.proscreen.com.au/page/Services))

Moguće je izraditi tiskovnu formu direktnim postupkom, uz korištenje tzv. kapilarnog filma (Slika 8).

Kod direktne izrade tiskovne forme s filmom i emulzijom rakelska strana mrežice je prekrivena emulzijom, a podložna filmom. Mogu izdržati od 20 000 do 50 000 otisaka tako da im je mehanička otpornost vrlo dobra. Faze izrade tiskovne forme su slijedeće:

- 1) Priprema mrežice;
- 2) Ispiranje mrežice vodom;
- 3) Prijenos kapilarnog filma na mrežicu mat stranom okrenutom prema mrežici (strana emulzije) standardnom metodom (nasloniti arak kapilarnog filma na mrežicu) ili metodom rolanja (zarolani kapilarni film odrolati po površini mrežice);
- 4) Sušenje mrežice;
- 5) Uklanjanje noseće folije;
- 6) Osvjetljavanje kroz predložak (u kopirnoj rami za osvjetljavanje tiskovne forme za sitotisak);
- 7) Razvijanje;
- 8) Sušenje.



Slika 8. Direktni postupak izrade (sa kapilarnim filmom)

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

2.3.3.2. Indirektni postupak izrade tiskovne forme

Kod indirektnog postupka koristi se posebno prijenosni medij na plastičnoj foliji koji je oslojen fotoosjetljivim slojem. Njega stavljamo na kopirnu ramu i pomoću predloška osvjetljavamo. Ove tiskovne forme male su debljine ali nemaju utjecaj na volumen otisnute boje. Prednost ovog postupka jest da nije bitna boja mrežice jer ne utječe na otisak. Forme izrađene ovim postupkom mogu otisnuti tek 2000 do 5000 otisaka i to samo na ravne podloge.

Faze izrade su slijedeće:

- 1) Odmašćivanje mrežice;
- 2) Ispiranje;
- 3) Sušenje;
- 4) Osvjetljavanje kroz predložak;
- 5) Razvijanje vodom gdje uklanjamo topive dijelove;
- 6) Mehanički prijenos fotoosjetljivog sloja i folije na mrežicu;
- 7) Sušenje;
- 8) Uklanjanje prijenosne folije.

2.4. Tiskarske boje za propusni tisak

Tiskarska boja za propusni tisak mora imati prihvatljivu pokrivenost podloge te viskoznost da bi zadovoljili oštrinu rubova otiska, brzinu tiska te debljinu nanosa. Sitotisak se može primijeniti na različite materijale koji imaju i različitu upojnost. Tiskarske boje za propusni tisak možemo podijeliti u dvije grupe: jednokomponentne te specijalne dvokomponentne.

Jednokomponentne tiskarske boje suše penetracijom tj. upijanjem u podlogu, oksipolimerizacijom i hlapljenjem. Zbog toga se koriste za tiskovne podloge koje posjeduju veću površinsku moć apsorpiranja. U takve se boje dodaje razrjeđivač zbog reguliranja viskoznosti jer je ta boja vrlo gusta. Najčešće su na bazi vode tako da se njome mogu i prati. Njihova prednost je ekološka prihvatljivost i cijena. [6]

Dvokomponente brzосуšeće tiskarske boje koriste se za neupojne površine. Takvim bojilima se dodaje katalizator, kojim započinje proces sušenja. Ubrzavaju proizvodnju zbog iznimno brzog sušenja. U njima se nalazi polivinil klorid tako da su vrlo štetni za okoliš.

2.5. Načini otiskivanja

Načini na koje možemo tiskati u propusnom tisku su

- a) Ručni ravni sitotisasak;
- b) Industrijski sitotisasak – ravna klasična tiskovna forma;
- c) Industrijski sitotisasak – rotirajuća tiskovna forma.

Ručni proces otiskivanja najsporiji je te u njemu manualno ulažemo i izlažemo tiskovnu podlogu i rakelom protiskujemo boju kroz mrežicu. Od ručnih strojeva za sitotisasak najpoznatiji su ručni „flat bed“ za debele podloge i ručni „flat bed“ za tanke podloge. Najčešće se koriste za male naklade i dizajnerske radove. Za svaku boju izrađuje se tiskovna forma. Koristi se za tiskanje i na savitljivom i na krutom materijalu kao što su papir, karton ili plastične folije.

Kod industrijskog sitotiska proces tiska je automatiziran, koristi se u različitim industrijama i prednost je izrada većeg broja otisaka.

Rotirajući princip koristi tiskovnu formu-valjak koji rotira za vrijeme tiska. Unutar valjka nalazi se rotirajući okrugli rakel. Proces tiska je kontinuiran, omogućava veći broj otisaka i često se koristi u tekstilnoj industriji i industriji namještaja.



Slika 9. Ručni ravni sitotisasak

([***https://www.njuskalo.hr/strojevi-alati-ostalo/sitotiskarski-karusel-oglas-16851388](https://www.njuskalo.hr/strojevi-alati-ostalo/sitotiskarski-karusel-oglas-16851388))

Slika 10. Ravna klasična tiskovna forma

([***http://gogss.hr/wp-content/uploads/2018/02/grafi%C4%8Dka-tehnologija_drugi_razred_II.pdf](http://gogss.hr/wp-content/uploads/2018/02/grafi%C4%8Dka-tehnologija_drugi_razred_II.pdf))

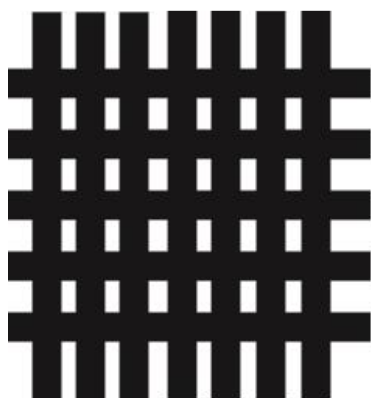
2.6. Parametri koji utječu na kvalitetu otiska

Parametri koji utječu na kvalitetu otiska su oni koji definiraju mrežicu u sitotisku.

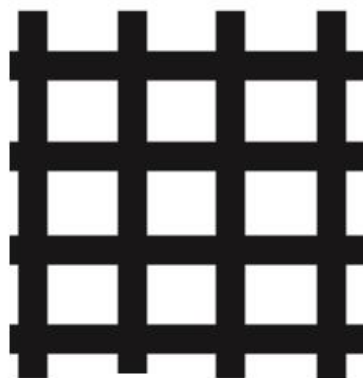
1. Linijatura;
2. Promjer niti (μm);
3. Način tkanja;
4. Otvori očice (μm);
5. Debljina mrežice (μm);
6. Otvorenost površine mrežice (%);
7. Volumen boje.

