

# Utjecaj promjenjivih parametara fleksotiska na geometriju rasterskoga elementa predotisnute tiskovne podloge

---

Valdec, Dean

Doctoral thesis / Doktorski rad

2013

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:216:329382>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-19**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Graphic Arts Repository](#)





Sveučilište u Zagrebu

GRAFIČKI FAKULTET

Dean Valdec

**UTJECAJ PROMJENJIVIH PARAMETARA  
FLEKSOTISKA NA GEOMETRIJU RASTERSKOGA  
ELEMENTA PREDOTISNUTE TISKOVNE PODLOGE**

DOKTORSKI RAD

Zagreb, 2013.



University of Zagreb

FACULTY OF GRAPHIC ARTS

Dean Valdec

**THE INFLUENCE OF VARIABLE PARAMETERS OF  
FLEXOGRAPHIC PRINTING ON DOT GEOMETRY  
OF PRE-PRINTED PRINTING SUBSTRATE**

DOCTORAL THESIS

Zagreb, 2013.



Sveučilište u Zagrebu

GRAFIČKI FAKULTET

Dean Valdec

**UTJECAJ PROMJENJIVIH PARAMETARA  
FLEKSOTISKA NA GEOMETRIJU RASTERSKOGA  
ELEMENTA PREDOTISNUTE TISKOVNE PODLOGE**

DOKTORSKI RAD

Mentor: doc. dr.sc. Igor Zjakić

Zagreb, 2013.



University of Zagreb

FACULTY OF GRAPHIC ARTS

Dean Valdec

**THE INFLUENCE OF VARIABLE PARAMETERS OF  
FLEXOGRAPHIC PRINTING ON DOT GEOMETRY  
OF PRE-PRINTED PRINTING SUBSTRATE**

DOCTORAL THESIS

Supervisor: assist. prof. Igor Zjakić

Zagreb, 2013.

**UDK 655.326.1**

**Povjerenstvo za ocjenu doktorske disertacije:**

1. prof. dr. sc. Nikola Mrvac, Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet, predsjednik
2. doc. dr. sc. Igor Zjakić, Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet, mentor
3. izv. prof. dr. sc. Antoneta Tomljenović, Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, vanjska članica
4. doc. dr. sc. Igor Majnarić, Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet, zamjenski član
5. prof. dr. sc. Marin Milković, Medijsko sveučilište, Koprivnica, zamjenski vanjski član.

**Povjerenstvo za obranu doktorske disertacije:**

1. prof. dr. sc. Nikola Mrvac, Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet, predsjednik,
2. doc. dr. sc. Igor Zjakić, Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet, mentor,
3. izv. prof. dr. sc. Antoneta Tomljenović, Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, vanjska članica,
4. doc. dr. sc. Igor Majnarić, Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet, član,
5. izv. prof. dr. sc. Vesna Džimbeg Malčić, Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet, članica,
6. prof. dr. sc. Marin Milković, Medijsko sveučilište, Koprivnica, zamjenski vanjski član.

**Datum obrane doktorske disertacije:** 26. studenoga 2013.g.

**Mjesto obrane doktorske disertacije:** Sveučilište u Zagrebu, Grafički fakultet

**Povjerenstvo za obranu doktorske disertacije donijelo je sljedeću odluku:**

„Obranio – jednoglasnom odlukom Povjerenstva“

*Prije svega, želio bih iskazati veliku zahvalnost mentoru doc. dr. sc. Igoru Zjakiću, koji je korisnim savjetima, usmjeravanjem i nesebičnom podrškom u velikoj mjeri utjecao na ovaj rad.*

*Hvala članovima povjerenstva za obranu doktorske disertacije prof. dr. sc. Nikoli Mrvcu, izv. prof. dr. sc. Antoneti Tomljenović, doc. dr. sc. Igoru Majnariću, izv. prof. dr. sc. Vesni Džimbeg Malčić te prof. dr. sc. Marinu Milkoviću na svim sugestijama kojima su doprinijeli kvaliteti ovog doktorskog rada.*

*Također bih se htio zahvaliti ljudima koji su mi pomogli u eksperimentalnom dijelu te tako želim spomenuti Krešu Culjka (Grafik.net d.o.o., Zagreb), Miljenka Krznara (HON-ING d.o.o., Sv. Križ Začretje), Davora Križnika (Vizija d.o.o., Čakovec) i Juru Bičanića (Viplast d.o.o., Varaždin).*

*Zahvalnost dugujem i kolegama sa Veleučilišta u Varaždinu od kojih sam dobivao podršku i korisne savjete, koji su mi u velikoj mjeri olakšali izradu ove disertacije.*

*Posebno se želim zahvaliti supruzi Marini i sinovima Luki i Matiji od kojih sam uvijek imao podršku da ustrajem te je ova disertacija njima posvećena.*

## SAŽETAK

Fleksotisak se naširoko koristi u industriji ambalaže zbog sposobnosti tiska na različite tiskovne materijale te zbog primjene digitalnih tehnologija za izradu fleksotiskarskih ploča. Međutim, postoje određena ograničenja u reprodukciji glatkih prijelaza koja stvaraju efekt odrezanih tonova u svijetlim područjima i smanjuju raspon tonova u tisku.

Stoga ovo istraživanje uspoređuje parametre kvalitete tiska utjecajem geometrije rasterskog elementa i njegove deformacije prilikom tiska. Postoje mnoge varijable koje mogu biti analizirane, ali odlučeno je da se usredotoči na oblik vrha rasterskog elementa na ploči, linijaturu i pritisak prilikom tiska jer ove tri varijable imaju značajan utjecaj na kvalitetu tiska. Prvi cilj je proučiti kako različiti procesi izrade ploče utječu na geometriju rasterskog elementa uključujući oblik vrha rasterskog elementa, okruglost i promjer. Drugi cilj je istražiti utjecaj triju varijabli na osnovne parametre kvalitete tiska uključujući minimalnu veličinu rasterskog elementa, raspon tonova i prirast RTV.

Kreirana je testna forma te su potom izrađene dvije fotopolimerne ploče debljine 1,14 mm temeljene na različitim tehnologijama izrade. Glavna razlika između rasterskog elementa izrađenog pomoću standardne digitalne tehnologije i rasterskog elementa izrađenog pomoću napredne digitalne tehnologije je u obliku vrha rasterskog elementa na ploči, a može biti zaobljeni i ravni. Tada su ploče otisnute pomoću cijan UV bojila na aluminijsku foliju na već predotisnutu pokrivnu bijelu boju.

Na osnovu dobivenih rezultata definirane su smjernice i uvjeti tiska o tome kako primijeniti istraživane utjecajne parametre za bolju reprodukciju tonova na aluminijskoj foliji. Zaobljeni vrh rasterskog elementa pokazuje veću osjetljivost na promjenu pritiska, što dovodi do nedosljednog tiska, dok ravni vrh ostaje dosljedan i uslijed povećanog pritiska. Međutim, rezultati pokazuju da je prirast RTV kod zaobljenog vrha bliži ciljanoj krivulji. Rasterski element sa ravnim vrhom ima bolje definirani rub i prema tome bolje definiranu tiskovnu površinu.

Rezultati ovog istraživanja daju nove znanstvene spoznaje potrebne za jednostavniju i lakšu primjenu ovih tehnologija u proizvodnji te omogućuju jeftiniju i bržu izradu proizvoda koja će za posljedicu imati i pozitivan utjecaj na ekološku prihvatljivost fleksotiska.

**Ključne riječi:** geometrija i oblik vrha rasterskog elementa, fleksotisak, kvaliteta otiska



## ABSTRACT

Flexography is widely used in the packaging industry because of its ability of print on various printing substrates and because of the use of digital platemaking technologies. However, there are some limits in the reproduction of smooth gradients which create tone brakes in the highlight area and decrease tonal range. Therefore, this research compares the parameters of print quality influenced by the dot geometry and its deformation during printing.

There are many variables which may be analysed, but it was decided to focus on top dots shape, line rulings and printing pressures since these three variables have a significant effect on print quality. The first objective was to study how the various platemaking processes effect to dot geometry including top dots shape, roundness and dot diameter. The second objective was to research the influence of three variables on the basic parameters of the print quality including minimum dot size, tonal range and tonal value increase.

A single colour test image was created and then produced two photopolymer plates of 1,14 mm thickness, based on different platemaking technology. One of the main differences between a dot made with standard digital technology and the dot made with new digital technology is the shape of top dots on plate: round and flat top dots. Plates then printed with cyan UV ink on aluminium foil on the pre-printed opaque white ink.

Based on the obtained research results, the guidelines and print conditions are given about how to apply the studied influential parameters for better tone reproduction on aluminium foil. Round top dots show a high sensitivity to change in pressure, which leads to inconsistent printing, while flat top dots remain more consistent with over-pressure. However, the results show that dot gain at round top dot was closer to target curve. Flat top dots have a better dot edge definition and therefore better define the print surface of the dot.

The results of this study are provide new scientific knowledge necessary for simpler and easier use of these technologies in the production stage and enable cheaper and faster manufacture of products that will result in a positive impact on the environmental sustainability of flexographic printing.

**Keywords:** dot geometry, top dots shape, flexographic printing, print quality

# SADRŽAJ

1.	UVOD .....	1
1.1	Cilj i hipoteze istraživanja .....	3
1.2	Očekivani znanstveni doprinos.....	4
2.	TEORETSKI DIO .....	5
2.1	Fleksotisak .....	5
2.1.1	Trendovi razvoja fleksotiska .....	6
2.1.2	Parametri koje utječu na reprodukciju .....	7
2.1.3	Proces standardizacije fleksotiska.....	9
2.1.4	Višebojna reprodukcija .....	10
2.2	Priprema za fleksotisak.....	11
2.2.1	Osnovni pojmovi .....	12
2.2.2	Napredne tehnologije u pripremi za fleksotisak.....	14
2.2.3	Rasterske tehnologije .....	20
2.2.4	Distorzija polimerne ploče .....	28
2.3	Izrada polimerne ploče .....	31
2.3.1	Proces izrade polimerne ploče.....	31
2.3.2	Tehnologije izrade polimerne ploče.....	35
2.3.3	Montažna traka za polimerne ploče .....	47
2.4	Aniloks valjak.....	49
2.4.1	Linijatura aniloks valjka.....	50
2.4.2	Volumen aniloks valjka.....	51
2.4.3	Graviranje aniloks valjaka.....	57
2.4.4	Primjena aniloks valjka .....	62
2.5	Bojila i sustavi za obojenje za fleksotisak.....	65
2.5.1	Sustavi za obojenje.....	65
2.5.2	Bojila za fleksotisak .....	67

2.5.3	Pokrivna bijela boja.....	74
2.6	Tiskovne podloge za fleksotisak.....	77
2.6.1	Papiri i kartoni.....	78
2.6.2	Filmovi i folije.....	79
2.6.3	Višeslojni materijali (laminati).....	82
2.6.4	Aluminijska folija.....	83
3.	EKSPERIMENTALNI DIO.....	86
3.1	Metodologija i plan istraživanja.....	86
3.2	Određivanje odnosa linijature rastera i aniloks valjka.....	89
3.2.1	Proračun optimalnog odnosa rasterskog elementa i čašice aniloks valjka.....	92
3.2.2	Postupak određivanja minimalne veličine rasterskog elementa.....	98
3.2.3	Određivanje parametara potrebnih za izvođenje eksperimenta.....	101
3.3	Priprema testne forme i rastriranje.....	102
3.4	Izrada polimerne ploče.....	104
3.5	Izrada otiska.....	106
3.6	Rezultati i diskusija.....	108
3.6.1	Minimalna veličina rasterskog elementa na ploči.....	113
3.6.2	Kolorimetrijske vrijednosti cijana i bijele boje.....	117
3.6.3	Krivulja reprodukcije.....	118
3.6.4	Gustoća obojenja.....	121
3.6.5	Prirast RTV.....	125
3.6.6	Promjer rasterskog elementa.....	129
3.6.7	Okruglost rasterskog elementa.....	131
3.6.8	Formiranje rasterskog elementa.....	134
3.6.9	Završna diskusija.....	139
4.	ZAKLJUČCI.....	142
5.	LITERATURA.....	148

Popis slika .....	156
Popis tablica .....	160
Životopis s popisom objavljenih radova .....	162

# 1. UVOD

Fleksotisak se temelji na jednostavnom konceptu prijenosa bojila, ali detaljnijim uvidom u proces može se otkriti mnoštvo promjenjivih varijabli koje utječu na prijenos bojila i dakako na konačnu kvalitetu reprodukcije [1]. Kvaliteta reprodukcije uvjetovana je kombinacijom različitih parametara koji se tiču vrste i tehnologije izrade polimernih ploča, aniloks valjaka, pritisaka u tisku te različitih tiskovnih podloga. Stoga je u fleksotisku potrebno što preciznije definirati cjelokupni proces ili barem dio procesa [2].

Njegove glavne prednosti su brzina tiska te način tiska iz role, široki spektar tiskovnih podloga koje koristi, ekološki prihvatljive boje na bazi vode i široka primjena u ambalažnoj industriji [3]. Uz sve navedeno, karakteristika flekso tiskarskog procesa je fleksibilnost i jednostavnost što se očituje u brzini razvoja kako po pitanju tehnologije tako i po pitanju udjela tiskanih proizvoda na tržištu. Nadogradnja i napredak u području fleksotiska su toliko velikih razmjera i tako brzi da se ovdje zaista može govoriti o stvarnoj revoluciji na skali razvoja grafičkog inženjerstva [4]. Kompjuterizacija tiskovnog procesa sa svojim inovacijama omogućuje precizno i ponovljivo podešavanje tiskarskog stroja, direktnu video kontrolu i automatsko podešavanje registra u toku tiska. Fleksotisak je jedan od najčešće korištenih tiskovnih procesa u industriji ambalaže, a kako bi i dalje opstala na vrhu, bitno je da se na bilo koji zahtjev proizvoda daje što brži odgovor, odnosno rješenje. U današnjem poslovnom okruženju veliki su zahtjevi u pogledu povećanja kvalitete kod upotrebe bilo digitalnih, bilo konvencionalnih fotopolimernih ploča. Napredna dostignuća u tehnologiji pripreme za tisak pomažu flekso tiskarskom procesu prelazak na viši nivo u pogledu kvalitete tiska [5].

Međutim, vrlo važan nedostatak u cjelokupnom procesu je neprimjenjivost postojećeg standarda ISO 12647–6 [8] koji nije u potpunosti definiran (barem ne na način kako je definiran za ofsetni tisak). Neosporno je da postoje osnovne smjernice i zahtjevi prema pojedinim fazama proizvodnog procesa (rastriranje, izrada ploče i procesni tisak), ali predvidljivost rezultata uvjetovana je postojećim proizvodnim uvjetima koji vrlo često nisu u skladu sa propisanim. Nepotpuna primjenjivost standarda rezultat je brzine i trenda razvoja flekso tiskarskog procesa sa mnoštvo promjenjivih parametara koje treba definirati. Upravo se na području izrade polimernih ploča događaju značajne tehnološke inovacije u pogledu načina obrade fotopolimera te primjene naprednih rasterskih tehnologija. Stoga se još uvijek provodi skup eksperimentalni tisak testnih formi, koji omogućava definiranje varijabilnih parametara

te predstavlja jedini način pronalaženja optimalnog procesa kako bi se dobio dosljedan i ponovljiv otisak. Ova metoda će se također primijeniti i u ovom istraživanju.

Nadalje, reprodukcija elemenata poput vinjeta i prijelaza (gradijenta) ili elemenata koji se stapaju (engl. blend effect) u fleksotisku još uvijek zahtijeva brojna zaobilazna rješenja poput korištenja manje kontrastnih boja, niže linijature rastera ili se puni tonovi odvajaju zasebno [6]. Reprodukcija svijetlih tonova kod finijih rastera je veliki izazov za fleksotiskarski proces, a to će upravo činiti osnovu predmeta istraživanja. Efekt odrezanih tonova (engl. flexo break effect) stvara vidljivi grubi prijelaz zbog gubitka rasterskih elemenata kod nižih rastertonskih vrijednosti. Zbog prirode elastičnosti polimernih ploča, prilikom pritiska na polimernu ploču tokom tiska, rasterski elementi u području svijetlih tonova više su spljošteni jer su mnogo manji i time mehanički slabiji od većih rasterskih elemenata kod srednjih i tamnih tonova. To uzrokuje neujednačenu reprodukciju tonova posebno u svijetlim područjima ispod 5 % RTV [5].

Kao moguće rješenje problema reprodukcije svijetlih tonova, u svrhu poboljšanja kvalitete tiska, razvijene su XM (križno modulirani rasteri) i HD (rasteri visoke razlučivosti) rasterske tehnologije. HD rasterska tehnologija sastoji se od dvije odvojene tehnologije: jedna se zasniva na optici za visoku razlučivost, a druga na naprednim tehnikama rastriranja [7]. Posljednje dvije godine težnja za povećanjem kvalitete reprodukcije usmjerena je na geometriju rasterskog elementa, prvenstveno na oblik samog vrha rasterskog elementa na polimernim pločama, što će ujedno biti predmet razmatranja u istraživanju. Pri tome će biti obuhvaćene CtP fleksotiskarske ploče nastale standardnim i naprednim digitalnim sustavima osvjetljavanja. Kroz ispitivanje reprodukcije tonova i ostalih relevantnih kvalitativnih parametara, kroz tri faze proizvodnje, stvorit će se temelj za razvoj ponovljivog modela u okviru jednog cjelovitog fleksotiskarskog procesa. Evaluacija kvalitativnih parametara se vrši pomoću spektrodensitometrijskih metoda, primjenom metode digitalne obrade slike i slikovne analize.

Prema tome, ovaj rad predstavlja nastavak niza istraživanja usmjerenih prema definiranju optimalnih kvalitativnih parametara u fleksotiskarskom procesu s ciljem povećanja kvalitete reprodukcije, prvenstveno u svijetlim tonovima. Pregledom dosadašnjih istraživanja koja su usmjerena na definiranje svih relevantnih utjecajnih parametara te određivanje kvalitativnih parametara reprodukcije u cjelovitom procesu grafičke reprodukcije u fleksotisku, ukazala se potreba za nadopunom i proširenjem spoznaja oko reprodukcije finih prijelaza, prvenstveno u svijetlim područjima. Pošto, prema dostupnim izvorima, nema objavljenih znanstvenih radova

na tu temu, ovo istraživanje će biti usmjereno na utjecaj oblika vrha rasterskog elementa na kvalitetu reprodukcije na aluminijskoj foliji na već predotisnutu pokrivnu bijelu boju, primjenom standardne i napredne digitalne tehnologije izrade polimernih ploča. Aluminijska folija se kao tiskovna podloga koristi za izradu ambalaže mnogih prehrambenih proizvoda, kao npr. poklopaca za čašice jogurta. Ova tiskovna podloga nije značajno istraživana, a tome u prilog govori i postojeći standard ISO 12647–6 koji u svojim specifikacijama ima zajedničku grupu materijala za sve vrste filmova i folija [8]. Prijenos bojila na tiskovne podloge, poput folije ili filma, povezan je s površinskom energijom tiskovne podloge. Ako je manja površinska energija, bolje je prihvaćanje i prijenos bojila [9].

Nakon detaljnog pregleda svjetske literature, znanstvenih radova i projekata, zaključeno je da istraživanjem, u ovom području, može doći do novih znanstvenih spoznaja. Ovo istraživanje dati će odgovore na pitanja povezana sa temeljnim pretpostavkama same studije. Osnovna pitanja su kako geometrija rasterskog elementa na ploči, s naglaskom na oblik vrha, uslijed promjene pritiska u tisku utječe na prirast RTV, na tiskovni kontrast i na raspon tonova.

## **1.1 CILJ I HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA**

Istraživanje će biti temeljeno na karakterizaciji cjelokupnog procesa reprodukcije rasterskih elemenata (rastriranje, izrada ploče i tisak) što predstavlja kompleksan sustav gdje do izražaja dolaze određene karakteristike, ne samo tiskovnog procesa, nego i karakteristike tiskarske ploče, bojila i tiskovne podloge te sve karakteristike njihove međusobne interakcije.

Definiranjem ponovljivih i točnih parametara, unutar procesa, postiže se konstantnost u kvaliteti reprodukcije što predstavlja prvi korak prema optimizaciji i ponovljivosti procesa. Takav pristup može značajno unaprijediti proizvodni proces i rezultirati povećanjem kvalitete otiska.