2.6.1. Linijatura

Na tržištu su dostupne mrežice za izradu tiskovnih formi s rasponom od 10 do 200 l/cm. Sitotiskarska mrežica je definirana sa različitim stupnjevima gustoće tj. brojem niti po dužinskom centimetru. Tako nam broj 140/35 govori da tkanina ima 140 niti po cm, pri čemu je nominalni promjer niti od 35 μm . Odabir broja niti mrežice presuđuje u kvaliteti otiska. Što je veća linijatura možemo otisnute sitne elemente te je mrežica finija. Manja linijatura se koristi kod većih motiva jer je propusnost boje puno veća u odnosu na veliku linijaturu. Manju linijaturu koristimo najčešće kod tiskanja boja na bazi metalnih pigmenata („glitteri“), tisak teksta i jednostavnih vektora jer je nanos boje deblji. Srednju linijaturu možemo koristiti kod nekih višebojnih otisaka a vrlo veliku za lijepo tonske prijelaze.



a)



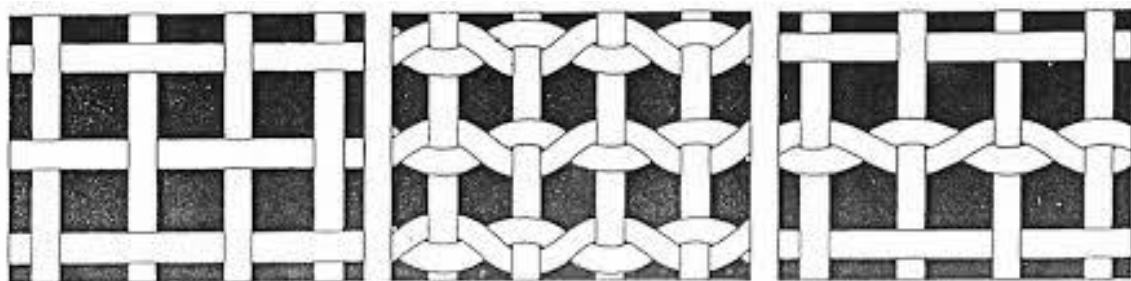
b)

Slika 11. a) veća linijatura b) manja linijatura

2.6.2. Tip tkanja

Vrsta tkanja vrlo je važan faktor u kvaliteti otiska. Tkanje je proces u kojem se unakrsno isprepliću barem dvije niti, ispod ili iznad jedna druge kako bi se oformila cijela mrežica. Vrste tkanja u sitotisku su: obično tkanje i keper. Keper tkanje ima linijaturu mrežice iznad 120 t.p.cm. „Plain weave“ odnosno, obično tkanje, skraćeno "PW", je jednostavan i nepromjenljiv uzorak koji se obično koristi za sitotisak. Jednostavna konstrukcija omogućuje da se nešto više tiskarske boje prođe nego uzorci kepera. To je 1:1 tkanje.

Keper tkanje, obično označeno na mrežici kao "TW", idealno je za stvaranje deblje i čvršće tkanine za sitotisak od onih s običnim tkaninama. Tako se prenosi manje tinte. Različiti tipovi keper tkanja imaju različiti broj valova npr. 2:1, 2:2 ili 3:3.



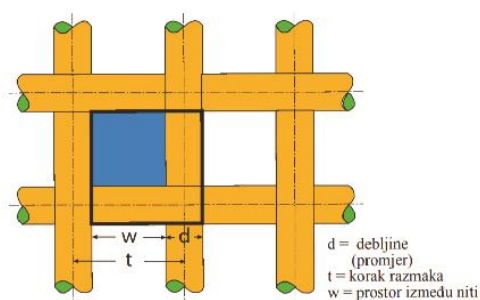
*Slika 12. Obično tkanje (lijevo), Tift tkanje (sredina), mlinarsko tkanje (desno)
(*******<https://repozitorij.unin.hr/islandora/object/unin:1198/preview>)*

2.6.3. Otvorenost mrežice

Veličina očice označava se sa slovom W te opisuje širinu od osnove do susjednih niti, a mjeri se okomito na ravninu svile. Izražava se u mikrometrima. Otvorenost mrežice predstavlja:

$$\alpha_0 = \frac{W^2}{t^2} \times 100\% \quad (1)$$

Npr. ako mrežica ima otvorenost 35% tada joj je toliko otvorena površina dok ona zatvorena, nepropusna iznosi 65%. [2]



Slika 13. Otvorenost mrežice

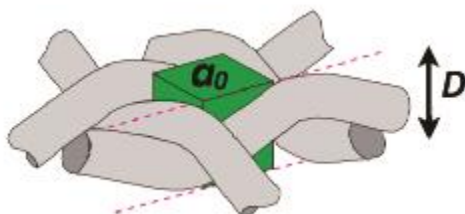
(Udruga H, Sitotiskara. PRIRUČNIK ZA SITOTISKARE. Zagreb; 1999.)

2.6.4. Volumen tiskarske boje

Volumen tiskarske boje označava vrijednost koja proizlazi iz odnosa otvorenosti mrežice i njezine debljine. Volumen osigurava praktičniju mogućnost određivanja potrošnje boje. Teoretski volumen izražava se u cm^3/m^2 .

U realnim uvjetima stupanj u kojem se mrežica napuni tiskarskom bojom ovisi o brzini rakela, karakteristikama oštrice rakela – tvrdoći, kutu i završnoj obradi – te o konzistentnosti same tiskarske boje. [1]

Formula za volumen boje jest: $V_{th} = \alpha_0 \times \frac{d}{100}$ (2)



Slika 14. Volumen tiskarske boje

(Udruga H, Sitotiskara. PRIRUČNIK ZA SITOTISKARE. Zagreb; 1999.)

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. Priprema motiva za reprodukciju

Motiv za reprodukciju izrađen je u programu Adobe Illustrator CS3 (slika 15.). Motiv sadrži osnovne elemente potrebne za praćenje razine kvalitete reprodukcije, poput linija različitih debljina u pozitivu i negativu, te slova različitih tipografskih veličina također u pozitivu i negativu.



Slika 15. Motiv za reprodukciju

Kontrolni klin korišten je u izradi kopirnih predložaka.

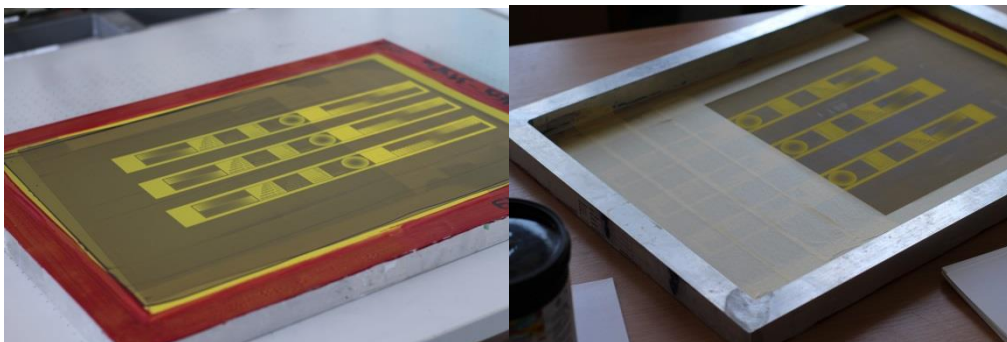
3.2 Priprema sita i izrada tiskovne forme

Prema planu istraživanja korištene su tiskovne forme s mrežicama različitih linijatura (120, 140, 165 l/cm) kako bi se moglo utvrditi koja će najbolje odgovarati za reprodukciju sitnih detalja.

Motiv za reprodukciju prenesen je na tiskovne forme direktnim konvencionalnim postupkom. Prije svega potrebno je odmastiti mrežicu posebnim otapalima. Nakon odmašćivanja s obje strane mrežice nanosi se fotoaktivni sloj sa lađicom. Nakon oslojavanja uslijedilo je sušenje nanesenog sloja te osvjetljavanje. Prije prijenosa motiva za reprodukciju na tiskovnu formu proveden je test ekspozicije korištenjem Kiwo ExpoCheck filma. Navedeni predložak kopira se na tiskovnu formu i sadrži 10 testnih polja jednakih veličina. Svako polje je prekriveno dodatnim sivim klinom različite gustoće zacrnjenja kako bi se dobila gradacija količine svjetlosnog zračenja. Nakon provedenog osvjetljavanja i razvijanja vizualno se vrši procjena prijenosa motiva. Izabire se testno polje na kojem su pravilno definirani elementi (u pozitivu i negativu), a vrijeme ekspozicije se određuje množenjem koeficijenta (0,1 - 1) ispod navedenog polja s vremenom ekspozicije. Za pripremu tiskovnih formi određeno je potrebno vrijeme osvjetljavanja od 2 minute.

U sljedećem koraku na pripremljenu emulziju kopiran je motiv sa slike 15. osvjetljavanjem u kopirnoj rami u trajanju od 2 minute. Tijekom osvjetljavanja došlo je do fotokemijske promjene u fotoaktivnom sloju i do promjene topljivosti sloja, tj. površine sloja koje su

osvjetljene postale su netopive a površine koje su bile zaštićena predloškom ostale su topljive. Nakon osvjetljavanja slijedi razvijanje i neosvjetljeni dijelovi fotoaktivne emulzije uklanjaju se vodom. Na ovaj način tiskovne forme su gotove i spremne za tisak. Na slici 16. prikazane su gotove tiskovne forme.



Slika 16. Gotove tiskovne forme

3.3 Proces otiskivanja

Otiskivanje je provedeno na manualnom uređaju za otiskivanje. Za otiskivanje je korišten jednostrano premazan papir gramature 300 gm^{-2} i korištenjem crne vodotopive tiskarske boje. Tiskovne forme korištene za ovaj rad izrađene su pod jednakim uvjetima (oslojavanje, sušenje, osvjetljavanje i razvijanje). Nakon što su tiskovne forme gotove izrađeno je šest otisaka sa svakom tiskovnom formom. Za proces otiskivanja tiskovna forma se postavlja u nosače na sitotiskarskom stolu. Na stol se postavlja tiskovna podloga te se pomoću rakela protiskuje tiskarska boja na podlogu. Nakon sušenja na otiscima su provedena planirana mikroskopska mjerenja (Slika 17.). [7]



Slika 17. Otisci

3.4. Uređaji

Za provedbu ovog istraživanja korišteni su slijedeći uređaji:

Sefar Humicheck (slika 18) - uređaj za određivanje postotka vlage u fotoaktivnom sloju na mrežici. Mjerenjem vlage određuje se stupanj sušenja fotoaktivnog sloja. Mjerenje se provodi postavljanjem uređaja na fotoaktivni sloj te očitavanjem količine vlage u pomoću LED indikatora.



Slika 18. Sefar Humicheck

([**https://www.sefar.com/en/609/Product%2BFinder/Screenprinting/Accessories/Stretching/2092168/Stretching-clamps.htm](https://www.sefar.com/en/609/Product%2BFinder/Screenprinting/Accessories/Stretching/2092168/Stretching-clamps.htm))

Vastex Expos-It (slika 19) - kopirna rama s komorom za sušenje koja se koristi za osvjetljavanje i sušenje fotoaktivnog sloja na površini tiskovne forme. Uređaj sadrži vakumske pumpe i elastični poklopac koji omogućavaju prislan kontakt između mrežice i kopirnog predloška tijekom osvjetljavanja i šest UV cijevi snage 40W. Komora za sušenje omogućava sušenje fotoaktivnog sloja dovođenjem toplog zraka.



Slika 19. Vastex Expos-It

([**https://www.atlasscreensupply.com/exposit-2331.htm](https://www.atlasscreensupply.com/exposit-2331.htm))

Mikroskop Olympus BX 51 s digitalnom kamerom (slika 20) – omogućava dobivanje snimke otisaka. Korištenjem kamere mogu se dobiti fotografije visoke razlučivosti i spremite u digitalnom zapisu za kasnija promatranja. Povećanja pod kojima se mogu promatrati uzorci ovise o optičkim lećama koje se mogu nabaviti zasebno, ovisno o potrebi istraživanja. Obično se koriste leće za povećanja od 5 do 100, a za potrebe ovog rada korišteno je povećanje od 10 puta.



Slika 20. Olympus BX 51

([**https://www.spachoptics.com/BX51-FLOURESCENCE-p/olympus-bx51-fluorescence.htm](https://www.spachoptics.com/BX51-FLOURESCENCE-p/olympus-bx51-fluorescence.htm))

Troika AniCAM 3D mikroskop (slika 21) – uređaj sa integriranom aplikacijom za mjerenje površinskih struktura na tiskovnim formama za fleksotisak, anilox valjaka i cilindara za bakrotisak. Troika AniCAM 3D skenirajući mikroskop i sustav upravljanja kvalitetom mogu se također koristiti u kontroli nanosa tiskarske boje i graviranja. [8]