Cilj istraživanja je utvrditi kako oblik vrha rasterskog elementa na ploči, linijatura rastera te pritisak u tisku utječu na kvalitetu reprodukcije. Ispitivat će se vrijednosti minimalne veličine rasterskog elementa, okruglost i promjer rasterskog elementa, raspon tonova i gustoća obojenja te prirast RTV. Pri tome će se koristiti više kvantitativnih metoda te metode digitalne obrade i analize slike s ciljem ispitivanja formiranja rasterskog elementa i reprodukcije kroz tri faze procesa. Na temelju rezultata iznijeti će se prijedlozi i smjernice korištenja kvalitativnih parametara reprodukcije.

Oblik vrha rasterskog elementa može imati značajan utjecaj na kvalitetu reprodukcije. Promjena pritiska u tisku kao druga promatrana varijabla, zasigurno, ima značajni utjecaj na prirast RTV. Nadalje, može se pretpostaviti da uslijed promjene pritiska u tisku neće biti značajne razlike u okruglosti rasterskog elementa, a samim time ni okruglost rasterskog elementa neće značajnije utjecati na konačnu reprodukciju u tisku.

Za potvrdu hipoteza neophodno je realizirati eksperimentalna istraživanja rasterskih elemenata na rastriranom 1-bitnom dokumentu, na ploči i na otisku u ovisnosti o promjenama varijabilnih parametara procesa. Na temelju obrade i analize dobivenih rezultata, primjenom odgovarajućih metoda, očekuje se dobivanje kvalitativnih parametara za potvrđivanje teorijskih pretpostavki i hipoteza.

## **1.2 OČEKIVANI ZNANSTVENI DOPRINOS**

Dobivena saznanja, vrijednosti kvalitativnih parametara reprodukcije te smjernice korištenja doprinijeti će napretku znanosti, u polju grafičke tehnologije, u području fleksotiska. Znanstveni doprinos ovoga rada temelji se na:

- potpunoj komparativnoj analizi rasterske reprodukcije, nastale primjenom različitih oblika vrha rasterskog elementa na fotopolimernim pločama te optimizacija proizvodnog procesa i ukupno povećanje kvalitete konačnog grafičkog proizvoda
- definiranju kvalitativnih parametara reprodukcije na predotisnutoj tiskovnoj podlozi koji se mogu dosljedno i ponovljivo primijeniti u fleksotisku.



## 2. TEORETSKI DIO

### 2.1 FLEKSOTISAK

Fleksotisak ili fleksografija (koristi se i skraćeni naziv flekso) je tehnika visokog tiska. Termin „fleksografija“ prvi puta se spominje početkom 1952. godine, a do tada je bio znan kao anilinski tisak [10]. Naziv je dolazio od vrste bojila koja su se koristila za tisak – anilinskih bojila. Za razliku od ostalih tehnika visokog tiska, fleksotisak zahtjeva nisku viskoznost bojila te mali pritisak između tiskovne forme i tiskovne podloge.

Fleksotisak je brzorastući tiskarski proces koji ima široku primjenu u izradi ambalaže. Proizvodi kvalitetnu grafiku na premazanim i nepremazanim papirima i kartonima te na fleksibilnim folijama. Troškovi pokretanja proizvodnje su nešto veći nego u ofsetnom tisku, međutim, napredak u izradi i primjeni bojila, tiskarskih strojeva, digitalnih ploča i rukavaca smanjuje vrijeme pripreme, a povećava kvalitetu tiska.

Fleksotisak je tehnika tiska koja koristi savitljive ploče sa uzdignutim tiskovnim elementima s direktnim principom tiska na podlogu. Savitljive ploče su uglavnom izrađene od gume ili fotoosjetljivih polimera. Fleksotiskarska ploča se vrlo često naziva i kliše (franc. clisher = otisnuti), pogotovo u fleksografskoj struci. Fleksotisak je vrlo osjetljiva tehnika tiska, a tiskovna forma lako se prilagođava svim tiskovnim podlogama. Upravo radi svoje podatnosti i mekoće, ploča pod utjecajem tlaka i bojila niske viskoznosti može proizvesti ekstremno velik prirast rastertonske vrijednosti. Grafička priprema mora se mijenjati u ovisnosti o vrsti tiskovne podloge, vrsti fotopolimernih materijala, linijaturi rastriranja i volumenu anilox valjka jer njihov odabir različito utječe na konačnu reprodukciju. Upravo je tiskovna forma ta koja daje određene prednosti fleksotisku. Zahvaljujući elastičnim tiskovnim elementima ovom tehnikom tiska moguće je tiskati na najrazličitijim upojnim i neupojnim tiskovnim podlogama, kao što su: tanki filmovi, fleksibilne i čvrste folije, gotovo svi papiri, kartoni različitih debljina i gramatura, pakirni materijali hrapave površine i sl. [11].

Bojila su niske viskoznosti na bazi otapala ili vode pa sve do danas najprimjenjivanijih UV bojila. Bojilo se dostavlja aniloks valjku bilo pomoću komornog sustava ili pomoću gumenog valjka, a dozira se pomoću odstranjivača viška bojila (rakela) te prenosi na tiskarsku ploču. Graviranje aniloks valjka osigurava dosljednu količinu bojila koja se prenosi na ploču. Tiskovni elementi na ploči su uzdignuti te dolaze u kontakt sa tiskovnom podlogom posredstvom tiskovnog cilindra i vrši se otiskivanje (direktni način otiskivanja). Uobičajena

su tri sustava fleksotiskarskih strojeva: sustav tiskarskih tornjeva (engl. stack), redni sustav (engl. inline) i sustav središnjeg otiskivanja (engl. central impression, CI press).

Sustav tiskarskih tornjeva može imati od jedne do osam tiskovnih jedinica koje su smještene jedna iznad druge, a traka se može tiskati obostrano. Često se nalaze u liniji sa drugim prerađivačkim operacijama uključujući ekstruziju polimera (npr. polietilena), laminiranje, rotacijsko i plošno štancanje. Redni sustav može imati do dvanaest tiskovnih jedinica postavljenih horizontalno u liniju. Često se koristi za tisak na debele tiskovne podloge kao što su kartoni i valoviti kartoni. Može se tiskati obostrano uz pomoć preokretnog uređaja. Sustav središnjeg otiskivanja ograničen je na jednostrani tisak, a može imati od četiri do osam tiskovnih jedinica koje su smještene okolo jednog tiskovnog cilindra velikog a. Ovaj sustav može postići fini registar, a idealan je za tisak tankih rastezljivih folija kod velikih brzina tiska. Priprema na stroju zahtjeva više vremena zbog nepristupačnosti tiskovnih jedinica.

Fleksotiskarski proces omogućuje visoku kvalitetu grafičke reprodukcije, gotovo fotografsku. Prilikom tiska, moraju postojati ciljne vrijednosti i tolerancije za cjelokupni proces, uključujući sastav i viskoznost bojila, debljinu ploče i konzistentnost rasterskog elementa, samoljepivu montažnu traku te uvjete tiska (postavke pritiska i brzine tiska) za dosljedno postizanje ciljeva proizvodnje. [12]

Fleksotisak se prema vrsti i karakteristikama grafičkog proizvoda koji se izrađuje, može podijeliti u tri osnovne grupe:

- Tisak ambalaže
- Etiketni tisak
- Tisak valovitog kartona

### **2.1.1 Trendovi razvoja fleksotiska**

Značajni napredak u fleksotisku postignut je na nekoliko područja. Keramički aniloks valjci zamijenili su kromirane valjke jer nude dosljedniji prijenos bojila na tiskarsku ploču. Poboljšani su sustavi za obojenje zajedno sa odstranjivačem viška bojila. Primjenjuju se bojila koja suše pomoću energije zračenja koja omogućuju veću gustoću obojenja i manji prirast u tisku. Nadalje, poboljšana je kontrola napetosti trake i sam sustav za otiskivanje na stroju, a ujedno i povećan broj boja koje se mogu otisnuti u jednom prolazu trake materijala. Također su poboljšane karakteristike polimera za ploče koje omogućuju bolji prijenos bojila.

Omogućena je kompjuterska izrada (CtP) polimernih ploča i „sleeve“ tiskovnih formi (engl. Computer to Sleeve – CtS). Povećane su brzine tiska (od 300 m/min i više) i broj otisaka koji se može izraditi sa istom pločom, čak do nekoliko milijuna otisaka [13].

Ovo povećanje kvalitete omogućilo je i podizanje gornje granice korištene linijature rastera. Trenutno je linijatura od 150 lpi uobičajena pojava, a koriste se linijature od 200 lpi ili više, zahvaljujući aniloks valjcima sa linijaturama od 1000–1200 cpi. Keramički aniloks valjci proizvedeni pomoću laserske tehnologije mogu vrlo lako postići ove visoke linijature. Relativno malena, plitka čašica keramičkog valjka, kao rezultat visoke linijature graviranja, omogućuje općenito prihvaćen 4:1 odnos linijature aniloks valjka prema linijaturi ploče. Lasersko graviranje aniloks valjka stvara čašice koje lakše otpuštaju bojilo u odnosu na starije metode graviranja te tako pruža prednost u dobivanju željene gustoće obojenja.

Fleksotiskarski proces omogućuje promjenjivu „dužinu ponavljanja“ u tisku promjenom veličine temeljnog cilindra koji je nositelj tiskovne forme. Na taj način se omogućuje potpuna iskoristivost trake materijala, odabirom odgovarajućeg promjera cilindra, obzirom na veličinu proizvoda koji se izrađuje. Pri tome, svakako, potrebno je promijeniti položaj aniloks valjka prema tiskarskoj ploči, odnosno temeljnom cilindru. Ovakva podešavanja fleksotiskarskih strojeva omogućuju optimizaciju proizvodnje za specifične proizvode i čine fleksotisak konkurentnim prema ofsetnom tisku u mnogim sferama tržišta [14].

Još u ne tako dalekoj prošlosti, dizajn ambalaže bio je limitiran tehnikom fleksotiska. Stoga su dizajneri bili primorani izbjegavati slike sa puno detalja, sjena, realnih tonova i zahtjevnijih boja. Razvojem fleksotiskarske industrije i primjenom naprednih tehnoloških rješenja povećava se funkcionalnost i pouzdanost u tisku ambalaže, pružajući dizajnerima potpunu slobodu u radu sa bojama i implementiranjem foto–realističnih slika.

### **2.1.2 Parametri koje utječu na reprodukciju**

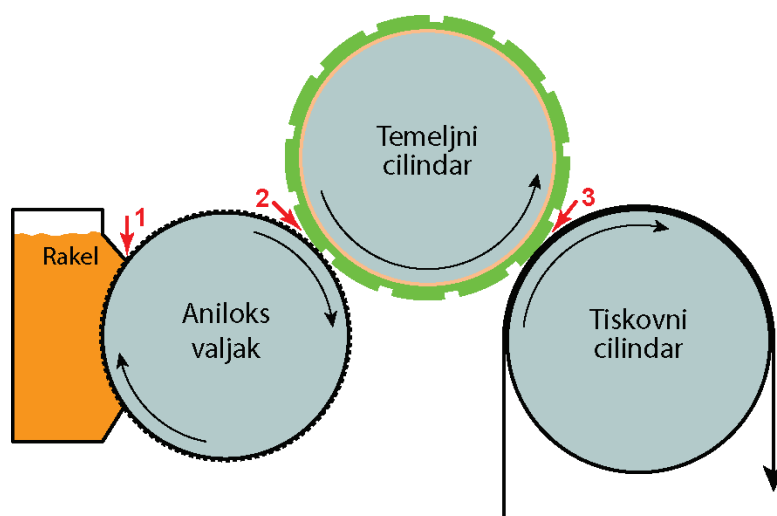
Cjelokupni proces fleksotiska sastoji se od velikog broja parametara koje je potrebno savladati i standardizirati za pojedine proizvodne situacije. Pojedini parametri utječu, više ili manje, na kvalitetu konačnog tiskanog proizvoda, a neki od njih su prikazani u tablici 2.1. Grafička priprema, izrada tiskovnih formi, tisak i materijali koji se koriste u procesu, moraju se međusobno uskladiti tako da ne nastaju faktori koji se međusobno isključuju, već se zajednički nadopunjuju u jedinstveni radni postupak. Cilj je kroz standardizaciju svih faza tehnoloških procesa ostvariti vrhunski fleksotisak.

**Tablica 2.1** Neki parametri koji utječu na prijenos bojila u fleksotisku podijeljeni prema logičkim skupinama

Priprema za tisak	Tiskovna podloga	Bojilo	Tiskovni proces
<ul style="list-style-type: none"> <li>Izrada 1-bitnog TIFF dokumenta rastriranjem (razlučivost, linijatura)</li> <li>Algoritmi prijenosa tonskih vrijednosti</li> <li>Tehnologija izrade fleksotiskarske ploče</li> <li>Svojstva flekso tiskarske ploče (materijal, tvrdoća, debljina, dubina reljefa)</li> <li>Proces izrade ploče (osvjetljavanje, obrada)</li> <li>Montažna traka (vrsta, debljina, tvrdoća)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Predobrada površine (koronom, plazmom)</li> <li>Vrsta i svojstva tiskovne podloge</li> <li>Svojstva površinske obradenosti (poroznost, površinska energija)</li> <li>Opacitet -neprozirnost, boja podloge</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vrsta bojila (na bazi vode, otapala ili UV bojila)</li> <li>Viskoznost</li> <li>Elastičnost</li> <li>Površinska napetost</li> <li>Prihvatanje bojila</li> <li>Kolorimetrijska svojstva (pigmentacija, opacitet)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sustav za obojenje</li> <li>Anilox valjak (vrsta, geometrija čašica, linijatura, volumen)</li> <li>Odstranjivač viška bojila - rakel (vrsta, debljina, kut, pritisak)</li> <li>Raspored boja u tisku</li> <li>Brzina tiska</li> <li>Tiskovni cilindar (materijal, pritisak,)</li> <li>Atmosferski uvjeti tiska (temperatura, vlaga)</li> <li>Svojstva trake materijala (transport, napetost)</li> <li>Tiskarski stroj (vrsta, svojstva, točnost)</li> <li>Način sušenja</li> <li>Sustav za hlađenje</li> </ul>

Pritisak u tisku je parametar koja značajno utječe na prijenos bojila, a ujedno će biti i predmet izučavanja u ovom istraživanju. Pritisak se može mijenjati na tri mjesta sustava za obojenje tiskarskog stroja kao što je prikazano na slici 2.1:

- Pritisak između odstranjivača viška bojila (rakela) i aniloks valjka (1)
- Pritisak između aniloks valjka i tiskarske ploče (2)
- Pritisak između tiskarske ploče i tiskovnog cilindra (3)



**Slika 2.1** Mjesta za podešavanje pritiska kod sustava za obojenje

Promjena pritiska između odstranjivača viška bojila (rakela) i aniloks valjka ima značajni utjecaj na prijenos bojila. Kako se povećava pritisak na aniloks valjak, povećava se opterećenje na oštricu odstranjivača. To uzrokuje veći otklon kuta oštrice od predviđenog. Ova promjena će smanjiti učinkovitost odstranjivača viška bojila omogućujući time prolaz više bojila. Kod komornog sustava za obojenje djelovanje pritiska je drugačije s obzirom na negativan kut oštrice u odnosu na smjer vrtnje aniloks valjka.

Promjena pritiska između aniloks valjka i tiskarske ploče rezultira neznatnom promjenom gustoće obojenja i to na način da se povećanjem pritiska, gustoća obojenja smanjuje. To je u skladu sa preporukom fleksotiskarske industrije da se pritisak na tom mjestu mora svesti na minimum. Značajno najveći utjecaj na prirast RTV u tisku ima povećanje pritiska između tiskarske ploče i tiskovnog cilindra. Ova činjenica je općenito prihvaćena i potvrđena u objavljenim istraživanjima [15]. Rezultati pokazuju da postoji granica od koje povećanje pritiska ne rezultira povećanjem prirasta RTV.

### **2.1.3 Proces standardizacije fleksotiska**

Fleksotiskarski proces se nastavlja razvijati s novim tehnologijama izrade fotopolimernih ploča, primjenom naprednih grafičkih softvera, tanjih filmova bojila i automatiziranih tiskarskih strojeva. Ovakav razvoj cjelokupnog procesa omogućava veću mogućnost standardizacije. Strože tolerancije parametara kvalitete tiska, ali i potrošnog materijala, smanjile su prostor za kreiranje gornje i donje granice kvalitete čime je fleksotisk postao konkurentan ostalim tehnikama tiska. Prema tome najvažniji dio radnog tijeka fleksotiska je proces upravljanja bojom, odnosno, sposobnost dobivanja predvidljivog i ponovljivog otiska što povećava učinkovitost.

U mnogim slučajevima cijena bojila je otprilike 4–6%, a tiskovne podloge 60–70% ukupnih troškova proizvodnje. Loše upravljanje bojama, uključujući i odabir vrste bojila, premali izbor aniloks valjaka ili nedostatak znanja kako pravilno riješiti probleme, vrlo su česti uzroci stvaranja otpada najskupljeg potrošnog materijala, a to je materijal za tisak.

Aniloks valjak je primarni alat u fleksotiskarskom procesu. To je valjak koji treba dostaviti potrebnu debljinu filma bojila, određene viskoznosti. Gustoća obojenja izravno je povezana sa volumenom aniloks valjka. Pravilni odabir aniloks valjka omogućava postizanje ciljane vrijednosti gustoće obojenja punog tona (engl. Solid Ink Density – SID) te dozvoljenih odstupanja razlike u boji  $\Delta E^*$ , kako bi se dobio dosljedan i ponovljiv otisak.

Postavljanje graničnih odstupanja vrlo je jednostavno. Na primjer, ako se zna da je ciljane vrijednost gustoće obojenja procesne žute boje 1,0, a prihvatljivo odstupanje  $\pm 0,05$ , može se zaključiti da je prihvatljiva gustoća obojenja od 0,95 do 1,05. Nadalje, potrebno je utvrditi koji volumen aniloks valjka zadovoljava najvišu granicu gustoće obojenja. Najviša granica je prihvatljiva iz razloga jer ostavlja prostor za trošenje i manje zapunjavanje aniloks valjka. Na primjer, ako 1,8 BCM aniloks valjak daje gustoću obojenja 0,95, može se predvidjeti da će novi 2,0 BCM aniloks valjak, koji daje gustoću obojenja 1,05, nakon određenog vremena primjene (kada će prenositi 1,8 BCM) i dalje davati rezultate unutar granica tolerancije. Ovaj proces se može primijeniti i na posebne boje. U nekim slučajevima utvrđeno je da promjena od 0,5 BCM u volumenu aniloks valjka korespondira kolorimetrijskoj razlici ( $\Delta E^*$ ) od 1. [16]

Sa standardizacijom linijature i volumena te periodičnim čišćenjem, aniloks valjak će uvijek biti dosljedan i ponovljiv. Sve to će dovesti do smanjenja otpada, skraćivanja vremena pripreme te pravilnog upravljanja procesom.

Najčešći i najefikasniji način usklađivanja tiska prema ciljanim vrijednostima važećeg ISO 12647-6 standarda je tisak testnih formi pomoću trakastog aniloks valjka (engl. banded roll) ili pomoću pojedinačnih aniloks valjaka istih linijatura, ali različitih volumena (npr. 3BCM, 3,5BCM i 4BCM) na različite tiskovne podloge. Trakasti aniloks valjak je testni valjak podijeljen na više traka po njegovoj širini. Svaka traka gravirana je sa određenom specifikacijom, tj. različitim odnosom linijature i volumena (CPI/BCM) pa čak i s različitim uzorkom graviranja. Rezultati mjerenja otiska testne forme ukazuju na optimalnu linijaturu i volumen aniloks valjka prema ciljanoj gustoći obojenja, smanjujući pritom prirast RTV. Mnoge tiskare postavljaju svoje vlastite standarde tako da odaberu, na primjer, pet različitih linijatura uz pet različitih volumena aniloks valjka i pomoću njih okarakteriziraju pojedini tiskovni proces. Tada rezultat mora biti dosljedan i ponovljiv bez obzira tko je operater na stroju ili koji se tiskarski stroj koristi. Najbolji način za postizanje prihvatljivog usklađivanja boja je izrada probnog otiska prije tiska naklade. [17]

#### **2.1.4 Višebojna reprodukcija**

Fleksotiskarski strojevi su predviđeni za izradu višebojne reprodukcije. Sve su češće instalacije sustava sa šest ili osam tiskovnih jedinica. Za određene specifične primjene, čak se dvanaest boja može otisnuti u jednom prolazu na fleksotiskarskom stroju. Sa perspektive dizajna ove mogućnosti znače puno više prostora za kreativnost i primjenu atraktivnih boja. Kombinacija četiri procesne boje i posebnih boja, kombinacija više posebnih boja ili procesni

Hi-Fi tisak (engl. high fidelity) dopušta dizajnerima veću kreativnu slobodu pri oblikovanju grafičkih proizvoda za fleksotisak. Važno je napomenuti da kod tiska prozirnih materijala treba jednu tiskovnu jedinicu osigurati za tisak pokrivne bijele boje. Bez bijele podloge, boje će izgledati plošno, bez kontrasta i transparentno. Primjena bijele boje je karakteristična za procese koji koriste providne i obojene tiskovne podloge. Za bojila u fleksotisku uobičajeno se primjenjuju netransparentni ili djelomično transparentni pigmenti. Stoga je uobičajeni raspored boja u tisku od najsvjetlije prema najtamnijoj. Kod tiska sa posebnim bojama koje se preklapaju, i tako stvaraju treću boju, može doći do neočekivanih rezultata. Raspored boja je redosljed po kojem se procesna bojila (cijan, mađenta, žuta i crna) uzastopno otiskuju u četverbojnom tiskarskom stroju [18].

### **Reverzni tisak na prozirnu tiskovnu podlogu**

Iznimka od pravila rasporeda boja u tisku, od najsvjetlije prema najtamnijoj, javlja se u slučaju reverznog ili obrnutog tiska (engl. reverse-side printing). Reverzni tisak znači otiskivanje na poledinu prozirne tiskovne podloge izrađene iz polietilena, polipropilena ili polistirena. Nakon tiska, grafika će se prikazivati obrnuto, odnosno sa prednje strane tiskovne podloge, a ne sa strane podloge gdje je otisnuto bojilo. Ova tehnika otiskivanja često se koristi za tisak ambalaže neprehrambenih proizvoda ili za primjenu gdje će druga folija biti laminirana na otisnutu foliju.

## **2.2 PRIPREMA ZA FLEKSOTISAK**

Razvojem novih tehnologija u grafičkoj pripremi za fleksotisak omogućena je izrada čvrstih tiskarskih ploča koje su dimenzionalno stabilne, izrađene u kontroliranim procesima, s ciljem ponovljive i konstantne izrade. Sa pojavom polimernih ploča sa poliesterskim nosivim slojem, koji osigurava stabilnost uz primjenu kompenzacije produljenja otiska te mogućnošću osvjetljavanja velikih površina digitalnim putem, osigurana je dosljedna i predvidljiva izrada fleksotiskarskih ploča. Razna softverska rješenja koja su primjenjiva kako kod CtF i CtP tehnologija tako i kod direktnog graviranja, omogućuju primjenu kompenzacije prirasta tonskih vrijednosti te primjenu različitih vrsta rastriranja i oblika rasterskog elementa s ciljem dobivanja otiska visoke kvalitete [19]. Danas su velikim djelom u upotrebi jednoslojne, čvrste fotopolimerne tiskarske ploče namijenjene CtP osvjetljavanju [20].

CtP tehnologija (od računala do ploče) je tehnologija koja je postala dominantna u području izrade fleksotiskarske ploče, a predstavlja postupak direktnog, kompjuterski kontroliranog

osvjetljavanja, odnosno oslikavanja tiskarske ploče koja eliminira dio procesa koji se odnosi na izradu filma (osvjetljavanje i razvijanje filma). CtP postupak izrade tiskovnih formi rezultat je upotrebe tiskarskih ploča koje su prilagođene laserskom oslikavanju, razvoju laserske tehnologije, fotopolimernim materijalima, primijenjenim postupcima obrade polimera i stolnom izdavaštvu.

## 2.2.1 Osnovni pojmovi

### Mjerni sustavi

- ppi (engl. pixel per inch): Da bi se slika mogla koristiti pomoću računala mora biti digitalizirana, što znači da će biti prikazana u obliku bitmape, čiji se osnovni element zove piksel. Razlučivost skeniranja definira se brojem piksela po inču (ppi). Ako se slika želi prikazivati samo na zaslonu monitora obično se koristi razlučivost od 72 ppi jer bi veća razlučivost značila bespotrebni gubitak memorije.
- lpi (engl. lines per inch): Broj rasterskih ćelija po inču zove se linijatura rastera. Širina rasterske ćelije se izračunava prema izrazu  $1/\text{linijatura}$ . Raster je sredstvo pomoću kojeg se višetonska slika pretvara u jednotonsku. Pravilo kaže da za kvalitetnu reprodukciju razlučivost skeniranja mora biti gotovo dvostruko veća od linijature rastera, ako je veličina otisnute slike ista kao i original. Veća razlučivost slike nije potrebna jer ne dovodi do povećanja kvalitete reprodukcije.
- dpi (engl. dots per inch): Kvaliteta reprodukcije originala ovisi o izlaznoj razlučivosti uređaja (pisača, osvjetljivača). Svaka rasterska ćelija sastoji se od određenog broja mikro točaka koje ovisi o izlaznoj razlučivosti i korištenoj linijaturi rastera.
- cpi (cells per inch): Jedna od glavnih karika prijenosa bojila u fleksotisku je aniloksal valjak čija linijatura je definirana brojem čašica po inču (cpi).

### Razlučivost i broj razina sive

Razvojem laserskih tehnologija, veličina točke razlučivosti prilikom osvjetljavanja (laserske točke) stalno se smanjivala:

- 1995: razlučivost 2100 ppi = 18  $\mu\text{m}$
- 1998: razlučivost 2540 ppi = 12  $\mu\text{m}$
- 2008: razlučivost 4000 ppi = 6  $\mu\text{m}$



Broj razina (nijansi) sive koji se obično može reproducirati pomoću rastera jednak je broju mjesta (broju mikro točaka) u rasterskoj ćeliji. Za kvalitetnu reprodukciju potrebno je barem 256 različitih nijansi za svaku boju, a to je rasterska ćelija sa 16x16 mjesta. Minimum od 256 nijansi poznat pod nazivom 8-bitna grafika (zapis sa 8 binarnih znamenki) nastao je jer ljudski vizualni sustav može razlikovati oko 200 nijansi sive. Pošto 7-bitni zapis omogućava 128 nijansi jedne boje, logično je da je kao minimum definirano upravo 256 nijansi. Nadalje, pošto ljudsko oko može „vidjeti“ 10 milijuna boja, digitalni zapis slike sa tri kanala (RGB model boja ili 24-bitna grafika) može prikazivati 16,7 milijuna boja. Da bi se izračunala veličina rasterske ćelije i broj nijansi sive koje može CtP uređaj ispisati koriste se sljedeće jednadžbe [21]:

$$\text{Veličina rasterske ćelije} = \frac{\text{ppi}}{\text{lpi}} \quad (2.1)$$

$$\text{Broj razina sive} = \left(\frac{\text{ppi}}{\text{lpi}}\right)^2 + 1 \quad (2.2)$$

gdje je:

ppi – izlazna razlučivost CtP uređaja definirana brojem piksela po inču

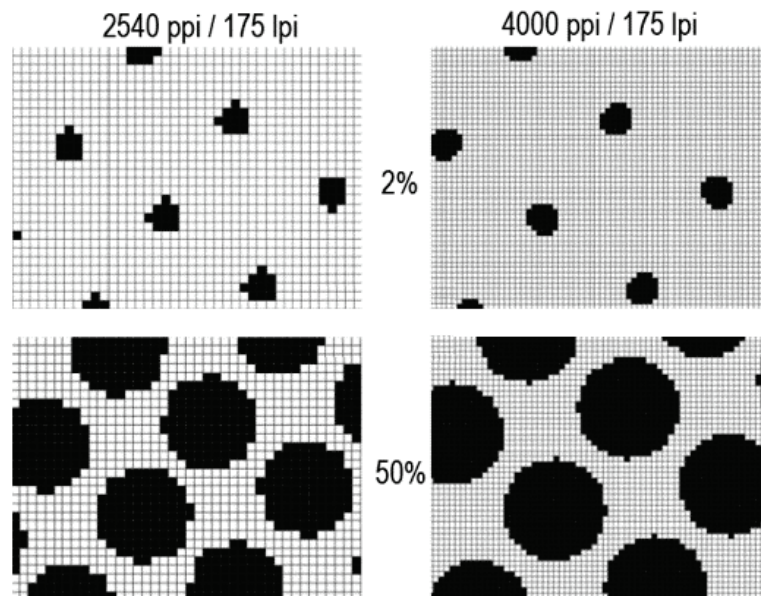
lpi – linijatura rastera definirana brojem linija po inču

**Tablica 2.2** Broj nijansi sive na osnovu različitih kombinacija izlazne razlučivosti i linijature rastera

	2400 ppi	2540 ppi	4000 ppi
150 lpi (60 l/cm)	256	287	711
175 lpi (70 l/cm)	188	211	522
200 lpi (80 l/cm)	144	161	400
250 lpi (100 l/cm)	92	103	256

Tablica 2.2 prikazuje broj nijansi sive koji može biti reproduciran na osnovu tri najčešće izlazne razlučivosti CtP uređaja i četiri linijature rastera. Crveno su označene kombinacije koje rezultiraju manjim brojem nijansi od predviđenog minimuma. Samo razlučivost od 4000 ppi može reproducirati potpuni kontrast na slici. Kod postavki osvjetljavanja 2400 ppi/150 lpi te 4000 ppi/250 lpi broj reproduciranih nijansi ima graničnu vrijednost.

Da bi se povećao broj nijansi sive potrebno je povećati broj točaka razlučivosti u rasterskoj ćeliji. To znači ili povećanje ćelije (ujedno i smanjenje linijature rastera) ili povećanje izlazne razlučivosti, ukoliko osvjetljivač nudi takvu mogućnost. Međutim, postoji puno sofisticiranije rješenje koje značajno ne narušava kvalitetu reprodukcije. Da bi se simulirale nijanse sive koje nedostaju koriste se inteligentni algoritmi miješanja elemenata već postojećih nijansi, (engl. dithering) što se može uočiti na slici 2.2.



*Slika 2.2 Usporedba rastriranja sa razlučivosti od 2540 ppi i 4000 ppi*

Rasterski elementi u svijetlim tonovima koji su izrađeni od samo nekoliko piksela bit će jako nazubljeni. Kod nekih procesa izrade flekso ploče takav nazubljeni oblik se prenosi na polimernu ploču. Nazubljeni kutovi su slabe točke rasterskog elementa i mogu nakupljati bojilo. Prema tome, okruglost rasterskog elementa ima utjecaj na kvalitetu reprodukcije. Rasterski elementi imaju bolje definirani rub (oštriji rub) ako su kreirani sa većom razlučivosti osvjetljavanja ili sa manjom linijaturom rastera [22].

## 2.2.2 Napredne tehnologije u pripremi za fleksotisak

### Povećanje gustoće obojenja punih tonova

Razvojem fleksotiska povećava se i linijatura graviranja aniloks valjka što znači smanjenje ukupnog volumena čašica. Utvrđeno je da je optimalna dubina čašice 23–33% ukupne širine otvora čašice. Prema tome, ne može se izraditi čašica velike dubine i očekivati otpuštanje sveukupne količine bojila u njoj. Manji volumen čašica znači tanji film bojila prenesen na

ploču, što utječe na gustoću obojenja punih tonova. Pitanje je što se može učiniti kako bi se povećala gustoća obojenja punih tonova, unatoč smanjenju volumena. Još prije nekoliko godina prvenstveno se koristila metoda razdvajanja boje na dvije separacije, odnosno primjena dvije polimerne ploče. Jedna ploča se koristila za tisak punih tonova pomoću aniloks valjka niske linijature (velikog volumena), a druga za tisak rastera, tankih linija i sitnog teksta pomoću aniloks valjka visoke linijature (malog volumena). Danas se primjenjuju nove strategije za povećanje gustoće obojenja punih tonova.

### **Pigmentacija bojila**

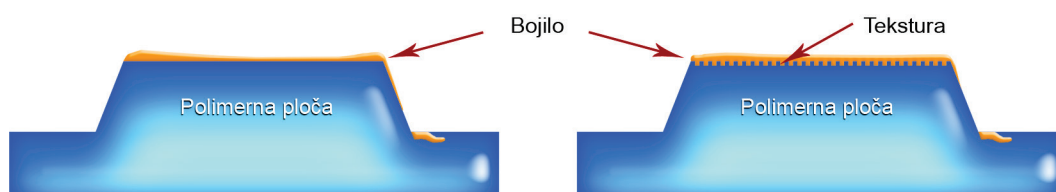
Korištenje visoko pigmentiranih bojila, kao i ravnomjernost filma bojila, presudno je za postizanje visoke gustoće obojenja. Pigmentacija bojila se povećava dodavanjem krutih obojenih tvari, odnosno pigmentata. Povećanje pigmentacije mijenja svojstva bojila, osobito viskoznost. Kada se viskoznost prekomjerno poveća može doći do premalog preuzimanja bojila od strane aniloks valjka, pogotovo kod velikih brzina. Većina dobavljača nude visoko pigmentirana bojila na bazi vode i otapala. Bojila koja suše pomoću energije zračenja (UV i EB bojila) iznimno su popularna u fleksotisku i nude niz prednosti. UV bojila (engl. UltraViolet – ultra ljubičasta) i EB bojila (engl. Electron Beam – snop elektrona) dobro se prihvaćaju na tiskovnu podlogu i ekološki su prihvatljiva. Ova bojila postižu puno veću gustoću obojenja od konvencionalnih bojila jer cjelokupni film bojila ostaje na tiskovnoj podlozi nakon stvrdnjavanja.

### **Ravnomjerno prekrivanje površine bojilom**

Površina tipične polimerne ploče je vrlo glatka. Bojilo nanoseno na takvu površinu ne može održati ujednačenu debljinu nanosa, odnosno nije ravnomjerno raspodijeljeno. Površinska energija ploče sprečava ravnomjerno obojenje pa se dovodi u pitanje konzistencija bojila i gustoća obojenja, prvenstveno u punim tonovima. Da bi se osigurala jednakomjerna pokrivenost bojilom pojačava se pritisak u tisku između ploče i tiskovne podloge. Taj postupak dodatno istiskuje bojilo što rezultira neujednačenim prijenosom bojila i neravnomjernim prirastom. Na polimernim pločama s hrapavom površinom poboljšana je i gustoća obojenja. Gumene ploče su grublje površine nego polimerne i obično ostvaruju bolji prijenos bojila. Međutim, primjena tehnologija sa gumenim pločama se značajno smanjuje pa se postavlja pitanje kako sa polimernom pločom postići prijenos bojila kao kod gume.

Jedno od rješenja je smanjiti glatkoću površine ploče tako da budu učinkovitije u prenošenju bojila. Napredne tehnologije rješavaju to tako da na površini ploče stvaraju tanki sloj mat teksture koja je izrazito pogodna za stvaranje ravnomjernog filma bojila. Ova tehnologija je dostupna za CtF (engl. Computer to Film) i CtP (engl. Computer to Plate) sustave te je značajno skuplja od tradicionalnih polimernih ploča.

Polimerna ploča glatke površine ima neujednačen nanos bojila s tendencijom skupljanja bojila na rubovima, dok polimerna ploča s rastriranom površinom pridonosi ravnomjernijem nanosu bojila, a sama tekstura je nevidljiva, slika 2.3.



*Slika 2.3 Ponašanje bojila na površini polimerne ploče sa teksturom i bez nje*

### **Rastriranje punih tonova**

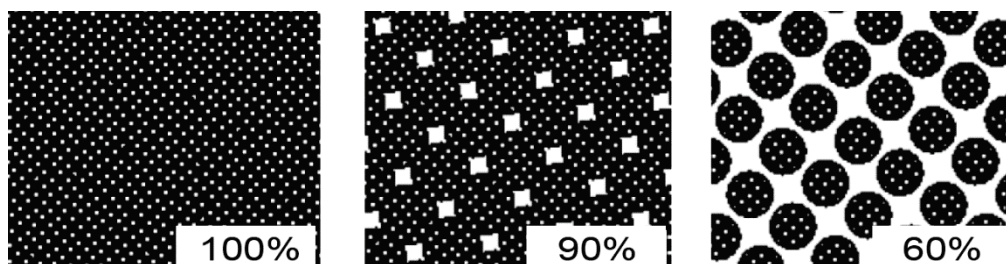
Jedan od najjednostavnijih načina kako povećati gustoću obojenja punih tonova je njihovo rastriranje. Gustoća obojenja punog tona može biti poboljšana ako se njegova vrijednost zamjeni s 95–97% RTV. Ova metoda se pokazala učinkovitom, a u nekim slučajevima puni tonovi i raster mogu biti otisnuti sa jednom pločom.

Rastriranje punih polja daje najviše koristi kod tiska na vrlo glatkim tiskovnim podlogama, poput folija ili premazanih papira. Kada se prenese na rastrirano puno polje, bojilo se okuplja na svakom rasterskom elementu i ravnomjernije se raspodijeli. Samim time više bojila se prenese na tiskovnu podlogu, a gustoća obojenja se povećava. Pošto je potreban manji pritisak u tisku smanjen je i „halo“ efekt. Nova tehnološka rješenja omogućuju rastriranje punih tonova pomoću jednog od tri komercijalno dostupnih proizvoda: Artwork Systems *Plate Cell Patterning*, Kodak *DigiCap*, ili Esko Graphics *Groovy Screens*.

#### ***Artwork Systems (Plate Cell Patterning) – EskoArtwork (Microcell)***

Sustav koji je razvijen zove se „Plate Cell Patterning“ gdje korisnik zajedno sa ostalim postavkama posla odabire tip uzorka koji će se primjenjivati za rastriranje punih tonova. Ti uzorci se razlikuju u odnosu na klasičan raster jer koriste linijaturu sličnu aniloks valjcima (400 lpi – 1000 lpi) i imaju oblik sličan čašicama aniloks valjka. Uzorak se reproducira kroz cijeli proces izrade ploče te se može povećavati ili smanjivati, ovisno o željenim rezultatima.

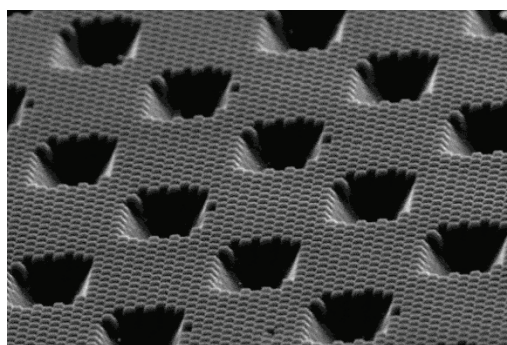
Iako je bila zamisao da se uzorak primjenjuje samo u tamnim područjima, mnogi ga korisnici koriste na globalnoj razini, slika 2.4. Još jedna korist od visoke linijature uzorka je mogućnost primjene u finim linijama i u tekstu.



*Slika 2.4 Prikaz punog tona i rastera na 1-bitnom dokumentu sa primjenom „Microcell“ uzorka*

### ***Kodak (DigiCap)***

Ova tehnologija na površini ploče stvara teksturu koja osigurava ravnomjerniji nanos bojila, a prikazana je na slici 2.5. Na taj način se simulira rastriranje svih tiskovnih površina, kroz cijeli raspon tonova, čime se smanjuju efekti premještanja bojila, površinske napetosti i viskoznosti. S jedne strane to je učinkovito, a s druge strane iziskuje puno vremena za pripremu takve tiskovne površine čime se stvaraju dodatni troškovi. Ova tekstura sastavljena je od mikro točkica, a na otisku je u potpunosti nevidljiva. [23]

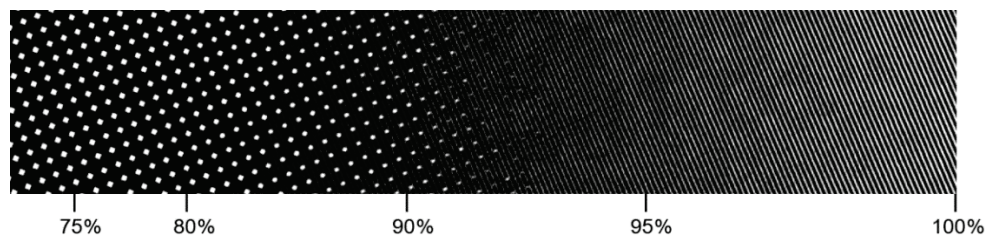


*Slika 2.5 Prikaz „DigiCap“ tekture na polimernoj ploči kod pokrivenosti površine od 70%, povećano 250 puta [5]*

### ***Esko Graphics (Groovy Screens)***

Tehnologija „Groovy Screens“ uključuje postavljanje utora u punim tonovima polimernih ploča, slika 2.6. Ova metoda rastriranja koristi teksturu s linijskim uzorkom, za razliku od ostale dvije metode. Na taj način se prekida glatkoća površine ploče, a također služi za prenošenje više bojila pomoću utora. Iako je namijenjen za pune tonove, može se koristiti do

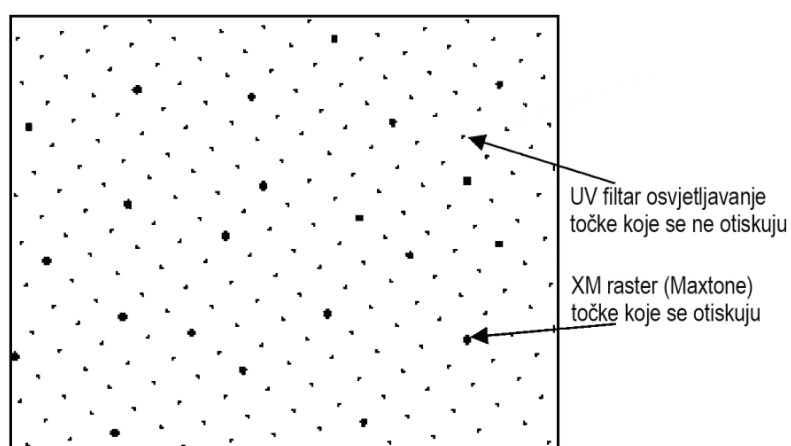
50% pokrivenosti površine. Kao i prve dvije tehnologije, omogućuje veću gustoću obojenja i veći tiskovni kontrast.