Slika 21. Troika AniCAM 3D mikroskop

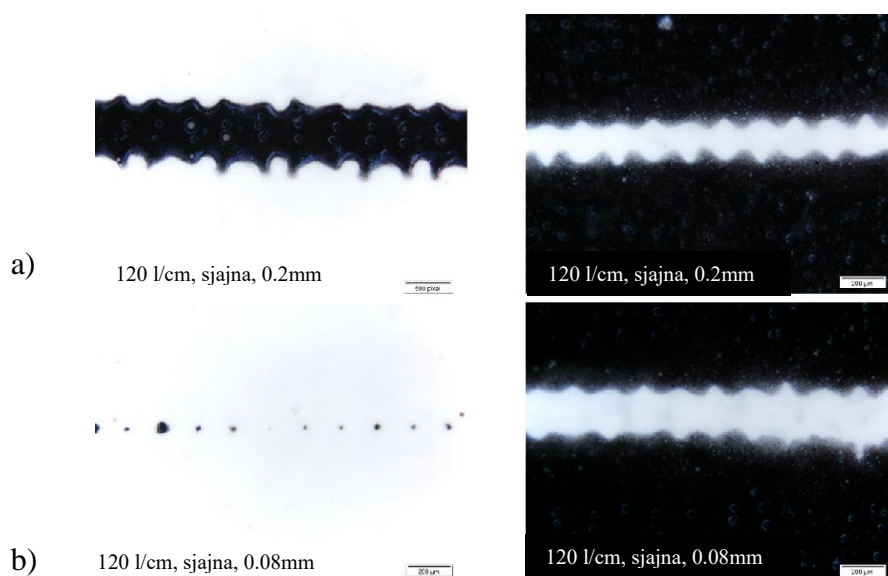
([**https://www.printsystems.pl/sr/troika-anicam-3d-mikroskop/](https://www.printsystems.pl/sr/troika-anicam-3d-mikroskop/))

4. REZULTATI I RASPRAVA

Na dobivenim otiscima provedena su mjerenja debljine reproduciranih linija, 3D analiza otisaka, te vizualna analiza linija i tekstova.

4.1. Vizualna procjena tiskovnih elemenata

U ovom dijelu uspoređivani su rezultati otisnutih probnih otisaka u vidu izgleda ruba i širine tankih reproduciranih linija. Linije su snimljene u negativu i pozitivu, kao i slova i brojevi različite tipografske veličine. Korišten je papir sa mat i sjajnom stranom, te su otisci napravljeni na obje strane.



Slika 22. Mikroskopski prikaz linija

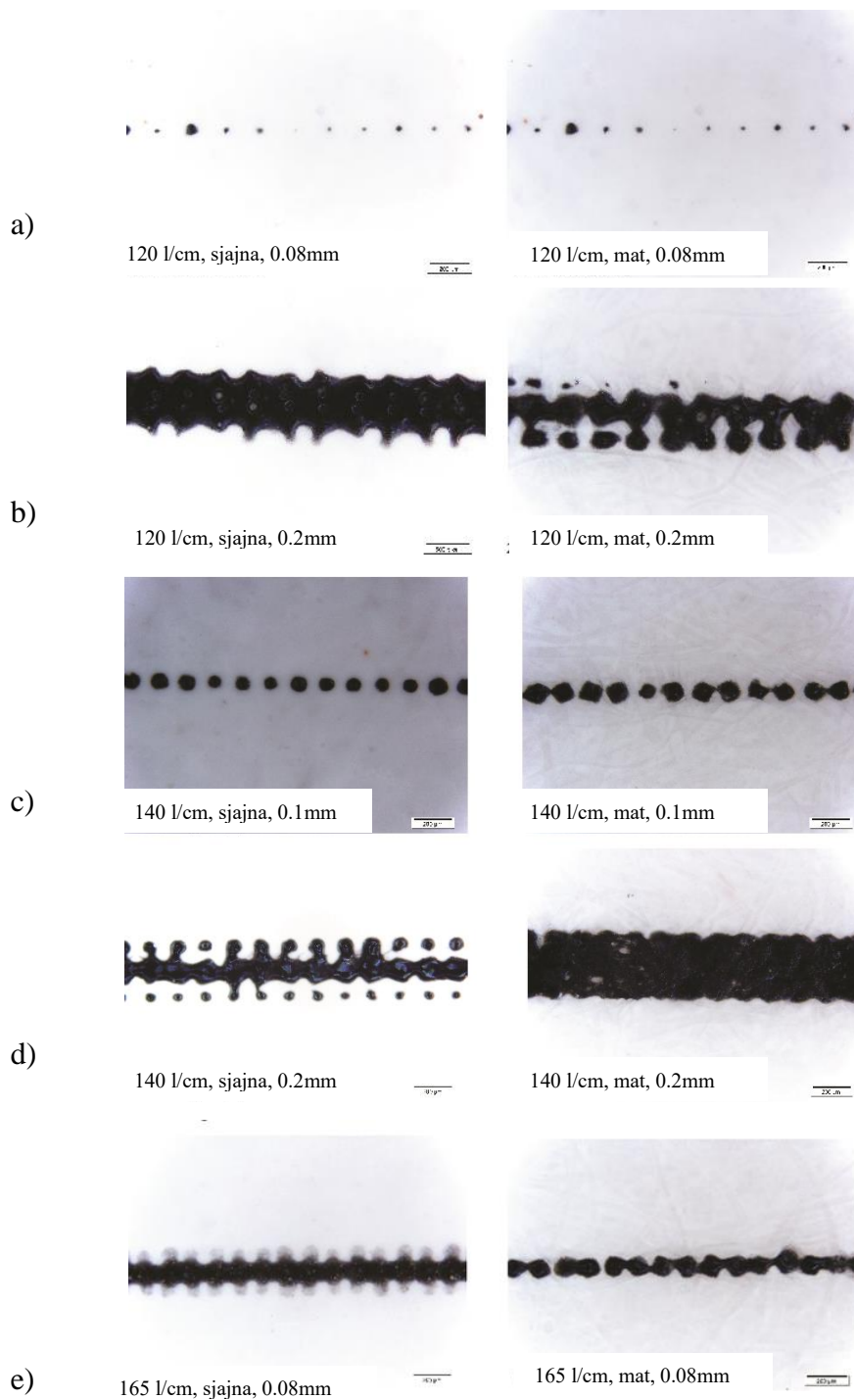
a) 120 l/cm, sjajna, 0,2 mm

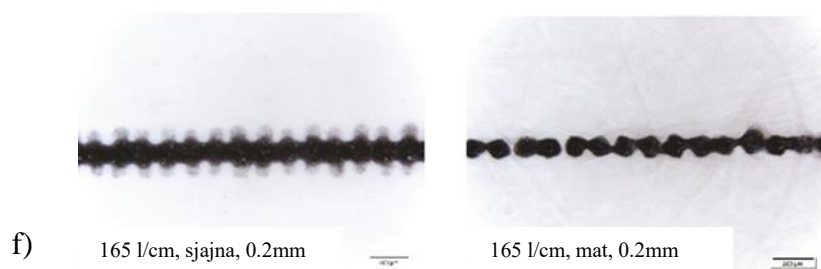
b) 120 l/cm, sjajna, 0,08 mm

Na slici 22. prikazani su pozitiv i negativ slike linija koje su otisnute mrežicom linijature 120 l/cm na sjajnoj strani papira. U gornjem redu su prikazane veličine 0,2 mm, a u donjem 0,08 mm. Najnepravilniji je pozitiv veličine 0,08 mm te je jedva vidljiv.

Na slici 23. vidljivi su mikroskopski prikazi serije linija u pozitivu različitih debljina, uz korištenje sve tri linijature mrežice (120,140,165 l/cm) na obje strane tiskovne podloge-mat i sjajnoj. Oznake specifične linijature mrežice, širine linije i podloge nalaze se na svakom

mikroskopskom prikazu. Prikazane su najtanje tri širine linija koje su se reproducirale u pozitivu (zbog ograničenja uzrokovanih potkopiravanjem prilikom izrade tiskovne forme).

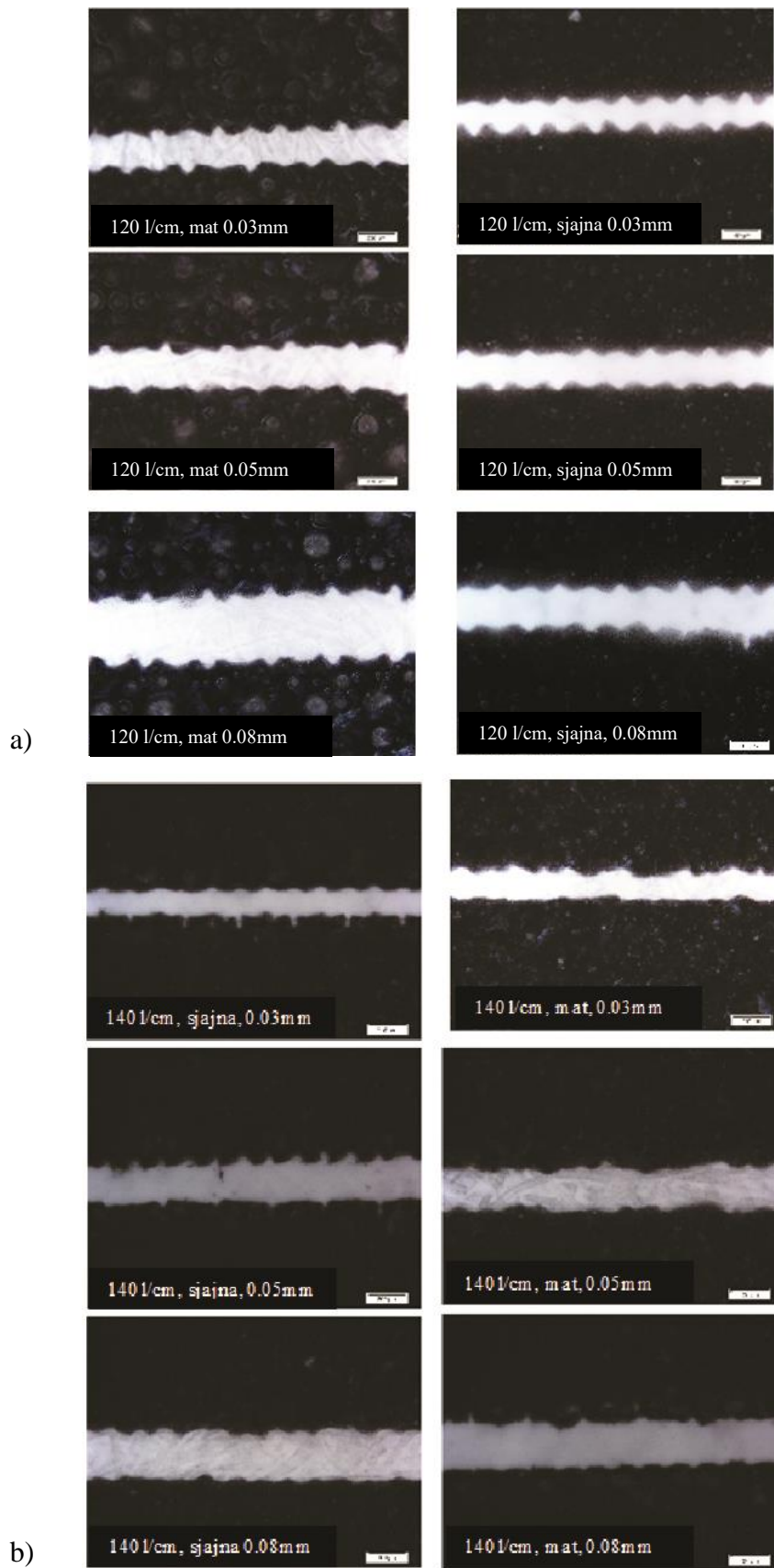


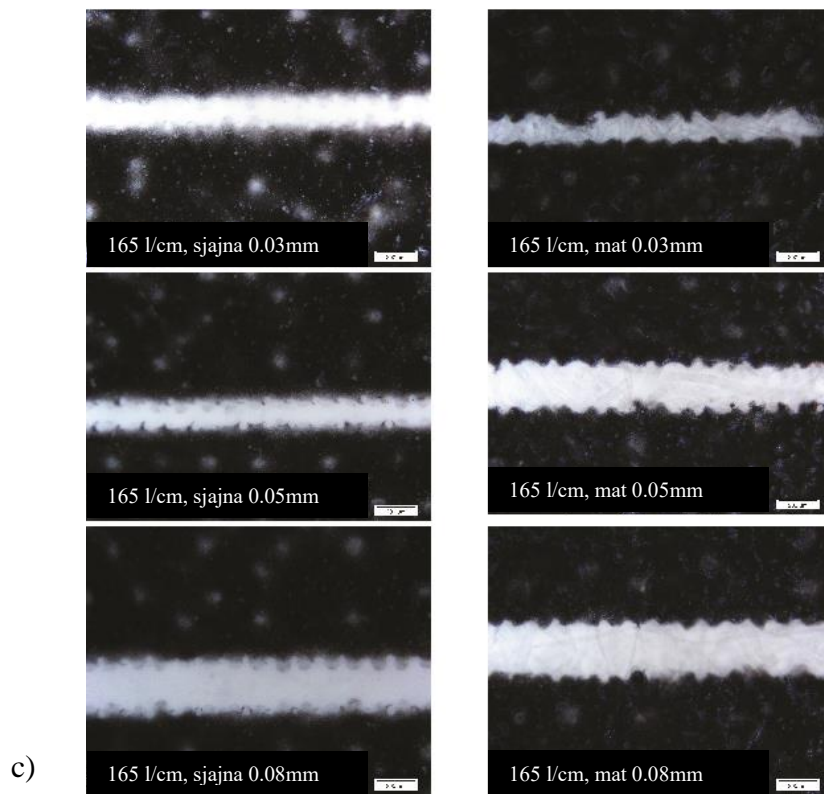


Slika 23. Mikroskopski prikaz otisnutih linija u pozitivu

- a) 120 l/cm, sjajna i mat, 0.08 mm*
- b) 120 l/cm, sjajna i mat, 0.2 mm*
- c) 140 l/cm, sjajna i mat, 0.1 mm*
- d) 140 l/cm, sjajna i mat, 0.2 mm*
- e) 165 l/cm, sjajna i mat, 0.08 mm*
- f) 165 l/cm, sjajna i mat, 0.2 mm*

Kao što je vidljivo na slici 23. na mat strani papira zbog veće upojnosti podloge je došlo do značajnijeg prirasta rasterskih elemenata nego na otiscima sa sjajne strane. Ipak, potrebno je napomenuti da su se mrežice manjih linijatura (120 l/cm i 140 l/cm) pokazale kao neprimjerenima za reprodukciju sasvim tankih linija. Ukoliko tanke linije predstavljaju samo manji dio dizajna motiva, preporuka je koristiti upojniju tiskovnu podlogu kako bi se upravo radi svojstava podloge one ipak vidljivo i neprekinuto reproducirale.