*Slika 2.6 Primjena „Groovy Screens“ tehnologije u tamnijim tonovima, prikaz rastriranog DGC dokumenta [24]*

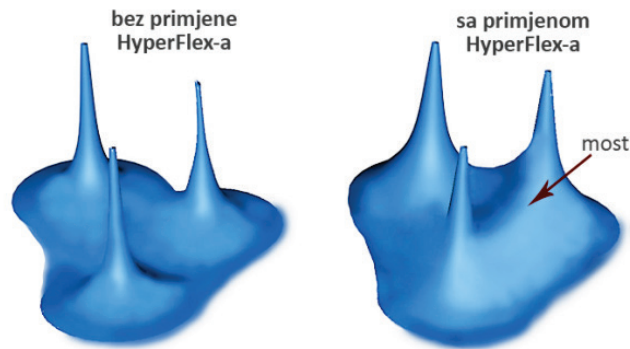
### Pojačavanje baze polimerne ploče

Mali rasterski elementi nisu dovoljno čvrsti da bi izdržali cijeli proces tiska i dolazi do njihove deformacije. To rezultira neujednačenom kvalitetom unutar jedne serije tiska. Rasterska tehnologija za pojačavanje baze polimerne ploče omogućuje manje i stabilnije rasterske elemente na pločama i u tisku, a koristi se u svrhu povećanja kvalitete XM i AM rastriranja. Bazirana na UV osvjetljavanju, proširuje mogućnost osvjetljavanja fleksne ploče, čime se postiže postojanost manjih rasterskih elemenata tijekom procesa tiska. Na taj način svijetlim tonovima se pruža mogućnost da budu vjerno reproducirani. Ovo tehnološko rješenje zove se HyperFlex i razvijeno je u tv. Kodaku. [25]



*Slika 2.7 Kodak HyperFlex rasterska tehnologija*

Osvjetljavanjem uz primjenu UV filtra (slika 2.7) stvara se podrška, odnosno pojačava se područje oko malih rasterskih elemenata na polimeru, stvarajući deblje postolje. Na ovaj način pojačavaju se i dijelovi polimera gdje nema tiskovnih površina. Stvaranjem mostova između rasterskih elemenata (slika 2.8) povećava se njihova čvrstoća.



*Slika 2.8 Izgled malih rasterskih elemenata na polimernoj ploči sa i bez primjene „HyperFlex“ tehnologije*

### **Provjera, editiranje i manipulacija 1-bitnim rasterskim datotekama**

S pojavom digitalnih polimernih ploča, kao najčešći format datoteke za izradu istih, koristi se 1-bitni TIFF rasterski zapis. Iako je taj format najjednostavniji za implementaciju u radni slijed (engl. workflow), ne dopušta nikakve promjene na njemu. Da bi se to omogućilo razvijeno je nekoliko tehnika u pripremi koje dopuštaju provjeru, editiranje i manipulaciju 1-bitnim rasterskim datotekama. [5]

### **Skaliranje rastera**

Da bi se kompenziralo razvlačenje polimernih ploča koje se javlja prilikom montiranja na temeljni cilindar, kod rastriranja primjenjuje se faktor skaliranja (distorzije). Međutim, bilo kakva promjena u debljini polimera, zbog možebitne promjene tiskarskog stroja, iziskuje ponovno rastriranje (RIP-anje). Tehnika skaliranja rastera omogućava da bilo koji faktor distorzije (deformacije) može biti primijenjen na 1-bitnu datoteku bez utjecaja na vrijednosti srednjih tonova. Za izradu ploče to znači da nema potrebe za izradom nove datoteke, već se korekcije u pogledu skaliranja rade na postojećoj.

### **Editiranje rastera**

Ako se dogodi neka pogreška unutar radnog slijeda, koja rezultira da 1-bitni raster sadrži sitne rasterske elemente ili druge grafičke elemente, isti se moraju ukloniti prije same izrade ploče. To znači da se izvorna datoteka mora korigirati i ponovno rastrirati. Za rješavanje takvih, a i drugih sličnih slučajeva, razvijeni su softveri ili dodaci već postojećim softverima koji omogućavaju korekcije na 1-bitnoj datoteci.

## 2.2.3 Rasterske tehnologije

### AM rastriranje

AM raster ili amplitudno modulirani raster (engl. Amplitude Modulated Screening) još je uvijek najraširenija metoda rastriranja [26]. Ova metoda postavlja fiksni broj rasterskih elemenata na pravokutnu mrežu. Mreža je definirana brojem linija po inču (lpi) i određuje koje finoće će biti rasterski elementi. Veličina ili amplituda rasterskog elementa modulira se prema tonским vrijednostima slike. Tamnije tonove stvaraju veći rasterski elementi, a u svjetlijim područjima rasterski elementi su manji. Za dvobojni ili četverbojni procesni tisak, raster se postavlja po kutovima, stvarajući tako uzorak rozete. Kod visokih linijatura AM rastriranje u srednjim tonovima je besprijekorno. Međutim, u svijetlim i tamnim tonovima gube se sitni rasterski elementi, a to znači da se gube detalji na slici. Rezultat je smanjena kvaliteta reprodukcije sa vidljivim efektom „posterizacije“.

Veća linijatura znači više rasterskih elemenata po inču, a to znači da su rasterski elementi manji i stoga manje vidljivi oku. Kada se linijatura poveća na 200 lpi ili više, uzorak rasterskog elementa je nevidljiv za normalnog promatrača sa uobičajene udaljenosti za čitanje, a otisnuta slika poprima fotografsku kvalitetu. Kod AM rastera veličina rasterskog elementa varira ovisno o tamnoći tona koji se reproducira, odnosno povećava se od svjetlijih prema tamnijim tonovima. Ova metoda rastriranja je provjerena tijekom dugogodišnje primjene, kako u fleksotisku tako i u drugim tehnikama tiska.

Pojedine rastrirane separacije za četiri procesne boje postavljaju se na točno određeni i fiksni kut u odnosu na prethodne tri, kako bi se izbjegao moiré efekt koji je svojstven za AM rastriranje. Rotacija jednog uzorka rastera za 30 stupnjeva, u odnosu na drugi, minimizira vidljivost moiréa, a taj minimalni moiré je upravo karakteristična rozeta koja se vidi pod povećalom. U fleksotisku postoji dodatna opasnost od stvaranja moiréa zbog kutova graviranja aniloks valjka (graviranje se izvodi pod kutovima od 30°, 45° i 60°). Stoga su kutovi rastriranja procesnih boja dodatno zarotirani za 7,5° u odnosu na kutove u ofsetnom tisku pa iznose 7,5°, 37,5°, 67,5° i 82,5° [27]. Općenito se preporuča da crna boja bude što više odmaknuta od vertikale, odnosno od 90°.

Moiré je općenito prihvaćen kao fenomen koji se pojavljuje u procesnom tisku, iako nije poželjan. Moiré efekt vrlo lako se može proizvesti ukoliko se uzmu dva skoro identična transparentna (providna) predloška sa ucrtanim paralelnim linijama i postave se jedan preko



drugog tako da uzorci budu skoro paralelni. Kada se s donje strane osvijetli mogu se primijetiti tamne pruge koje su posljedica interferencije svjetlosti i nazivaju se moiré. Mali međusobni pomaci ili rotacija predložaka jako utječu na oblik moiré uzorka.

Međutim, pošto je fleksotisak tehnika visokog tiska postoje određena ograničenja. Rasterski elementi formiraju se na relativno mekanim polimernim pločama. Kada rasterski elementi postaju vrlo mali, kao kod svijetlih tonova kod visokih linijatura, polimer od kojeg su napravljeni postaje preslab da izdrži pritiske u procesu tiska. Rasterski elementi na ploči se savijaju pa je otisak nedosljedan ili pak može puknuti, ostavljajući krhotine koje kvare druga područja slike.

Da bi se izbjegao problem sa takvim rasterskim elementima, prilikom pripreme za fleksotisak, uvijek se uspostavlja bijela točka poznatija pod nazivom minimalna veličina rasterskog elementa. Vrijednosti ispod minimalne veličine na slici su bijele, odnosno one se ne otiskuju. Minimalna veličina rasterskog elementa definira se u postocima, a za fleksotisak se obično kreće u rasponu od 3–10%, ovisno o uvjetima tiska. Sa većom linijaturom rastera bit će i veća minimalna veličina rasterskog elementa. To znači da će raspon tonova od 0% do definirane minimalne veličine biti izbačen, čime se smanjuju detalji u svijetlim tonovima. Sada se nameće pitanje kako se u konvencionalnom digitalnom fleksotisku može riješiti problem odrezanih tonova u svijetlim područjima. Jedino moguće rješenje je smanjiti linijaturu rastera, ali se u tom slučaju direktno utječe na kvalitetu reprodukcije, a rasterski elementi mogu biti vidljivi golim okom.

Vrlo važan čimbenik, koji utječe na odabir minimalne veličine, je vrsta grafičkog proizvoda koji se izrađuje, a direktno je povezan sa konfiguracijom tiskarskog stroja. Uski fleksotiskarski strojevi koji se primjenjuju za tisak etiketa imaju blaži pritisak u tisku pa se stoga mogu koristiti i manji rasterski elementi. Široki fleksotiskarski strojevi koji se primjenjuju u tisku fleksibilne ambalaže na OPP foliji imaju veći pritisak u tisku pa rasterski elementi moraju biti veći i čvršći. Tisak na valovitom kartonu, gdje je površina vrlo hrapava, zahtjeva najveći pritisak, a time i relativno najveće rasterske elemente. To znači da minimalna točka ovisi o vrsti tiska i tiskovne podloge što dodatno komplicira ionako već kompleksan proces.

Nema sumnje da ovo ima ozbiljan utjecaj na sliku ili dizajn koji se otiskuje. Dizajn ambalaže sa blagim prijelazima ili sjenama koje se gube prema nuli ne može se ispravno otisnuti. Obično ovakvi prijelazi završavaju sa oštrim rubom u vrijednosti minimalne veličine

rasterskog elementa. Kako bi se ublažio učinak minimalne veličine, slike se retuširaju, tonovi se usklađuju i mijenja se dizajn.

## **FM rastriranje**

FM raster ili frekventno modulirani raster (engl. Frequency Modulated Screening), također poznat kao stohastički raster, nadilazi mnoga ograničenja AM rastera. FM raster modulira broj ili učestalost rasterskog elementa, a ne njegovu veličinu. FM raster koristi mikro točke veličine od 10–21 μm, odnosno tako male veličine koje su održive na ploči i u tisku. Umjesto postavljanja rasterskih elemenata na mrežu, FM raster nakuplja mikro točke ovisno o tonskoj vrijednosti slike. Iako se čini da je to nakupljanje nasumično, bez ikakvog reda, ove točke su pažljivo izračunate i postavljene. Efekt nakupljanja omogućava FM metodi reprodukciju najfinijih detalja, a otisnuta slika više nalikuje na fotografiju nego na rastersku reprodukciju.

Kao glavna prednost FM rastera navodi se glatko iscrtavanje (reproduciranje) svijetlih tonova, bez naglih prijelaza. Budući da FM rastriranje ne postavlja rasterske elemente na fiksnu linijaturu, teoretski je nemoguće stvoriti moiré. To je razlog zašto se FM raster često koristi u višebojnom tisku (CMYK + n-boja) kao što je Pantone Hexachrome sa šest boja (cijan, magenta, žuta, crvena, zelena, plava i crna) i Opaltone koji korisnicima nudi sedam boja. Nekoliko proizvođača CtP uređaja i RIP sustava nude svoja rješenja za višebojne sustave kao na primjer Agfa *Alterno*, Esko *Inkswitch*, Kodak *Spotless* i Screen *Spektacolor*. Naime, teorija boja kaže da nikada ne bi trebalo miješati više od tri boje u višebojnom tisku, ali uz pravilan algoritam za odvajanje boja čak i konvencionalni tisak sa AM rastriranjem u najvećoj mjeri može smanjiti moiré efekt. [28]

Uzorak FM rastera je po izgledu vrlo sličan zrcima srebro halogenida u fotografskom filmu. Uzevši u obzir takav izgled i relativno malu veličinu rasterskog elementa rezultat je oštra slika sa puno detalja. Na taj se način iz slike visoke razlučivosti može izvući maksimalna korist.

No, svaka tehnologija ima i svoje nedostatke. Prva generacija FM rastera je imala tendenciju da stvara previše zrnati izgled, pogotovo u srednjim tonovima, gdje se teže kontrolira raspored rasterskih elemenata [29]. Na neki način, ta zrnatost je vrsta moiréa jer dolazi do interferencije između nasumično postavljenih rasterskih elemenata, tvoreći tako određeni uzorak. Kada se točke spajaju ili preklapaju, dolazi do pojave „mottle“ efekta (tiskarska neravnomjernost) što je osobito uočljivo u ravnomjernim tonovima. Sljedeći faktor koji je

trebalo riješiti je veliki optički prirast, fenomen koji je zajednički za sve visoke razlučivosti, baziran na malim rasterskim elementima.

FM raster druge generacije riješio je problem rasporeda rasterskih elemenata kako bi se izbjegla zrnatost, što je bilo obilježje prve generacije. Neki od proizvođača FM rastera druge generacije su: Fujifilm *Taffeta*, Heidelberg *Prinect Stochastic Screening*, Kodak *Staccato*, Screen *Specta* i Rampage *Segundo*. Za razliku od AM rasterskog elementa, FM rasterski element nije podoban kod povećanja nanosa bojila na tiskarskom stroju pa je teže napraviti korekciju boja i tonova. Sve u svemu, FM rasteri imaju upitnu reputaciju u nekim sektorima grafičke industrije.

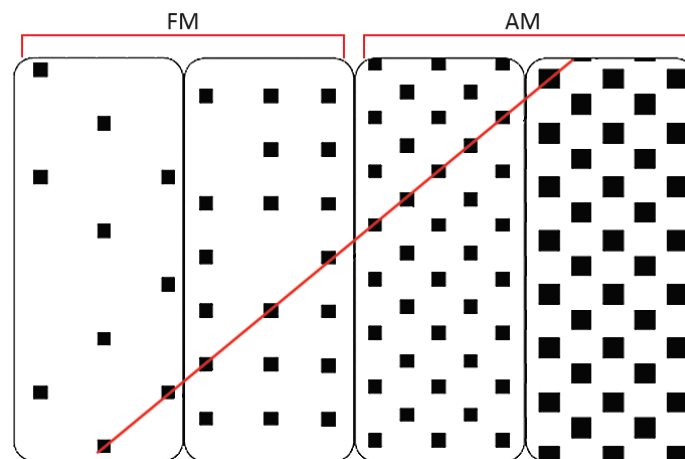
### **XM rastriranje**

Pokušavajući postići veću kvalitetu reprodukcije neke fleksotiskarske tvrtke tiskaju sa visokim linijaturama AM rastera od 175 lpi (70 l/cm) ili 210 lpi (80 l/cm). Međutim, postavlja se pitanje kako reproducirati rasterski element od 2% kod linijature 175 lpi i održati ga stabilnim za vrijeme tiska. Druge pak tvrtke ponovno razmatraju primjenu FM rastera koja je zapostavljena zbog poteškoća održavanja mikro točaka na polimernoj ploči. Tisak sa konvencionalnim rasterima kod visoke linijature ili kontrola 10–mikronske FM točke zahtijeva brojna zaobilazna rješenja, ne ispunjavajući očekivanja za postizanjem veće kvalitete i jednostavnijeg korištenja.

Jedno od mogućih rješenja upravo nudi tehnologija koja se isprva nazivala hibridna, a sada se naziva XM rasterska tehnologija. Još uvijek postoje nesuglasja oko nove klase rastriranja pa se ponekad naziva i hibridna AM tehnologija. Da bi se razumjele značajke XM rasterske tehnologije, važno je sagledati pogodnosti i prednosti koje pružaju AM i FM tehnologije rastriranja. XM rasterska tehnologija pokušava kombinirati prednosti dviju navedenih tehnologija i tako ukloniti nedostatke. Krajnji cilj je iskoristiti visoku kvalitetu i produktivnost koju pružaju CtP sustavi i omogućiti primjenu visoke linijature rastera uz minimalan napor u pripremi i u tisku.

XM rasterska tehnologija ili križno modulirano rastriranje (engl. Cross Modulated Screening) koristi FM raster u svijetlim i tamnim tonovima za stvaranje finih detalja, a AM raster u srednjim tonovima za postizanje glatkih prijelaza. Također treba postići glatki, neprimjetan prijelaz iz jednog rastera u drugi uzevši u obzir ograničenja tiskarskog stroja i produktivnost procesa.

Stoga se postavlja pitanje kako XM rasterska tehnologija rješava sve te zadatke. Za mekši prijelaz iz jednog rastera u drugi koristi se patentirana tehnologija, odnosno precizno se izračunava prijelazna točka gdje se dvije vrste rastera zamjenjuju. Na primjer, AM rasterski elementi postaju sve manji prilikom iscrtavanja svijetlih tonova, sve dok se ne postigne minimalna veličina rasterskog elementa koja se može reproducirati u tisku te se dalje više ne smanjuje. Od te točke pa na dalje rasterski elementi se ispuštaju sa mreže (engl. Take-out method) pružajući tako željeni ton kao što je prikazano na slici 2.9.



**Slika 2.9** Metoda ispuštanja rasterskih elemenata sa pravokutne mreže [30]

Jednako tako, u tamnim tonovima, raster glatko prelazi iz jednog tipa rastriranja u drugi bez vidljivog križanja. Svijetli i tamni tonovi mogu izgledati stohastičko. Međutim, to nije pravi stohastički raster. Iako FM područja koriste manje rasterske elemente kontrolirane u FM modu, oni su poravnati kao nastavak AM rastera uspostavljenog u srednjim tonovima i kao rezultat je dobivena potpuno nova skupina rastera.

Budući da su FM rasterski elementi smješteni na postavljeni kut definiran za srednje tonove, nema sjecišta tehnologija. Ravnomjerni tonovi se reproduciraju korištenjem tog istog AM kuta, bilo da se nalaze u svijetlim, srednjim ili tamnim područjima. Algoritam osvjetljavanja omekšava prijelaz iz područja prekrivenih bojom u područja bez boje. To onemogućava nagli prekid tonova poznat pod nazivom „flexo break effect“ koji je inače jasno vidljiv kod pretapanja iz jedne u drugu boju, odnosno kod vinjeta. Tako se stvara i vremenska ušteda jer nema potrebe za dodatnim krivuljama, podešavanjima boje ili ponovnoj izradi ploča.

Postoji nekoliko proizvođača koji koriste vrlo sličnu tehnologiju poput opisane, a svaka ima svoje komercijalno ime: Kodak *Maxtone*, Agfa *Sublima*, Artwork Systems *Quantum Hybrid*, Esko *Samba*, Heidelberg *Prinect Hybrid*, i Rampage *Liso*.

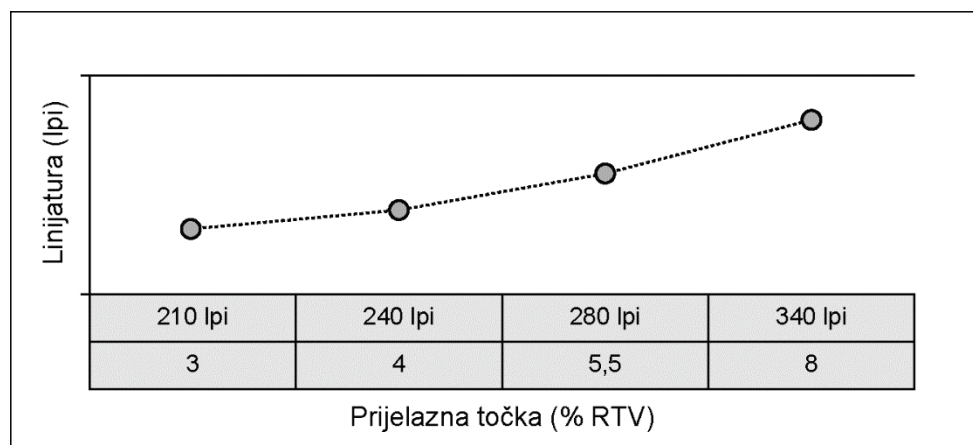
## Učinkovitost i produktivnost XM rastera u tisku

Kod linijature od 340 lpi XM tehnologija koristi razlučivost od samo 2400 dpi, a za 180 lpi može se koristiti 1270 dpi. Za komercijalnu primjenu prvo je potrebno definirati krivulju reprodukcije za pojedine linijature (210, 240, 280 i 340 lpi) kako bi se olakšala izrada grafičke pripreme. Budući da XM izgleda i ponaša se kao AM raster, operater na tiskarskom stroju može podešavati obojenje kao da koristi konvencionalni raster.

Veličina XM rasterskog elementa kod linijature od 340 lpi (135 l/cm) nije ništa manja od 2% AM rasterskog elementa kod 175 lpi (70 l/cm) zahvaljujući metodi koja definira prijelaznu točku, a u ovom slučaju ta prijelazna točka definirana je za 8% RTV. Dakle, ako tiskarski sustav ne može održati 1% ili 2% AM rastera kod 175 lpi, XM omogućuje dvostruku veću linijaturu bez dodatnih problema u tisku.

Prijelazna točka (engl. Transition point) se definira kao postotak pokrivenosti površine za određenu linijaturu rastera, a povećava se s porastom linijature. Kao što se može vidjeti na slici 2.10, ista veličina prijelazne točke od 21  $\mu\text{m}$  izmjerena je na:

- 3% kod 210 lpi,
- 4% kod 240 lpi,
- 5,5% kod 280 lpi i
- 8% kod 340 lpi.



**Slika 2.10** Prijelazna točka od 21 mikron kod nekih linijatura XM rastera

Na osnovu opisanih karakteristika AM, FM i XM rasterskih tehnologija te provedenih istraživanja [31] u tablici 2.3 prikazane su njihove prednosti i nedostaci. Sa „+“ su označene karakteristike s dobrom reprodukcijom, a sa „-“ one koje nisu tako dobre.

**Tablica 2.3** Prednosti i nedostaci AM, FM i XM rasterskih tehnologija

Karakteristika reprodukcije	AM	FM	XM
Isctavanje finih detalja	–	+	+
Glatki ravnomjerni tonovi	+	–	+
Prirast RTV	+	–	+
Moiré uzrokovan linijaturom	–	+	–*
Moiré uzrokovan motivom	–	+	+*
Višebojni tisak (cmyk + n boja)	–	+	–
Veličina naklade	+	-	+
Odrežani svijetli tonovi	–	+	+
Isctavanje srednjih tonova	+	–	+
Zatvaranje tamnih tonova	–	+	+

\*smanjuje, ali ne eliminira u potpunosti

Što je bolje: fini AM, XM ili FM? Svi su dobri, osobito u reprodukciji detalja na slici. XM i FM mogu imati istu minimalnu veličinu rasterskog elementa te mogu proizvesti vrlo oštre slike s puno detalja. XM rasteri smanjuju, ali u potpunosti ne eliminiraju moiré. Također XM rasteri dobro eliminiraju rozete. Naravno, one su još uvijek prisutne, ali su toliko male da ih se ne može vidjeti. FM rasteri imaju tendenciju da pokažu šum ili zrnatost u ravnomjernim tonovima. Imaju vrlo stabilan otisak unatoč fluktuacijama za vrijeme tiska naklade. To je za većinu operatera na tiskarskom stroju dobra stvar, međutim može postati problem ako treba podešavati obojenje na stroju, na primjer, radi usklađivanja sa probnim otiskom. AM i XM rasteri imaju tendenciju stvaranja glatkih ravnomjernih tonova, pogotovo u srednjim tonovima, ali kod visoke AM linijature u svijetlim područjima tonovi mogu biti odrezani.

Sa XM tehnologijom rastriranja danas je moguće koristiti značajno visoke linijature rastera, dajući mnogo veću kvalitetu ispisa te se ne mora brinuti o gubitku detalja i tonova u krajnjim vrijednostima.

### **DM rastriranje**

Neki ovu skupinu rastera nazivaju FM rasteri treće generacije, ali njegovi proizvođači (tvrtka Hamillroad Software) kažu da su oni puno više od toga. DM raster ili digitalno modulirani raster (engl. Digitally Modulated Screening) zove se tako jer se digitalno modulira svaki piksel koji se proizvede, a ne ponavlja se fiksni uzorak rasterskog elementa kao kod AM rastriranja ili nasumično postavlja rasterski element kao kod FM rastriranja. Stoga je potrebna

ogromna računalna snaga koja je dostupna sa suvremenim računalima. Rezultat je iznimna kvaliteta rastera koji se lako reproducira pomoću bilo kojeg CtP uređaja. Ovaj raster dobro reproducira slike s puno detalja i glatkih prijelaza, a čini se da je riješio probleme sa znatim izgledom, posebno kod ravnomjernih tonova i teksta definiranog u CMYK-u. [32]

Prilikom rastriranja analizira se svaki piksel koji se proizvede kako bi se osiguralo da nema rasterskih elemenata koji su premali za reprodukciju na ploči ili na tiskovnoj podlozi, da nema rasterskih elemenata koji su premali da se popune te da nema rasterskih elemenata koji su preveliki tako da budu vidljivi. Ova vrsta rastriranja je trenutno dostupna na Harlequin RIP sustavima, a koristi se u komercijalnom i novinskom ofsetnom tisku.

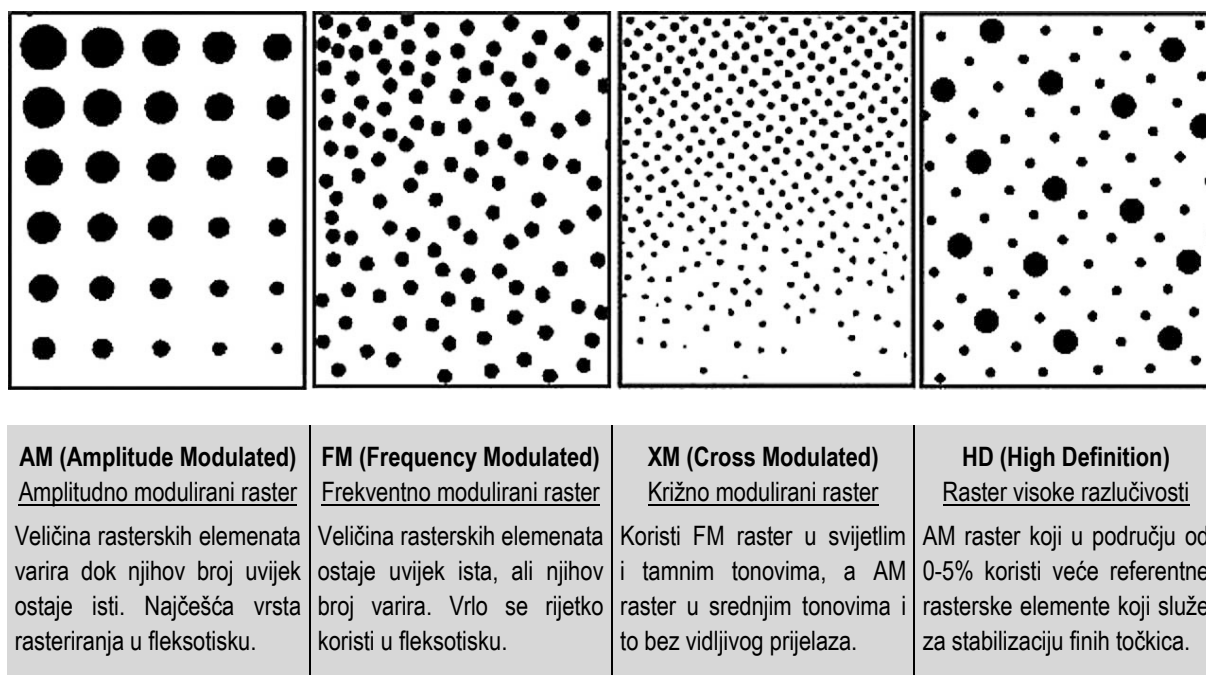
### **HD rastriranje**

HD tehnologija (engl. High Definition Flexo) rastriranja sastoji se od dvije odvojene tehnologije: optike visoke razlučivosti i naprednih vrsta rastera. Optika visoke razlučivosti primjenjuje se na CtP uređajima omogućujući finiji zapis na pločama u veličini od 4000 ppi (engl. pixel per inch). Veća razlučivost daje tri puta veći broj piksela za formiranje rasterskog elementa nego standardna digitalna tehnologija razlučivosti od 2400 ppi. Veći broj piksela znači da će rasterski element imati okrugliji oblik, biti će čvršći te se može koristiti u svijetlim tonovima bez opasnosti od deformacije. [7]

Međutim, povećanje razlučivosti ne daje očekivane rezultate, stoga se razvojem naprednih tehnologija rastera pokušava dodatno poboljšati kvaliteta reprodukcije. HD fleksotisak koristi novu tehniku rastriranja koja dodatno smanjuje bijelu točku. Primjenom HD rastera u svijetlim tonovima ne nastavlja se kontinuirano smanjenje veličine rasterskih elemenata kao kod konvencionalne AM tehnologije. Umjesto toga koristi se uravnotežena kombinacija većih i manjih rasterskih elemenata.

Veći rasterski elementi su osmišljeni da djeluju kao potpora, noseći najveći teret sila koje djeluju tijekom tiska. Manji rasterski elementi su zaštićeni od deformacija i oštećenja posredstvom njihovih velikih susjeda, tako da još uvijek mogu prenijeti malu količinu bojila i pravilno se otisnuti. Postoje tisuće kombinacija veličine i broja manjih rasterskih elemenata u odnosu na veće, ali treba odabrati pravu kombinaciju koja najbolje uravnotežuje sile koje djeluju na rasterske elemente u svijetlim područjima, uzimajući u obzir svojstva polimerne ploče i ciljanih uvjeta tiska.

Postupak kvalifikacije provodi se za svaku vrstu ploče (obično za nekoliko debljina ploča) i prema različitoj namjeni (etikete, fleksibilna ambalaža, sklopive kutije i ambalaža od valovitog kartona). Svaki HD flekso set sastoji se od četiri vrste rastera koji omogućavaju korisniku prilagodbu različitim tiskarskim strojevima i drugim uvjetima tiska. Slikovni prikaz četiri osnovne vrste rastriranja i njihove osnovne karakteristike prikazani su na slici 2.11.

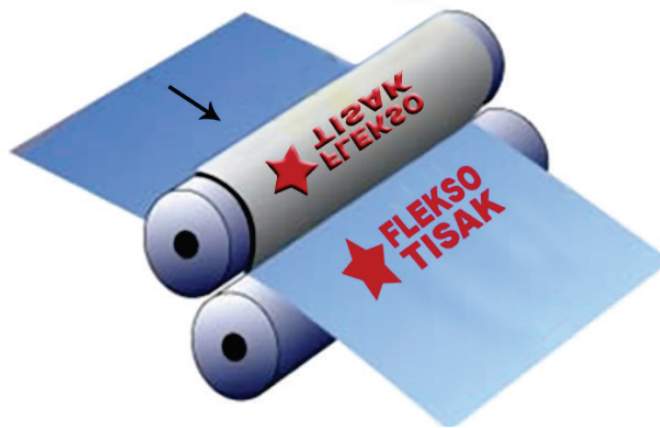


*Slika 2.11 Usporedba četiri osnovna načina rastriranja*

## 2.2.4 Distorzija polimerne ploče

Gotova polimerna ploča prenosi na podlogu identičnu, ali invertnu kopiju slike ako se ne uzme u obzir činjenica da se ploča omata oko temeljnog cilindra. Kada se montira na cilindar meki dijelovi ploče se razvlače u smjeru omatanja te se u tisku dobije izdužena slika, a taj efekt se naziva distorzija i prikazan je na slici 2.12. Ta razlika između slike na ploči i na otisku je predvidljiva te varira obzirom na cilindra i debljinu ploče. Iznos izobličenja ili faktor distorzije je postotak kojim se pomnoži dužina ploče, odnosno stranica ploče koja se montira po opsegu cilindra. Stoga je gotova polimerna ploča kraća obzirom na izvornu veličinu slike, ali će otisak biti u stvarnom omjeru. Na taj se način već prilikom izrade polimerne ploče vrši kompenzacija produljenja otiska. Ta kompenzacija obično se radi u grafičkoj pripremi prije ili u samoj fazi rastriranja. Međutim postoje softverska rješenja koja omogućavaju primjenu faktora distorzije ili skaliranja na 1-bitni dokument. Na taj način nema potrebe za ponovnim rastriranjem uslijed možebitnih promjena u tehnološkom procesu (promjena debljine polimerne ploče odnosno promjena tiskarskog stroja).





*Slika 2.12 Prikaz „efekta distorzije“ fotopolimerne ploče*

Da bi se izračunao faktor distorzije moraju se znati sve varijable koje utječu na izobličenje slike, odnosno na produljenje otiska, a to su:

- **Dužina ponavljanja:** Kada temeljni cilindar napravi jedan puni okret napravi se otisak određene dužine koji se ponavlja tokom tiska tzv. dužina ponavljanja u tisku. Na primjer ako se želi otisnuti etiketa, njezina duljina mora se prilagoditi dužini ponovljivog otiska ili se može veći broj etiketa smjestiti na tu veličinu.
- **K–faktor:** Ovaj faktor je također poznat pod nazivom faktor debljine (engl. thick) jer je povezan sa debljinom ploče i poliesterske podloge. K–faktor je konstantna vrijednost za određenu debljinu ploče i debljinu njezine podloge (npr. za debljinu ploče 1,7 mm i podloge 0,125mm) pa se još naziva i konstanta distorzije. Jednadžba za izračun K–faktora glasi:

$$K\text{-faktor} = 2 * \pi * (\text{debljina ploče} - \text{debljina poliesterske podloge}) \quad (2.3)$$

Primjer proračuna K–faktora prema navedenim podacima:

$$K\text{-faktor} = 2 * 3,14 * (1,7 - 0,125) = 9,896$$

#### **Proračun faktora distorzije na osnovu promjera cilindra i debljine ploče**

Faktor distorzije je omjer razlike tiskovnog promjera (promjer cilindra zajedno sa pločom) i dvostruke debljine mekanog dijela ploče (bez debljine tvrde podloge polimerne ploče) i tiskovnog promjera, a može se prikazati pomoću jednadžbe:

$$\text{faktor distorzije} = \frac{\text{tiskovni promjer} - 2 * \text{mekana debljina}}{\text{tiskovni promjer}} \quad (2.4)$$

Primjer:

U tisku se koristi cilindar sa ponovljivom dužinom otiska od 381 mm i ploča debljine 1,7 mm sa nosivim slojem debljine 0,125mm.

$$\text{tiskovni promjer} = \frac{381}{\pi} = 121,276\text{mm}$$

$$\text{meki dio ploče} = 1,7 - 0,125 = 1,575\text{mm}$$

$$\text{faktor distorzije} = \frac{121,276 - 2 * 1,575}{121,276} = 0,97403 = 97,403\%$$

**Proračun faktora distorzije kada je poznat faktor debljine ploče:**

$$\text{faktor distorzije} = \frac{\text{dužina otiska} - \text{faktor debljine}}{\text{dužina otiska}} \quad (2.5)$$

Prema prijašnjem primjeru znajući da faktor debljine iznosi 9,896mm može se izračunati faktor distorzije:

$$\text{faktor distorzije} = \frac{381 - 9,896}{381} = 0,97403 = 97,403\%$$

Detaljno poznavanje primjene ovih jednadžbi nije potrebno jer postoje kalkulatori koji na osnovu odabira debljine ploče i dužine ponavljanja u tisku izračunavaju sve potrebne podatke za pravilnu izradu polimerne ploče. Jedan od takvih kalkulatora prikazan je na slici 2.13, a može se preuzeti sa web stranice <http://www.cyrel.dupont.com>.

**Cyrel**  
Only by DuPont

Packaging Graphics

Distortion calculator for DuPont Cyrel® flexographic printing plate

Plate Thickness	Total Plate Thickness	1,70 mm	Repeat Length	381 mm
Cyrel® 67	Polyester Support Sheet	0,127 mm	Distortion Factor	97,402 %
	K Factor	9,8986	Distorted Repeat	371,101 mm

Instructions:  
1. Select the "Plate Thickness" you would like to use from the pull down menu.  
2. Input your "Repeat Length" (MILLIMETER) in the GREEN box.  
3. Refer the Distortion Factor in the RED box for result.

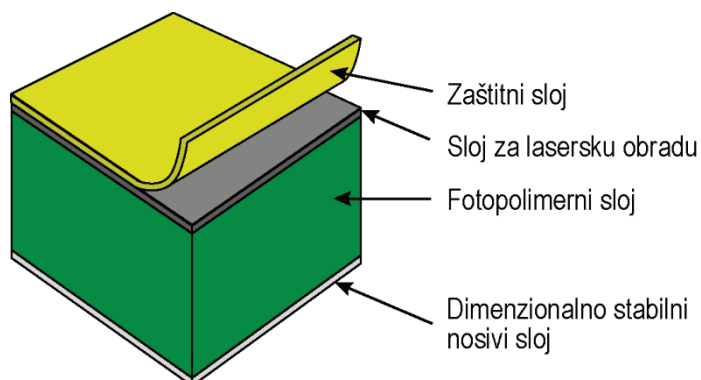
**DUPONT**  
The miracles of science™

**Slika 2.13** Izgled kalkulatora za proračun faktora distorzije sa uvrštenim vrijednostima iz navedenog primjera

## 2.3 IZRADA POLIMERNE PLOČE

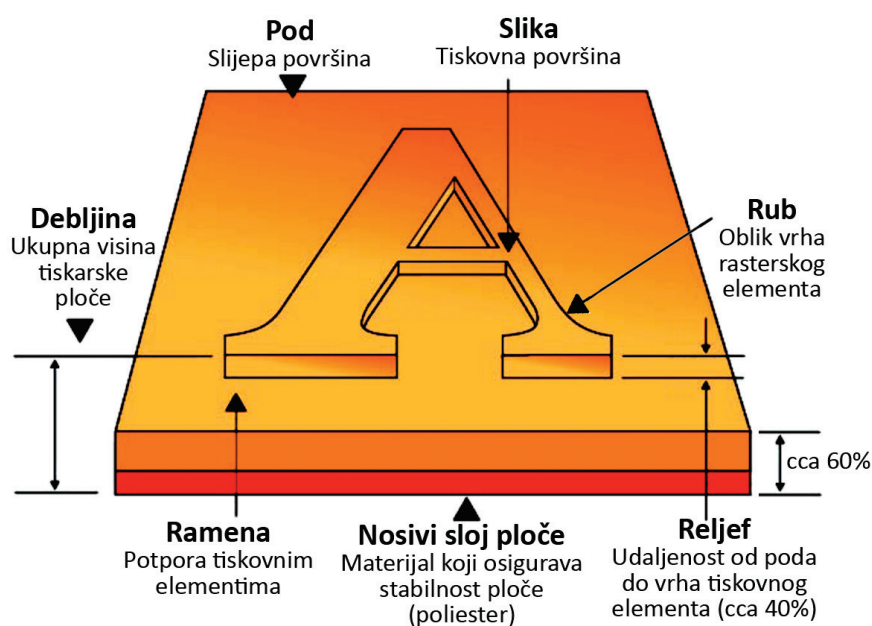
### 2.3.1 Proces izrade polimerne ploče

Uvođenjem fotopolimerne ploče u ranim sedamdesetim godinama započela je nova era kvalitete reprodukcije u fleksotisku. Prethodno korištene gumene ploče nisu dobro reproducirale glatke prijelaze, posebno u svijetlim i tamnim područjima, ali s dolaskom fotopolimera taj problem je riješen. Za reprodukciju originala na fotopolimernu ploču koristi se negativ slika rastrirane separacije boja.