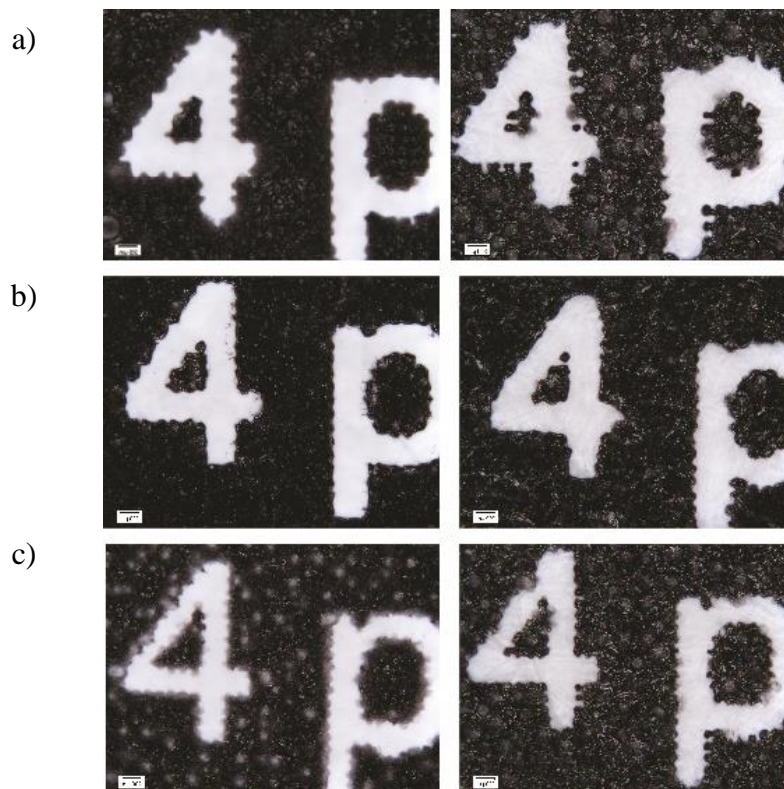


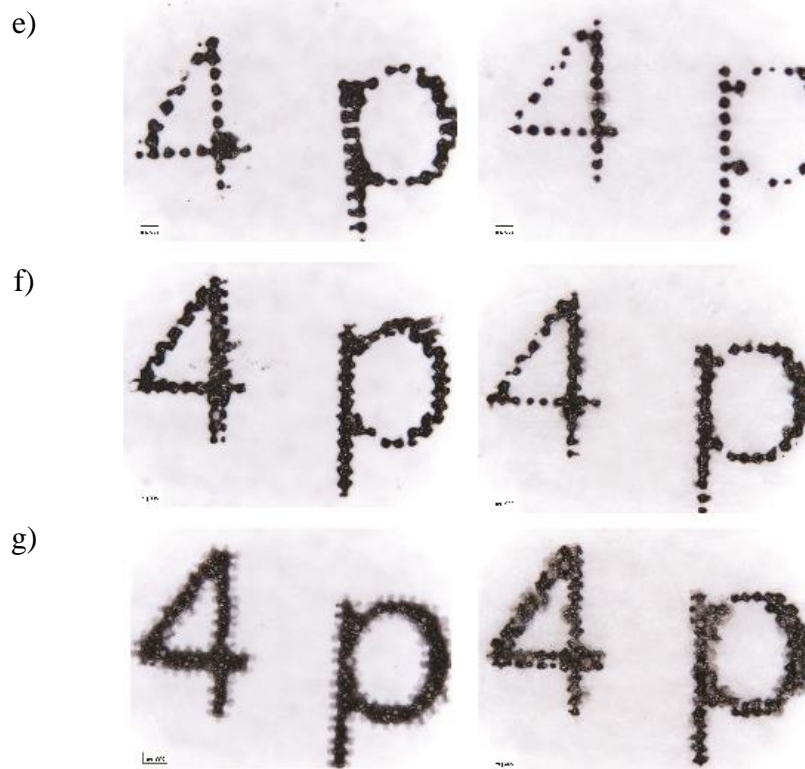


Slika 24. Mikroskopski prikaz otisnutih linija u negativu
a) 120 l/cm, sjajna i mat podloga, 0.03; 0.05; 0.08 mm
b) 140 l/cm, sjajna i mat podloga, 0.03; 0.05; 0.08 mm
c) 165 l/cm, sjajna i mat podloga, 0.03; 0.05; 0.08 mm

Na slici 24. prikazani su otisci linija različitih debljina u negativu, otisnutih sa sve tri linijature mrežice i na mat i na sjajnoj strani papira. Vidljivo je da su linije oštrije povećanjem linijature, što je bilo i očekivano. Manje deformacije rubova linija uočavaju se na sjajnoj strani papira zbog glađe površine. Zbog pojave potkopiravanja u sitotisku prilikom izrade tiskovne forme (uz korištenje negativskog fotoaktivnog sloja), i najtanja linija u negativu širine 0,03 mm je uspješno reproducirana.

Slika 25. prikazuje reprodukcije slova i bojni tipografske veličine 4 pt u pozitivu i negativu sa svim korištenim linijaturama mrežica. Vidljivo je da su rubovi elemenata u negativu bolje definirani prilikom korištenja sjajne podloge. Optimalna linijatura mrežice za reprodukciju detalja na slici 25. jest 140 l/cm zbog vidljivo najbolje definicije ruba elementa i prijenosa dovoljne količine tiskarske bojena podlogu na dijelu punog tona. S druge strane, elementi u pozitivu nisu pokazali optimalan prijenos dovoljne količine boje kroz očice mrežice na podlogu. Zbog hrapavosti mat podloge, očigledno nije ostvaren optimalan kontakt između mrežice i podloge tijekom prijenos boje.





Slika 25. otisci brojeva i slova u pozitivu i negativu

a) 120 l/cm sjajna i mat, negativ

b) 140 l/cm sjajna i mat, negativ

c) 165 l/cm sjajna i mat, negativ

e) 120 l/cm sjajna i mat, pozitiv

f) 140 l/cm sjajna i mat, pozitiv

g) 165 l/cm sjajna i mat, pozitiv

Tablica 1. prikazuje srednje vrijednosti mjerenja širine tri najtanje linije koje su se uspjele reproducirati u pozitivu i negativu sa sjajne i mat strane zbog procesa potkopiravanja prilikom izrade tiskovne forme, u pozitivu su reproducirane tek širine linije (min. 0,08 mm).

Tablica 1. Srednje vrijednosti širina otisnutih linija u pozitivu i negativu

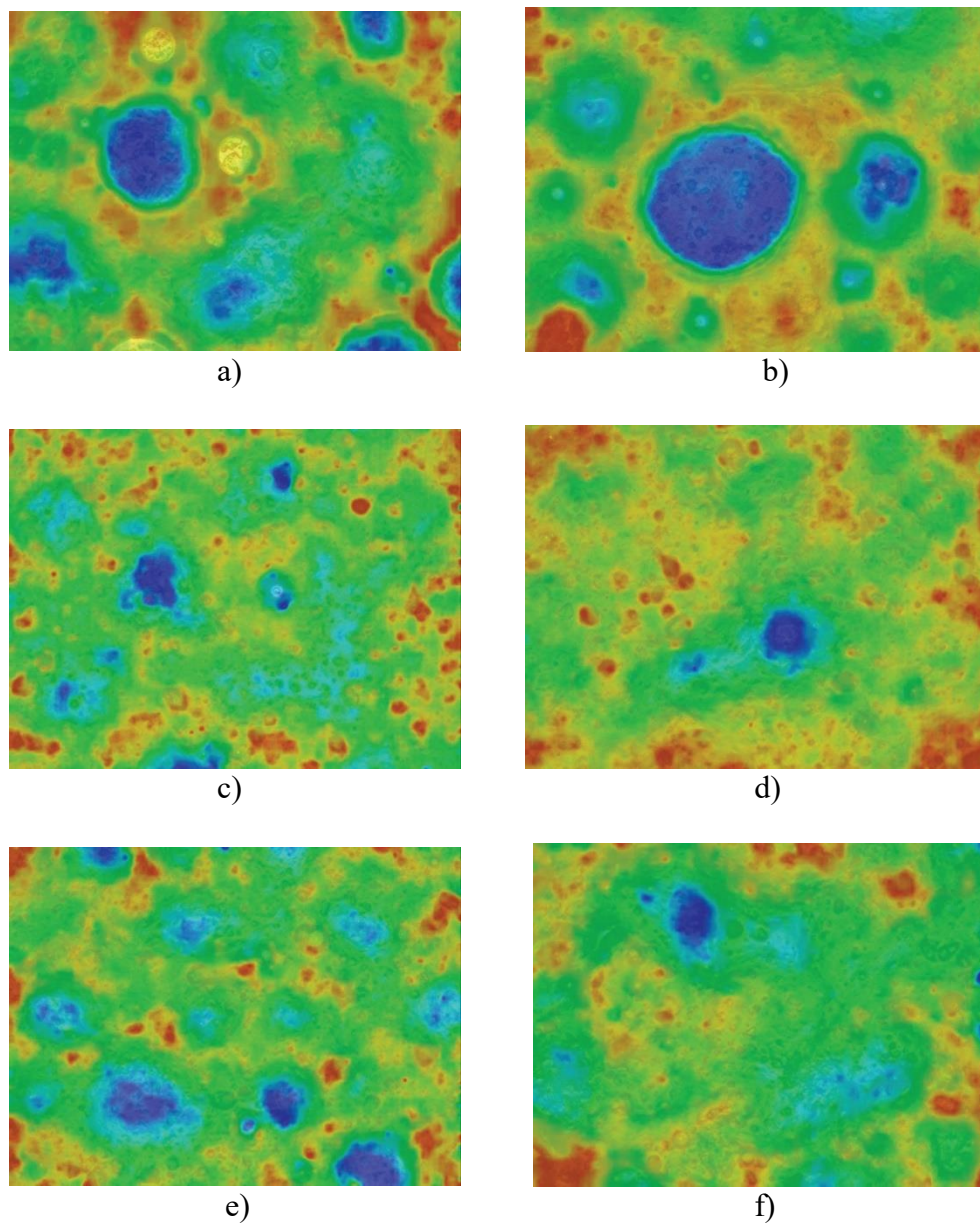
Linija	Neg (0,08mm)	Neg (0,03 mm)	Neg (0,05mm)	Poz (0,08mm)	Poz (0,1mm)	Poz (0,2mm)
Linijatura						
120 l/cm mat	398,32 μm	231,97 μm	294,96 μm	-	-	296,17 μm
120 l/cm sjajna	267,59 μm	210,87 μm	227,95 μm	-	-	360,51 μm
140 l/cm mat	278,04 μm	178,06 μm	737,89 μm	-	-	343,04 μm
140 l/cm sjajna	255,41 μm	167,68 μm	225,98 μm	-	-	315,07 μm
165 l/cm mat	327,44 μm	165,67 μm	282,42 μm	117,54 μm	130,44 μm	336,64 μm
165 l/cm sjajna	298,7 5 μm	192,34 μm	195,61 μm	141,51 μm	157,14 μm	373,41 μm

Vidljivo je da su prilikom reprodukcije pozitiva linije širine manje od 0,2 mm reproducirane tek pomoću mrežice od 165 l/cm, što su omogućile male dimenzije očica mrežice. Linije od 0,08 mm i 0,1 mm u pozitivu bile su reproducirane, ali nisu bile kontinuirane te im stoga nije mogla biti mjerena širina. Nadalje, zbog manje upojnosti sjajnog papira i stoga mogućnosti razlijevanja otisnute boje na površini elementa prije upijanja, linije u pozitivu imaju generalno veću širinu na sjajnoj podlozi u odnosu na širinu na mat podlozi. Zbog potkopiravanja tijekom izrade tiskovne forme, linije u negativu reproducirane su kontinuirano već za nominalne širine od 0,03 mm. Prilikom usporedbe širina linija u negativu, moguće je zaključiti da ona pada sa porastom linijature mrežice, što je bilo očekivano. Linije u negativu šire su na otiscima na mat strani podloge, za što je obrazloženje jednako kao i za širinu linija na sjajnoj podlozi u odnosu na mat podlogu u pozivu.

Moguće je zaključiti da je za optimalnu reprodukciju tankih linija i pisma male tipografske veličine u sitotisku potrebno razlučiti reprodukcije u negativu od onih u pozitivu, uz napomenu da mogućnosti na istoj mrežici nisu jednake za oba slučaja. Nakon što se potkopiravanje prilikom izrade tiskovne forme uzme u obzir, također je potrebno imati na umu da mrežice većih linijatura prenose na podlogu manju količinu boje te je stoga odabir konačne linijature potrebno provesti imajući u vidu čitav motiv, a ne samo fine detalje.