*Slika 2.14* Struktura jednoslojne digitalne CtP flekso tiskarske ploče

Danas su uglavnom u upotrebi jednoslojne fotopolimerne tiskarske ploče namijenjene CtP osvjetljavanju, a njezina struktura je prikazana na slici 2.14. Sastoji se od zaštitnog sloja (zaštitna folija), zatim sloja za lasersku obradu (ablativni sloj ili crna maska), sloj fotopolimera i nosivi sloj koji čini temelj tiskarske ploče i dimenzionalno je stabilan.



*Slika 2.15* Sastavni elementi obrađene polimerne ploče [6]

Elementi koji čine gotovu obrađenu polimerna ploču prikazani su na slici 2.15, a svaki od njih ima određene karakteristike i ulogu u cjelokupnom procesu te utječe na kvalitetu reprodukcije. Osim karakteristika pojedinačnog rasterskog elementa mogu se razmatrati karakteristike tiskarske ploče poput dubine reljefa, površinske hrapavosti i kuta kvašenja.

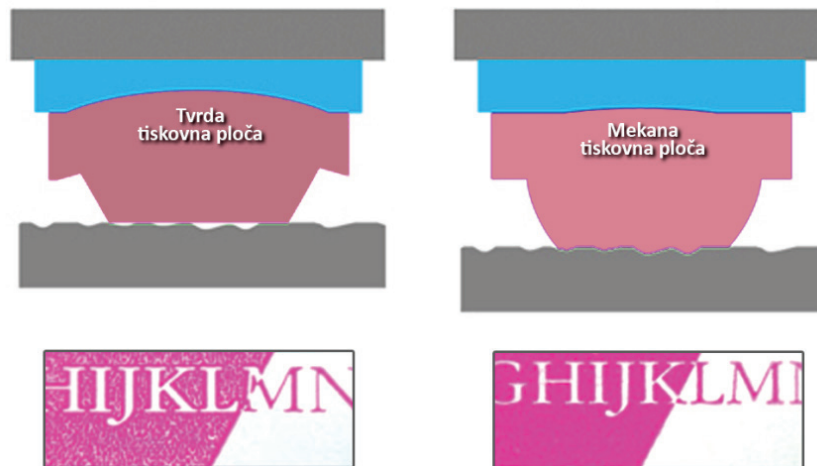
Postoje dva osnovna sustava za proizvodnju fotopolimernih ploča:

- Tekuća fotopolimerna ploča (engl. Liquid plates) – viskozna polimerna tekućina koja tehnikom lijevanja formira ploču prema željenoj debljini. Prvo se postavi negativ film slike te preko njega transparentni film. Valjak jednolično širi fotopolimernu tekućinu, a na vrh se stavlja podloga ili baza ploče koja se veže sa tekućinom. Tada se polimer od strane baze izlaže UV svjetlu što stvrdnjava polimer sa stražnje strane. Drugo izlaganje UV svjetlu je s donje strane koje stvrdnjavanjem formira tiskovne površine. Neosvijetljeni dijelovi su mekani i topljivi te se uklanjaju ispiranjem u jedinici za ispiranje, a nakon toga slijedi završno izlaganje UV svjetlu.
- Fotopolimerna ploča u arku (engl. Sheet plates) – tiskarska ploča u obliku sirovog materijala koja se koristi u konvencionalnoj ili digitalnoj tehnologiji izrade te se obrađuje standardnim solventnim postupkom, a sam postupak izrade će biti detaljnije opisan u tekstu koji slijedi. Sastoji se od tri glavna dijela: poliesterska podloga koja pruža dimenzionalnu stabilnost gotove ploče, polimerni sloj koji je stabilan u normalnim atmosferskim uvjetima i zaštitni sloj koji se lako skida i čuva ploču od mogućih oštećenja.

Karakteristike fotopolimera specificirane su sa dva mjerljiva parametra:

- Tvrdća fotopolimerne ploče – Tvrdća prema Shoreu je mjera za otpor materijala na prodiranje igle pod definiranom snagom opruge. Najčešći instrument za mjerenje tvrdoće fotopolimera zove se Shore durometar. Durometar se sastoji od mjernog dijela s preciznom oprugom i mjerne skale sa točnošću očitavanja od 0,5 jedinica tvrdoće. Ova vrsta instrumenta mjeri dubinu utiskivanja od 0 do 0,1 inča pod određenim opterećenjem što odgovara vrijednostima tvrdoće od 0–100 Shorea. Shore A se koristi za mjerenje tvrdoće kod mekih plastika i guma. [33]
- Debljina fotopolimerne ploče – Fotopolimerne ploče najčešće su dostupne u debljinama od 0,76–6,35mm. Odabrana debljina ploče ovisi o konfiguraciji tiskarskog stroja, širini role, dužini otiska i vrsti grafičkog proizvoda. Tanke polimerne ploče, debljine od 0,76–2,84mm rezervirane su za uske fleksotiskarske strojeve širine trake do 60cm. Tisak na ambalažu od valovitog kartona koristi deblju (od 2,84–6,35mm) i

relativno mekšu ploču. Odstupanje debljine tiskarske ploče u okviru jedne forme i u okviru jedne isporuke iznosi  $\pm 0,010$  do  $0,015$  mm, a između dvije isporuke  $\pm 0,025$  mm [2].



*Slika 2.16 Utjecaj tvrdoće tiskarske ploče na mehaničku deformaciju rasterskog elementa prilikom djelovanja pritiska u tisku*

Tvrdoća tiskarske ploče ima veliki utjecaj na rezultat u tisku. Dok se mekane tiskarske ploče dobro prilagođavaju strukturi površine podloge, tvrde tiskarske ploče imaju veću tendenciju stvaranja efekta praznina na otisku, slika 2.16. Međutim, kada se koriste tvrde tiskarske ploče prirast RTV je značajno manji, a rasterski element je manje stisnut.

Zahtjevi tržišta za što većom kvalitetom grafike rezultiraju postupnim prelaskom na tanje ploče. Tanja ploča daje učinkovito tvrdu površinu, a time se uvelike poboljšava kvaliteta tiska. Sa manje polimera za izlaganje i obradu, slike su oštrije, manje je bubrenje ploče, a i vrijeme ispiranja je kraće [34].

### **Postupak izrade fotopolimerne ploče solventnim postupkom**

Za eksponiranje fotopolimernih ploča koristi se ultraljubičasto zračenje (engl. ultraviolet). Ultraljubičasto zračenje, skraćeno UV zračenje, je elektromagnetsko zračenje. Naziv „ultraljubičast“ (u značenju „iza ljubičastog“) temelji se na činjenici da UV spektar započinje sa valnim duljinama koje su kraće od valnih duljina koje ljudsko oko vidi kao ljubičasto-plavu boju. Dakle, UV zrake su nevidljivo ljudskom oku se prema valnim duljinama dijeli na tri područja:

- UV-A (dugi val): 400 - 315 nm
- UV-B (srednji val): 315 - 280 nm
- UV-C (kratki val): 280 - 100 nm

**Predekspozicija** (engl. Back Exposure) – Služi za uspostavljanje debljine poda ploče (dubine reljefa) izlaganjem stražnje strane ploče UV svjetlu. Povećanjem ili smanjenjem vremena izloženosti mijenja se krajnja visina reljefa polimera, odnosno duljim izlaganjem nastaje deblji pod. Parametri koji mogu utjecati na željene rezultate su razlike u UV osjetljivosti ploča te izlaznoj energiji zračenja osobito što su UV lampe starije pa se zbog toga moraju redovito provoditi testovi kontrole dubine reljefa.

**Glavna ekspozicija** (engl. Face Exposure, Main Exposure) – Ekspozicija sa prednje strane stvara tiskovne elemente unakrsnim umrežavanjem u polimernom sloju pomoću UV-A svjetla. Slika se prenosi posredno preko negativ slike (negativ film kod analognih sustava ili karbonski sloj kod digitalnih CtP sustava) eksponiranjem u kopirnoj rami. Ekspozicija određuje karakteristike ramena rasterskog elementa koja služe kao potpora tiskovnim elementima. U slučaju prekratke glavne ekspozicije fine linije će izgledati valovito, a predugačka ekspozicija uzrokuje prirast rasterskog elementa.

**Ispiranje** (engl. Washout) – Ploča se obrađuje pomoću otapala (solventa) koji omogućuje izradu visoko kvalitetne konvencionalne i digitalne fotopolimerne ploče. Postupkom ispiranja uklanjaju se neosvijetljena područja ploče koja postaju topiva u otapalu. Ispiranje ima utjecaj na kvalitetu slike na ploči, a prekratko vrijeme ispiranja uzrokuje manju dubinu reljefa.

**Sušenje** (engl. Drying) – Sušenjem se uklanja otapalo koje se apsorbiralo u ploču prilikom ispiranja. Na pločama, prije sušenja, zbog prevelike količine apsorbiranog otapala ravne linije mogu izgledati valovito. Međutim, konačna slika je oštra. Vrijeme i temperatura sušenja moraju se kontrolirati kako bi se sušenje pravilno izvršilo. Prekomjerna temperatura može narušiti dimenzionalnu stabilnost ploče. Sušenje toplim zrakom nije dovoljno da bi se tiskarska ploča u potpunosti osušila, stoga ju je potrebno ostaviti minimalno osam sati na sobnoj temperaturi kako bi bila spremna za sljedeću fazu obrade.

**Završna obrada** (engl. Finishing) – Mehanički se uklanjaju šiljasti ostaci sa slijepih površina ploče. Moguća je i kemijska obrada ploče u kloru ili bromu nakon završne ekspozicije što povećava vrijeme skladištenja.

**Završna ekspozicija** (engl. Post Exposure) – Završna faza u izradi tiskarske ploče jest naknadno osvjetljavanje UV-A i UV-C svjetlom. Prilikom ovog procesa dolazi do potpunog stvrdnjavanja preostalog polimera koji nije stvrdnut. Povećava se čvrstoća i krutost ploče potrebna u procesu tiska, produžava se životni vijek ploče te povećava otpornost prema solventnim bojilima tijekom tiska.

### 2.3.2 Tehnologije izrade polimerne ploče

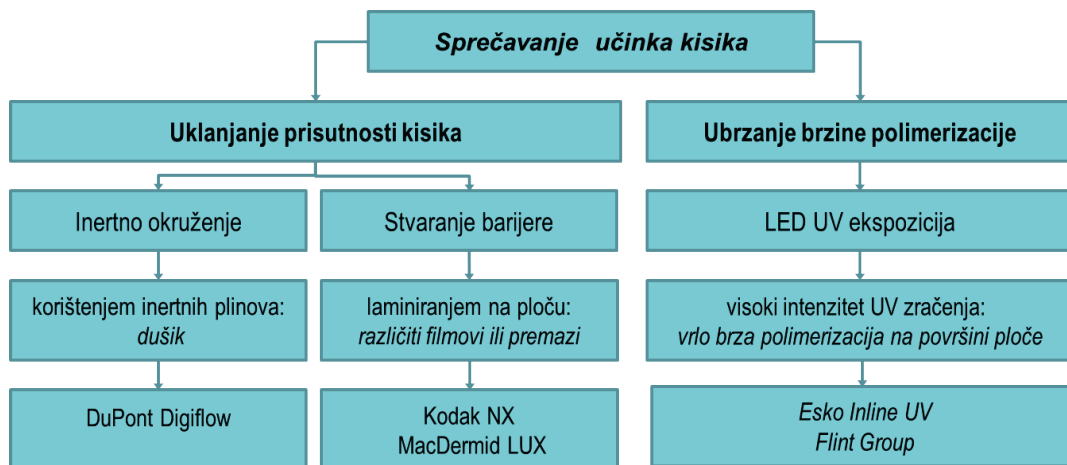
U protekla dva desetljeća u području izrade fleksotiskarske ploče zaista se može govoriti o pravoj revoluciji. Počevši od ručno izrezivane i oblikovane gumene tiskovne forme, čija je izrada bila spora, zahtjevna i neprecizna pa sve do današnjih fotopolimernih ploča koje predstavljaju standard u fleksotiskarskoj industriji.

Na početku primjene fotopolimernih ploča za njihovu izradu se koristio analogni postupak pomoću negativ filma. Međutim, već nekoliko godina nakon uvođenja digitalnih ploča, one preuzimaju značajan udio na tržištu. Do 2005. godine 20% fleksotiskara širom svijeta usvojilo je digitalni sustav osvjetljavanja tiskarskih ploča [35]. S digitalnim pločama prijenos podataka se ne odvija putem negativ filma, nego laserskim uklanjanjem crnog karbonskog sloja sa gornje strane ploče. Prisustvo kisika prilikom eksponiranja digitalnih ploča usporava polimerizaciju na rubovima eksponiranog područja. Konačno, ta se rubna područja uklanjaju postupkom ispiranja, rezultirajući tako smanjenim rasterskim elementima sa zaobljenim vrhom na završnoj polimernoj ploči. U ekstremnim slučajevima taj efekt smanjenja rasterskih elemenata na tiskarskoj ploči može dovesti do toga da se svijetli tonovi (1–10%) uopće ne reproduciraju. Ovaj problem nije postojao prilikom osvjetljavanja tiskarskih ploča konvencionalnom tehnologijom pomoću filma i primjenom vakuuma.

Dobavljači tehnologija koje stvaraju zaobljeni vrh rasterskog elementa na ploči shvatili su probleme koji se javljaju tokom reprodukcije i uvode razne dodatke na osnovne tehnologije kako bi se riješile negativne pojave te postigao što ravniji oblik vrha. Većina pak dobavljača paralelno razvija obje tehnologije dok su neki razvili sustave koji omogućuju izradu ravnog i zaobljenog vrha rasterskog elementa na ploči.

Kod većine fotoosjetljivih polimera kisik može poslužiti da se zaustavi polimerizacija prouzročene UV svjetlom. Slobodni radikali unutar polimera će reagirati s kisikom tako da usporavaju polimerizaciju na rubovima osvijetljenih područja. [36]

Ovaj efekt uvijek je prisutan u postupcima izrade polimerne ploče uz prisustvo kisika pa se postavlja pitanje kako taj efekt ukloniti ili barem smanjiti, a mogući pristupi rješavanja problema prikazani su na slici 2.17. Trenutno je ovo najvažnija tema fleksotiskarske industrije s ciljem otkrivanja mogućih novih metoda i njihovih rezultata. Jedna metoda je laminiranje negativ filma direktno na gornju stranu polimerne ploče. Druge mogućnosti su laminiranje transparentne folije na površinu digitalne ploče nakon laserskog uklanjanja karbonskog sloja ili korištenje inertnih plinova prilikom eksponiranja, npr. dušika.



**Slika 2.17** Različiti tehnološki pristup rješavanju problema sa zaobljenim vrhom rasterskog elementa

### Konvencionalni postupak izrade polimerne ploče

Konvencionalne flekso ploče se eksponiraju kroz negativ film velike optičke gustoće (preko 4,0) koji sadrži informaciju o slici. Negativ se postavlja u kontakt sa površinom gornje strane ploče i to tako da se emulzija okrene prema dolje, tzv. čitljivi negativ. Mjehurići zraka između negativa i polimera se istisnu, nakon čega slijedi UV izlaganje određene dužine trajanja ekspozicije koja djeluje kroz prozirni dio negativ filma. Ekspozicija je vrijeme koje je potrebno za izlaganje UV svjetlu.

Kako bi se izbjegla bilo kakva zračna barijera između negativ filma i površine ploče primjenjuje se vakuum, a samim time uklanja se kisik iz procesa koji uzrokuje spomenute reakcije unutar polimera. Na kraju na eksponiranom području dolazi do polimerizacije, a neeksponirana područja se isperu s otapalom. Zbog raspršivanja svjetlosti i refleksije od podloge polimerne ploče rasterski elementi imaju karakteristična široka ramena, a njihova konačna veličina je veća od one na negativ filmu. U kombinaciji sa prirastom RTV u tisku rezultati otisnute slike na finalnom proizvodu mogu se znatno razlikovati od početnog dizajna. Kada se ploča za vrijeme tiska pritisne na podlogu ramena rasterskog elementa uzrokuju njegovo povećanje, čime se stvara neželjeni obris ili takozvani „halo“ efekt.

Fotopolimerna ploča dolazi prekrivena sa zaštitnom folijom, a komplet ploča se pakira u ambalažu koja ih štiti od izlaganja UV zračenju. Ambalaža i zaštitna folija se ne uklanjaju sa ploče sve dok ne počne izlaganje, odnosno ploču treba čuvati u određenim svjetlosnim uvjetima. Osvjetljenje treba biti filtrirano tako da nema UV valnih duljina, odnosno treba zaštititi ploče od svjetlosti Sunca i standardnih fluorescentnih lampi.



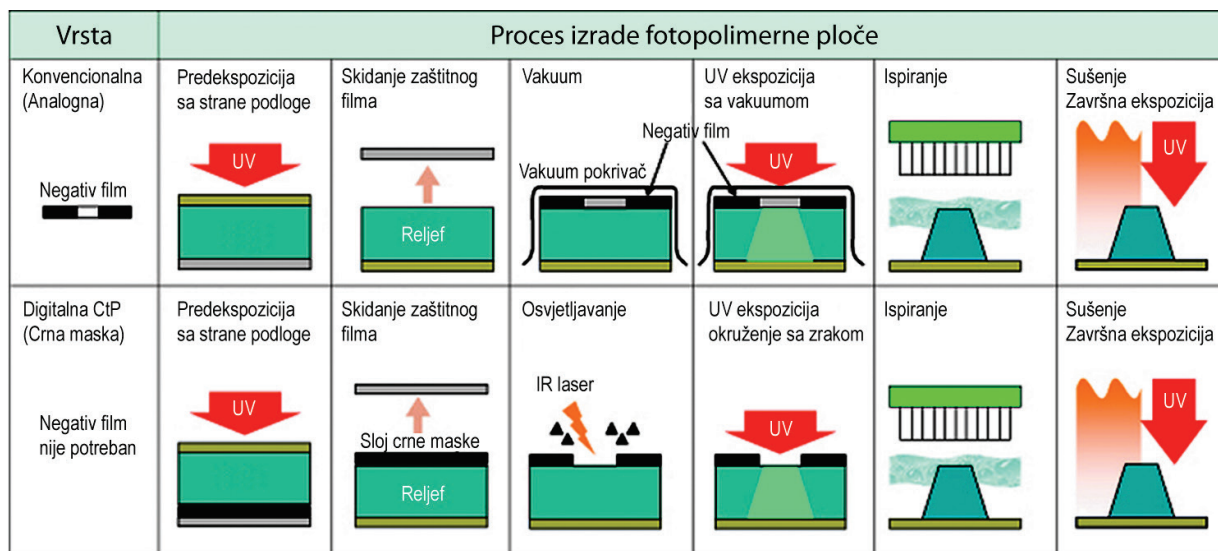
## Standardni digitalni CtP postupak izrade polimerne ploče

Za razliku od konvencionalne, digitalna tehnologija izrade polimerne ploče ne koristi negativ film. Proizvođači digitalnih ploča zamjenjuju ga integriranjem crnog karbonskog sloja na gornju stranu ploče koji u procesu eksponiranja služi kao maska. Za vrijeme procesa osvjetljavanja digitalne ploče, laser velike snage uklanja crni karbonski sloj (termo osjetljivi sloj) sa područja tiskovnih površina, kreirajući tako negativ masku. Postupak je još poznat pod nazivom laserska ablacija. Nakon što je maska laserski izrađena, proces obrade ploče vrlo je sličan konvencionalnom postupku. Budući da je maska sastavni dio ploče nema potrebe za vakuumom da ih drži zajedno. Ploča se tada izlaže UV svjetlu i obrađuje postupkom koji je opisan u uvodu poglavlja. Usporedba svih faza izrade polimerne ploče kod konvencionalne i digitalne LAMS tehnologije prikazan je na slici 2.18.