4.2. 3D mikroskopija tiskovnih elemenata

3D mikroskopija provedena je s namjerom da se promotre topografija površine otisnutih linija i debljina namosa boje na mjestima linija. Slika 26. prikazuje topografiju površine za sve tri linijature mrežice i na obje podloge.

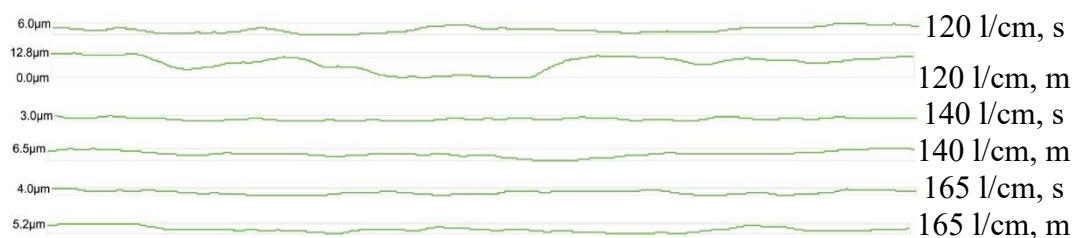


Slika 26. 3D prikazi rubova linija

- a) 120 l/cm sjajna*
- b) 120 l/cm mat*
- c) 140 l/cm sjajna*
- d) 140 l/cm mat*
- e) 165 l/cm sjajna*
- f) 165 l/cm mat*

Na slici 26. plava mjesta predstavljaju udubine, a skala u smjeru toplijih boja izbočine (crveni dijelovi su vrhovi). Moguće je uočiti da površina otiska ima više nepravilnosti prilikom korištenja mrežica linijature 120 l/cm, (Slika 26.a i 26.b) , a najveća uniformnost prisutna je na otiscima dobivenima pomoću mrežice linijature 165 l/cm (slika 26.e i 26.f). ovakva 3D mikroskopska slika omogućuje prikaz uniformnosti sloja boje na otisku, što klasičnom 2D mikroskopijom nije ni približno dobro vidljivo.

Pomoću 3D mikroskopije dobiven je i uzdužni presjek otisnutih tankih linija (Slika 27). Linije na slici prikazuju površinski sloj otiska, tj. Površinsku strukturu neravnina na sjajnoj podlozi (s) i mat podlozi (m)



Slika 27. Debljine nanosa boje na području linija određene 3D mikroskopijom

Na slici 27. vidljivo je da je visina neravnina na otisku dobivenom mrežicom 120 l/cm i na mat papiru čak 12,8 μm, dok je na sjajnom papiru i istoj linijaturi znatno manja, 6 μm. isti trend prisutan je i za veće linijature mrežica, s time da se očekivano visina neravnina na površini otisaka povećanjem linijature mrežice smanjuje. Na mat papiru neravnine su očekivano jače izražene.

Rezultati dobiveni 3D mikroskopijom mogu pomoći u odabiru optimalne mrežice tiskovne podloge za pojedini motiv, budući da je ovom metodom moguće uočiti topografiju i neravnine na površini, što, ovisno i vrsti korištene boje (npr. za vodljive boje), može uz definiciju ruba otisnutog elementa biti jedan od glavnih kvalitativnih parametara otiska.

5. ZAKLJUČCI

U ovom završnom radu provedena je analiza reprodukcije tankih linija i pisma male tipografske veličine tehnikom sitotiska, na mat i sjajnim papirnim podlogama. Korištene su mrežice visokih linijatura 120 l/cm, 140 l/cm, i 165 l/cm. Cilj je bio procijeniti kvalitetu reprodukcije 2D i 3D mikroskopijom uz slikovnu analizu i odrediti kvalitativne zahtjeve u sitotisku prilikom tiska sitnih elemenata na različite podloge.

Iz dobivenih rezultata moguće je zaključiti sljedeće:

- Za optimalnu reprodukciju tankih linija i pisma male tipografske veličine u sitotisku potrebno je razlučiti reprodukcije u negativu od onih u pozitivu,
- Mogućnosti reprodukcije na istoj mrežici nisu jednake za sitne detalje u pozitivu i negativu zbog procesa i principa potkopiravanja u izradi tiskovne forme,
- Nakon što se potkopiravanje prilikom izrade tiskovne forme uzme u obzir, također je potrebno imati na umu da mrežice većih linijatura prenose na podlogu manju količinu boje te je stoga odabir konačne linijature potrebno provesti imajući u vidu čitav motiv, a ne samo detalje,
- Na upijajućim hrapavijim tiskovnim podlogama, upravo zbog upojnosti, vrlo tanke linije često mogu biti otisnute nekontinuirano,
- Topografija površine sitnih detalja značajno se razlikuju na manje i jače upojnim podlogama i za mrežice različitih linijatura,
- 3D mikroskopija može pomoći u odabiru optimalne mrežice i tiskovne podloge za pojedini motiv, budući da je ovom metodom moguće uočiti topografiju površine; što može uz definiciju ruba otisnutog elementa biti jedan od glavnih parametara praćenja kvalitete otisaka, naročito kod primjene specijalnih efekata u sitotisku i kod primjene funkcionalnih tiskarskih boja (npr. za vodljive boje).

6. LITERATURA

1. Carr F. A guide to screen process printing, Facts of print series. 1961.
2. ***Majnarić Igor, SITOTISAK I. dio Available from:
[http://tisak.grf.unizg.hr/media/download_gallery/MTT Predavanje 7a.pdf](http://tisak.grf.unizg.hr/media/download_gallery/MTT_Predavanje_7a.pdf)
3. ***Mahović Poljaček S., TISKOVNE FORME 1. Available from:
[https://moodle.srce.hr/2018-2019/pluginfile.php/2113526/mod_resource/content/1/Predavanje11-tiskovna forma za propusni tisak.pdf](https://moodle.srce.hr/2018-2019/pluginfile.php/2113526/mod_resource/content/1/Predavanje11-tiskovna_forma_za_propusni_tisak.pdf)
4. Udruga H, Sitotiskara. PRIRUČNIK ZA SITOTISKARE. Zagreb; 1999.
5. Gojo Miroslav, Mahović Poljaček Sanja. Osnove tiskovnih formi. Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet, Zagreb; 2013.
6. ***PDS International Limited IT'S ONLY A SCREEN. Available from:
www.pdsinternational.com
7. Tuksar Dubravko. Zavisnost reprodukcije motiva o linijaturi mrežice tiskovne forme. Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet, Zagreb; 2014.
8. Batušić Sonja. Nove mogućnosti reprodukcije specijalnih efekata s tiskovnom formom za propusni tisak. Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet, Zagreb; 2015.