Nakon prvih nekoliko godina primjene, oko 2005. godine, CtP tehnologija još uvijek nije bila prepoznata kao alternativa postojećoj tehnologiji. Razlog je bio minimalna prednost u brzini izrade u odnosu na konvencionalnu tehnologiju te pretjerani troškovi opreme i potrošnog materijala [37]. Međutim, kako se je tehnologija poboljšavala i raslo njeno prihvaćanje, troškovi opreme i materijala su se smanjivali. Dok je digitalni postupak smanjivao troškove, proizvođači grafičkog filma su smanjivali kapacitete, uzrokujući time značajno povećanje cijene filma.

Prednost korištenja laserski ablativne maske je prije svega eliminiranje mnogih parametara koje su bile povezane sa analognim procesom pomoću grafičkog filma. Na taj način se je povećala učinkovitost i kvaliteta, dakle, stvorilo se okruženje za bolje rezultate i standardizaciju [38]. Osim toga povećana je kontrola nad mnogim parametrima, uključujući izazove s vakuumom, ogrebotine i pregibe na površini filma, distorzija filma koja se javlja tijekom vremena, prašina iz okoline i nestabilnost kemikalija. Digitalni proces omogućava dosljednost u kojoj su brojevi, krivulje, optička gustoća, veličina i kut ramena rasterskog elementa ponovljivi parametri [39].

Kada se polimerna ploča osvjetljava u inertnoj okolini, uklanjanjem izvora svjetla, završava proces polimerizacije. Dakle, relativno je lako pretjerati sa ekspozicijom. Rezultat toga je rasterski element veći od željene veličine i loša reprodukcija. Prisustvom kisika u jedinici za ekspoziciju prekomjerno izlaganje ploče je praktički eliminirano. To je izravno povezano sa stvaranjem oštrijih kutova ramena te boljom kontrolom oblika rasterskog elementa i u konačnici, sa većom kvalitetom otiska. [40]



*Slika 2.18 Usporedba faza rada analognog i digitalnog procesa izrade fotopolimerne ploče*

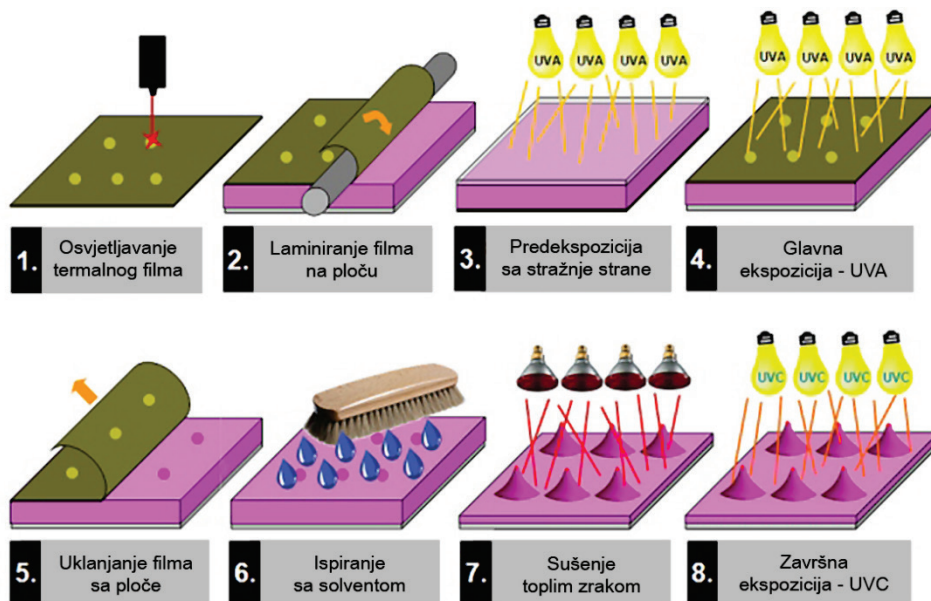
U usporedbi sa naprednim tehnologijama izrade polimerne ploče, koje slijede u nastavku, nedostatak standardne digitalne tehnologije je zaobljeni oblik vrha rasterskog elementa na ploči koji svojim izgledom podsjeća na oblik metka te uzrokuje određene poteškoće u tisku.

### **CtP tehnologija sa postupkom laminiranja filma na polimernu ploču**

Glavni predstavnik ovog načina izrade polimerne ploče je tt. Kodak sa Flexcel NX tehnologijom. Ovaj fleksografski sustav koristi termalni film debljine 165 $\mu$ m, osvjetljen na Ctp uređaju te koristi posebne polimerne ploče koje su dostupne u različitim tvrdoćama za tisak na različitim tiskovnim podlogama. Termalni film omogućava visoku razlučivost, a nakon osvjetljavanja se laminira na polimernu ploču pomoću laminatora. Faza laminiranja odvija se brzo i jednostavno, a ključna je iz razloga jer odstranjuje kisik između sloja termalnog filma i polimerne ploče i na taj način sprečava oksidaciju tijekom glavne ekspozicije. Nakon glavne ekspozicije termalni film se skida s polimerne ploče te se ploča dalje obrađuje isto kao kod standardnog procesa izrade. Cjelokupni proces izrade polimerne ploče shematski je prikazan na slici 2.19.

Ovaj sustav generira rasterske elemente minimalne veličine od 10  $\mu$ m omogućavajući fine rasterske prijelaze prema najsvjetlijim područjima. Također omogućava reprodukciju cijelog raspona tonova, od svijetlih do tamnih nijansi, koristeći sve razine sive skale. Nema potrebe za definiranjem minimalne veličine rasterskog elementa primjenom „bump-up“ krivulje.

Rasterski elementi proizvedeni ovom tehnologijom imaju ravni vrh u odnosu prema standardnoj CtP tehnologiji koja proizvodi rasterske elemente sa zaobljenim vrhom. Digitalne fleksotiskarske ploče vrlo su osjetljive na varijacije u pritisku što dovodi do različitog prirasta prilikom otiskivanja. Rasterski elementi s zaobljenim vrhom rezultiraju većim prirastom uslijed povećanog pritiska, dok rasterski elementi sa ravnim vrhom omogućavaju sporije zapunjenje bojom pa se tako izbjegava višestruko zaustavljanje tiskarskog stroja radi čišćenja ploče. [41]



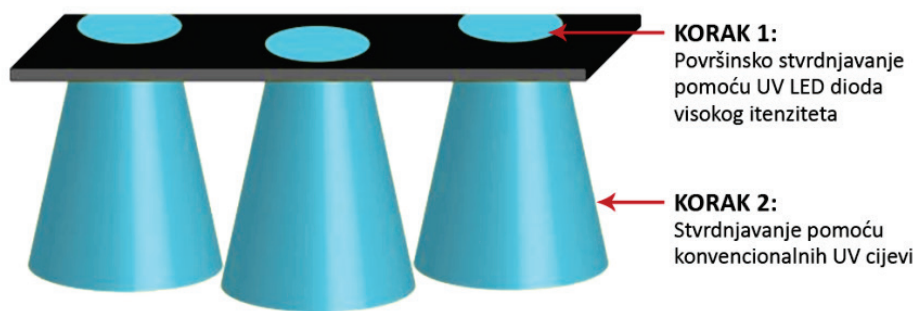
*Slika 2.19 Kodak Flexcel NX tehnologija izrade polimerne ploče [42]*

Tvrtka MacDermid sa svojom Lux tehnologijom ponudila je slično rješenje. Taj postupak podrazumijeva laminaciju tankog membranskog filma na površinu tiskarske ploče nakon laserske ablacije. Laminiranje sprječava oksidaciju fotopolimera – fotooksidaciju (buduće tiskovne površine) u toku glavnog eksponiranja (UVA zračenja), omogućavajući stvaranje potpuno ravne površine, odnosno ravnog vrha rasterskog elementa. Nakon glavnog eksponiranja membranski film se uklanja te se polimer obrađuje standardnim postupkom [43].

### **UV tehnologija osvjetljavanja polimernih ploča sa dva eksponiranja**

Ova tehnologija je razvijena od strane proizvođača Flint Group Flexographic Product i predstavlja primjenu određenih dodataka standardnoj opremi u svrhu sprječavanja utjecaja kisika na polimerizaciju. Fleksotiskarska ploča se izlaže UV zračenju visokog intenziteta što dovodi do vrlo brze polimerizacije na površini ploče, brže nego se može odvijati difuzija kisika. Na taj je način spriječen učinak koji uzrokuje prisustvo kisika. U prvom koraku

površina digitalno osvijetljene ploče polimerizira pod utjecajem visokog stupnja emisije UV LED dioda što rezultira površinskim stvrdnjavanjem čime je onemogućeno djelovanje kisika na neosvijetljene slojeve polimera. To se postiže skeniranjem pomoću UV LED pokretne jedinice koja se nalazi na standardnoj kopirnoj rami. Nakon toga se stvara reljef eksponiranjem standardnim UV cijevima. Prema tome, razvijen je novi način osvjjetljavanja pomoću dva eksponiranja, prikazan na slici 2.20, koji omogućava obradu tiskarskih ploča veličine do 900x1200 mm.



*Slika 2.20 UV tehnologija osvjjetljavanja polimernih ploča pomoću dva eksponiranja [44]*

### **Inkjet CtP tehnologija**

Inkjet DigiFlex tehnologija može pružiti izrazito visoku kvalitetu ploče direktnim ispisom maske na gornju stranu analogne fleksotiskarske ploče, analogne leterpres ploče ili analogne ploče za suhi ofset. Inkjet tehnologija je u stanju postići linijaturu od 180 lpi (70 l/cm) te stvara rasterski element sa ravnim vrhom na polimernoj ploči [45].

Štoviše, ispisivanje slike na gornju stranu fleksografske ploče je vrlo slično načinu na koji rade obični pisači. Ova tehnologija eliminira potrebu za upravljanje puno složenijom laserskom tehnologijom koja je u primjeni već dugi niz godina.

Postoje tri osnovne karakteristike koje treba uzeti u obzir primjenom inkjet bojila kao maske koja služi za sprečavanje izlaganja ploče UV svjetlu:

- optička gustoća bojila preko 4,5
- nesmetano funkcioniranje ispisne glave, otklanjajući mogućnost začepljenja mlaznica
- visoko kvalitetni ispis na gornju stranu bilo koje neporozne fleksotiskarske ploče, eliminirajući bilo kakvo nakupljanje ili širenje bojila

Željena optička gustoća postiže se dodavanjem UV apsorbera bojilu kako bi se osiguralo blokiranje UV zračenja veće energije (nižih valnih duljina). Pošto se ne koriste čvrste čestice u formulaciji bojila ne postoji izvor za začepljenje mlaznica, a glatki mlaz je osiguran tijekom cijelog životnog vijeka sustava. Glavna prepreka što ova tehnologija ispisivanja negativ maske nije ranije razvijena je jako rijetko bojilo, odnosno bojilo niske viskoznosti. Ispis na neporozne podloge često je uzrokovao nedosljednu kvalitetu ispisa. Ovaj problem je riješen razvojem tehnologije dvokomponentnog bojila. Polimerna ploča je premazana slojem posebnog premaza koji sadrži reagens „A“. Bojilo koje se mlazom nanosi na podlogu sadrži reagens „B“. Kada kapljica bojila pogodi površinu ploče dolazi do kemijske reakcije između oba reagensa uzrokujući stvrdnjavanje bojila. Ovaj mehanizam osigurava da mala kapljica formira minimalnu veličinu rasterskog elementa, eliminirajući bilo kakvo širenje bojila.

DigiFlex sustav koristi naprednu inkjet jedinicu koja ispušta kapljicu veličine od 3,5 pL (pikolitara) kod razlučivosti od 2880 dpi te omogućava linijaturu od 180 lpi (70 l/cm).



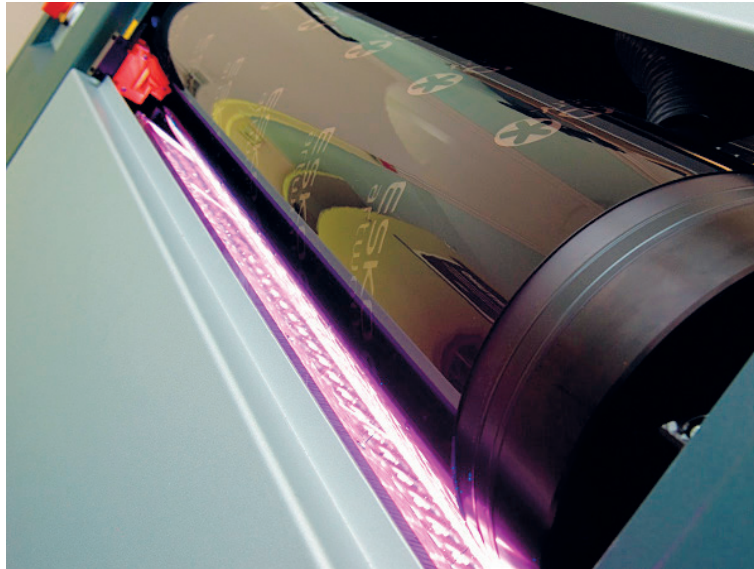
*Slika 2.21 DigiFlex sustav za inkjet ispis na polimerne ploče [45]*

Način rada DigiFlex sustava:

Specijalni premaz se nanosi na polimernu ploču postupkom laminiranja. Tada se ploča uvodi u sustav, a rastrirane separacije se ispisuju na gornju stranu ploče. Nakon ispisa bojilo se suši te ploča izlazi iz stroja. Brzina ispisa je velika i iznosi od 1–2 m<sup>2</sup>/h. Tako maskirana ploča je spremna za daljnju obradu te se izvode standardni postupci eksponiranja, ispiranja i sušenja. Pošto je ploča premazana, izbjegnut je utjecaj kisika na polimerizaciju, a rezultat je rasterski element s ravnim vrhom. Vanjski izgled uređaja sa sustavom za ulaganje polimernih ploča prikazan je na slici 2.21.

## LED UV tehnologija sa glavnom ekspozicijom unutar CtP uređaja

Esko CDI (engl. Cyrel Digital Imager) CtP uređaj ima integrirani, digitalno kontrolirani, ultraljubičasti niz dioda prikazan na slici 2.22. S ovom tehnologijom glavna UV ekspozicija prestaje biti dio analognog procesa. Glavna ekspozicija postaje vrlo precizno i digitalno kontrolirani proces te eliminira dodatni korak unutar radnog slijeda. Provodi se u istoj fazi nakon osvjetljavanja ploče bez dodatne intervencije operatera.



*Slika 2.22 UV LED diode za glavnu ekspoziciju unutar CtP uređaja [46]*

Ova tehnologija, nazvana Esko Inline UV, izvorno stvara stabilan i oštri rasterski element sa zaobljenim vrhom na polimernoj ploči. S korištenjem HD Flexo rasterske tehnologije ovaj zaobljeni vrh rasterskog elementa reproducira tonove gradijenata do nule. Reprodukcijska punih tonova je također poboljšana, gotovo bez praznina na otisku.

Pomoću ovog sustava moguće je odabrati oblik vrha rasterskog elementa prema zahtjevima posla. UV LED diode moguće je digitalno kontrolirati kako bi generirale ravni ili zaobljeni oblik vrha rasterskog elementa na ploči. Prema tome ovo je potpuno digitalno kontrolirani linijski proces koji uklanja potrebu za dodatnim analognim sustavima za glavnu ekspoziciju ili stvaranje ravnog vrha rasterskog elementa. Za pravilno stvrdnjavanje debelih polimernih ploča za tisak valovitog kartona potrebno je dulje izlaganje UV zračenju. Za ovakvu primjenu postoji i način kratkog izlaganja UV zračenju u kombinaciji s dodatnim osvjetljavanjem poleđine polimerne ploče.

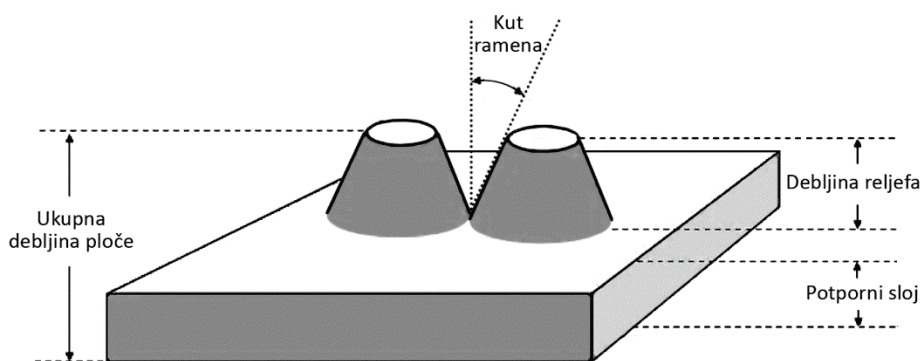
## Usporedba tehnologija izrade polimernih ploča

Svaka tehnologija izrade polimerne ploče ima svoje specifičnosti koje su ključne za kvalitetu reprodukcije u tisku, a svima je cilj postizanje otisaka što vjernijeg originalu. Općenito se sve tehnologije mogu podijeliti u dvije skupine: tehnologije koje proizvode ravni vrh rasterskog elementa na ploči i one koje proizvode zaobljeni vrh. Ključni zadatak svih tehnologija je riješiti probleme u reprodukciji svijetlih tonova. Međutim postoje određena ograničenja u njihovoj reprodukciji koja rezultiraju smanjenom kvalitetom. Slika 2.23 prikazuje kako se kod određenih tehnologija ta ograničenja svladavaju i kakav imaju utjecaj na kvalitetu reprodukcije.



*Slika 2.23* Različiti pristupi svladavanja ograničenja u fleksotisku, za postizanje reprodukcije slične ofsetnom tisku [47]

Proizvođači tehnologija za izradu polimernih ploča veliku pažnju posvećuju geometriji rasterskog elementa na polimernoj ploči, iako je u zadnje vrijeme naglasak na sam oblik vrha. Ramena rasterskog elementa služe kao potpora tiskovnoj površini, a sam kut ramena, prikazan na slici 2.24, ima značajnu ulogu prilikom otiskivanja. Raspršenost UV–A svjetla kod konvencionalne tehnologije uzrok je povećanja rasterskih elemenata za otprilike 15% u odnosu na film, a kut ramena je u rasponu od 45° do 55°. Prisustvo kisika prilikom eksponiranja kod standardne LAMS tehnologije izravno utječe na geometriju rasterskog elementa tako da su kutovi ramena oštriji u odnosu na kutove kod ostalih tehnologija [48].



**Slika 2.24** Shematski prikaz geometrije ploče sa naznačenim kutom ramena (bočne strane) rasterskog elementa [49]

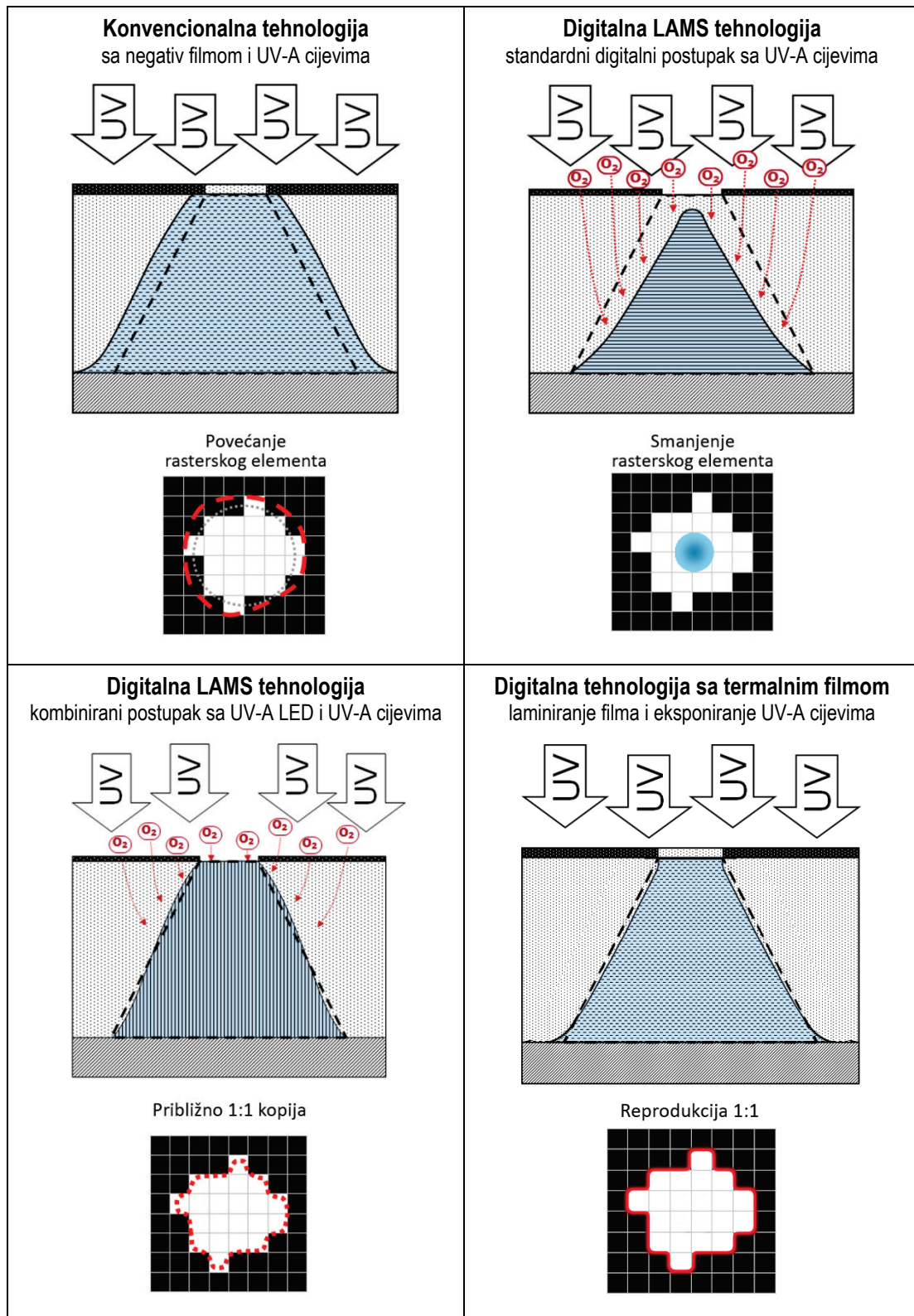
Strmija ramena omogućuju veću dubinu reljefa rasterskih elemenata što je vrlo važno u slučajevima kada su rasterski elementi jedni blizu drugih, odnosno kod primjene visokih linijatura rastera. Rezultati istraživanja su pokazali da se sa povećanjem glavne ekspozicije povećava kut ramena isto kao i sa povećanjem pokrivenosti površine [50]. Nadalje, s povećanjem kuta ramena povećava se i prirast RTV te ima učinak na smanjenje tiskovnog kontrasta [49].

Najvažniji parametri za kontrolu i praćenje kvalitete reprodukcije pojedinačnog rasterskog elementa na ploči su: njegov oblik i oštrina rubova, dubina reljefa između rasterskih elemenata, kut ramena (kut bočne strane u odnosu na vertikalnu os) te oblik vrha, odnosno oblik gornje površine rasterskog elementa.

Reljef je razlika između površine ploče i potpornog sloja ili poda, odnosno razlika između tiskovnih i slobodnih površina. Općenito govoreći, niski reljef će dati oštriji ispis rasterskog elementa, ali je sam tisak puno zahtjevniji. Niski reljef je najprikladniji za glatke tiskovne podloge i rasterski tisak jer zahtjeva slabiji pritisak. Grube tiskovne podloge i puni tonovi zahtijevaju jači pritisak u tisku uslijed kojeg može doći do otiskivanja slobodnih površina.

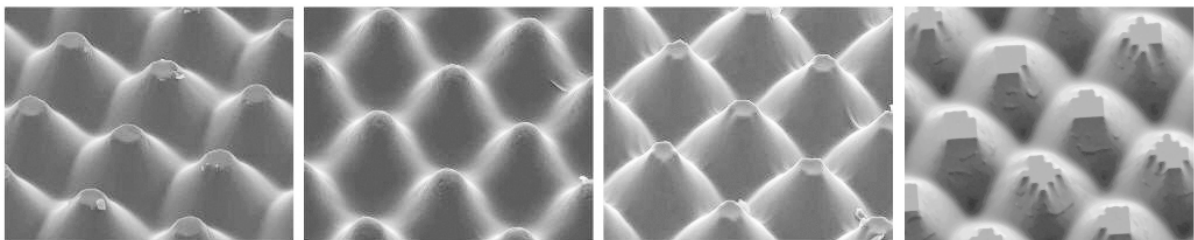


Na osnovu presjeka rasterskih elemenata kod četiri tehnologije izrade polimernih ploča na slici 2.25 jasno se može vidjeti geometrija rasterskog elementa i njegove karakteristike.



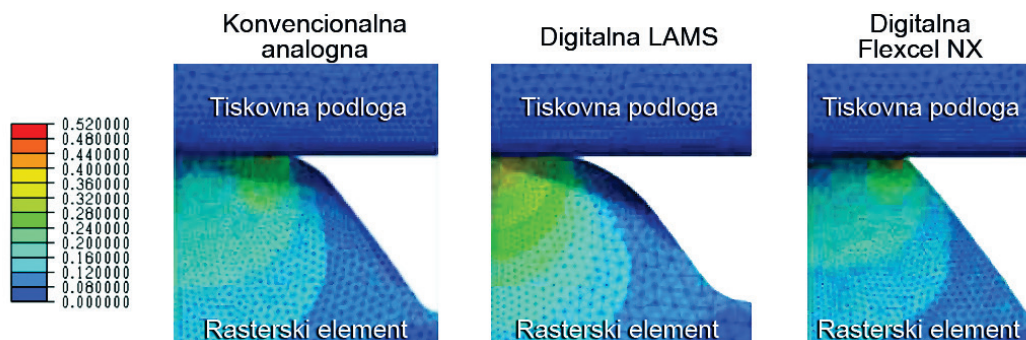
*Slika 2.25 Usporedba analogne i digitalnih tehnologija osvjetljavanja ploča sa vidljivim utjecajem na presjek ramena i promjer rasterskog elementa [44]*

Stvarni utjecaj eksponiranja različitih tehnologija izrade polimerne ploče može se vidjeti na slici 2.26 koja međusobno uspoređuje geometriju rasterskih elemenata. Počevši s lijeve strane, vidi se oblik rasterskog elementa stvoren s negativ filmom, a karakteristika su mu široka ramena. Zatim slijedi rasterski element s zaobljenim vrhom stvoren eksponiranjem u okruženju s kisikom, a karakteristika mu je manja pokrivenost površine (% RTV) u odnosu na nominalnu vrijednost. Nakon toga je prikazan rezultat eksponiranja napredne tehnologije sa dva eksponiranja (nyloflex NExT tehnologija), a reprodukcija tonskih vrijednosti originala na ploči je približno 1:1. Karakteristika rasterskih elementa na ploči su strma ramena i dublji reljef. Posljednji je prikazan rezultat tehnologije s laminiranjem filma (Kodak Flexcel NX i SQUAREspot tehnologija) koja osigurava reprodukciju 1:1 kako na termalnom filmu tako i na konačnoj polimernoj ploči.



*Slika 2.26 Utjecaj različitih tehnologija osvjetljavanja na geometriju rasterskog elementa [51]*

Istraživanja su pokazala da je životni vijek ploče sa ravnim vrhom duži prvenstveno zbog očuvanja elemenata u svijetlim područjima jer su manji rasterski elementi više podložni deformacijama, a samim time i trošenju. Napravljena je kompjuterska simulacija naprezanja rasterskog elementa tijekom tiska sa konvencionalnom, digitalnom LAMS i Flexcel NX pločom. Eksperiment je postavljen tako da simulira rasterski element (30% i 50% RTV) u tisku kod dvije razine otiskivanja, odnosno kod dviju postavki odstojanja spregnutih cilindara (stisnutost ploče od 75 $\mu$ m i 125 $\mu$ m). [52]



*Slika 2.27 Kompjuterska simulacija naprezanja tijekom tiska [52]*

Model na slici 2.27 prikazuje rezultate istraživanja za rasterski element od 30% RTV kod 150 lpi i odstojanja spregnutih cilindara od 125 $\mu$ m. Plava boja označava mala naprezanja i vjerojatno sporo trošenje ploče, a kretanjem po skali prema crvenoj boji naprezanje je veće, a trošenje ploče brže. Rezultati jasno pokazuju da su naprezanja koncentrirana oko vrha zaobljenog rasterskog elementa digitalne LAMS tehnologije. Ravni vrh kod konvencionalne i Flexcel NX ploče raspoređuje naprezanje učinkovitije i ravnomjernije te ima pozitivan utjecaj na životni vijek ploče. Istraživanja pokazuju da je životni vijek takvih ploča 2–5 puta duži sa većim razlikama kada se radi o više abrazivnim tiskovnim podlogama. Naprezanje se povećava sa povećanjem djelovanje pritiska i smanjenjem pokrivenosti površine. Manji rasterski elementi dodatno koncentriraju naprezanje sa povećanom stopom trošenja.

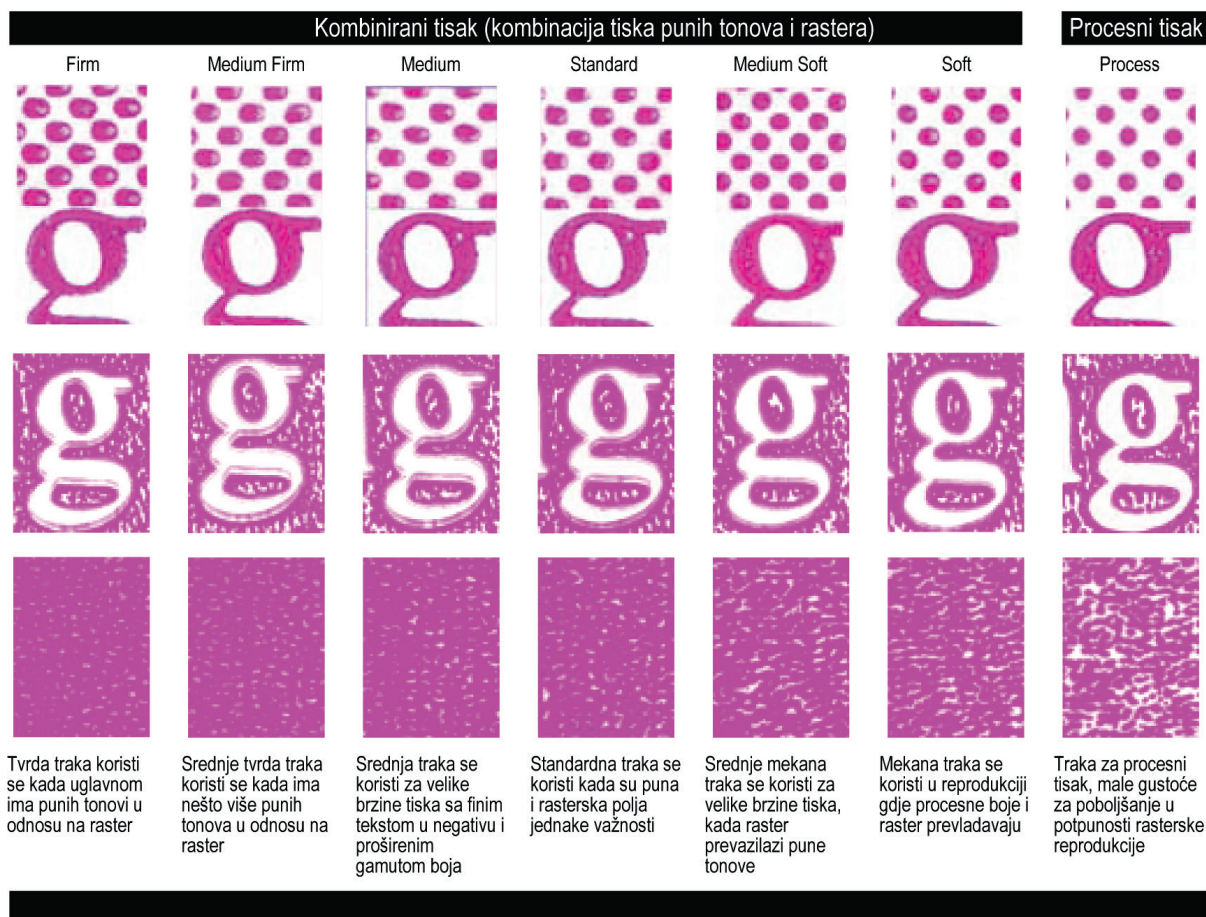
### **2.3.3 Montažna traka za polimerne ploče**

Pravilni odabir obostrano samoljepive montažne trake je jednako važan isto kao i pravilni odabir polimerne ploče, bojila ili tiskovne podloge. Karakteristika montažne trake je zbijenost (gustoća čestica), ali se u praksi koristi izraz tvrdoća. U ponudi ih ima različitih vrsta, dolaze u obliku pjenaste trake različite gustoće, a imaju djelovanje poput jastuka. Debljina montažnih traka kreće se u rasponu od 0,38 mm do 3,00 mm, te ne smije biti deblja od polovice debljine polimerne ploče.

Važan faktor prilikom odabira montažne trake je vrsta uporabljenog ljepila. Točan stupanj ljepljivosti montažne trake na cilindar i ploče na montažnu traku od izuzetne je važnosti. Mnogi proizvođači nude montažne trake sa različitim stupnjem ljepljivosti sa svake strane trake. [53]

### **Odabir fotopolimera i montažne trake**

Odabir vrste fotopolimerne ploče i samoljepive montažne trake je veoma važan za kvalitetu reprodukcije u fleksotisku što znači da će se ovisno o odabranoj kombinaciji dobiti potpuno različiti rezultati u tisku. Za oba elementa postoji široki izbor materijala različitih karakteristika, a mogu direktno utjecati na gustoću obojenja, kontrast i prirast RTV. Nove digitalne polimerne ploče su veće tvrdoće i pružaju veću sposobnost za ispis visoke razlučivosti. Da bi se odabrala pravilna kombinacija fotopolimerne ploče i montažne trake prvo se mora uzeti u obzir vrsta posla koja se obavlja.

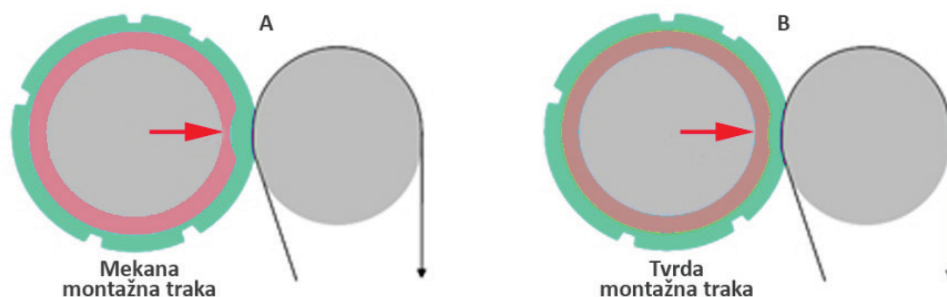


**Slika 2.28** Odabir tvrdoće montažne trake za polimerne ploče s obzirom na karakteristike posla [54]

Na slici 2.28 prikazana je reprodukcija rastera od 10% RTV, tekst u pozitivu i negativu te puni ton s obzirom na primjenu sedam vrsta montažnih traka prema tvrdoći. Za rasterski procesni tisak visoke linijature obično se koristi tvrda fotopolimerna ploča sa montažnom trakom male tvrdoće. Na taj će način struktura rasterskog elementa imati tvrdi fotopolimernu osnovu, a montažna traka će apsorbirati udarce tiskovnog cilindra i na taj način se pritisak na ploču kontinuirano ublažava, situacija A na slici 2.29. Kod tiska punih tonova obično se koristi fotopolimerna ploča manje tvrdoće i montažna traka veće tvrdoće. To omogućuje veću učinkovitost prijenosa bojila na podlogu. Fotopolimerna ploča ima tendenciju da ravnomjerno distribuiraju bojilo, a tvrda montažna traka čvrsto pritišće fotopolimernu ploču prema tiskovnoj podlozi, ispunjavajući praznine na površini te tako smanjuje pojavu efekta praznina (engl. pinholing), situacija B na slici 2.29.

Kada se tiskaju kombinirani poslovi (rasterski i puni tonovi na istoj ploči), da bi se dobili prihvatljivi rezultati koristi se montažna traka srednje tvrdoće. Ne treba se uvijek pretpostaviti

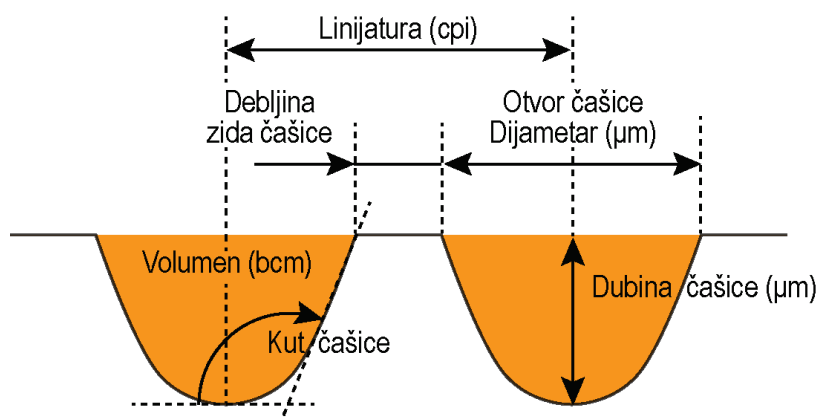
da je smanjena kvaliteta punih tonova posljedica nedovoljno bojila. Ponekad je uzrok nepravilna kombinacija fotopolimerne ploče i montažne trake. Trakasti aniloks valjak je idealno rješenje za testiranje svih tih parametara. Jednom kad se postave standardi mogu se implementirati u cijeloj tiskari omogućavajući tako ponovljivost i dosljednost otiska.



*Slika 2.29 Utjecaj tvrdoće samoljepive montažne trake na mehaničku deformaciju rasterskog elementa prilikom djelovanja pritiska u tisku*

## 2.4 ANILOKS VALJAK

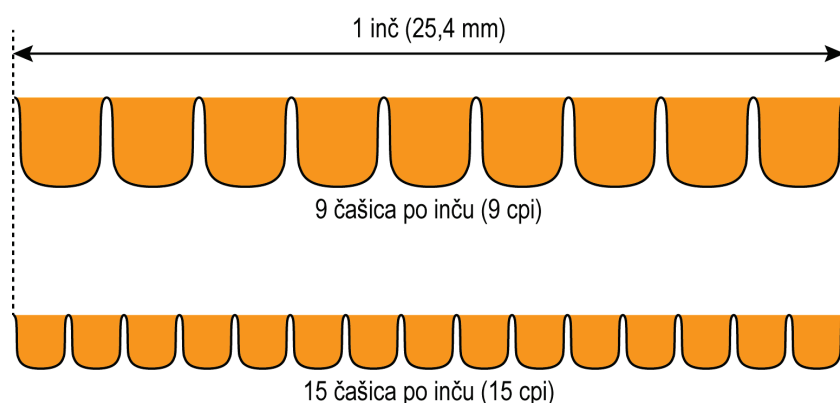
Aniloks valjak smatra se najvažnijim dijelom ili srcem flekso sustava za obojenje [55]. Ovaj sustav mora prenijeti bojilo na tiskarsku ploču (puno polje ili rastersko polje) u potrebnoj količini tako da boja i gustoća obojenja odgovara zahtjevima i to treba činiti na dosljedan i ponovljiv način. Vrlo često se za aniloks valjak koristi i izraz raster valjak. Jednostavno rečeno, aniloks valjak je sastavljen od mjernih čašica određenog volumena. Glavna karakteristika aniloks valjka je linijatura koja je određena brojem čašica po inču (engl. cells per linear inch), a ostale karakteristike su prikazane na slici 2.30. Mjerna jedinica se skraćeno označava sa CPI, a mjeri se uzduž kuta graviranja. Uz linijaturu, glavne karakteristike aniloks valjka su kapacitet prijenosa čašica (volumen) i kut graviranja.



*Slika 2.30 Specifikacija čašice aniloks valjka*

## 2.4.1 Linijatura aniloks valjka

Linijatura aniloks valjka definirana je brojem čašica po jedinici dužine (mikroskopski džepovi koji zadržavaju bojilo) koje su laserski gravirane, prikaz na slici 2.31. Film ili nanos bojila stvara obojenje na tiskovnoj podlozi na koje utječe fizička debljina i ujednačenost filma bojila. Odabrana linijatura aniloks valjka je u direktnoj zavisnosti o volumenu. Na primjer, aniloks valjak volumena 3,2 BCM-a iziskuje linijaturu otprilike 500 cpi. Isti volumen aniloks valjka kod linijature od 1000 cpi dati će preduboke čašice, dok će kod linijature od 120 cpi čašice biti preplitke.



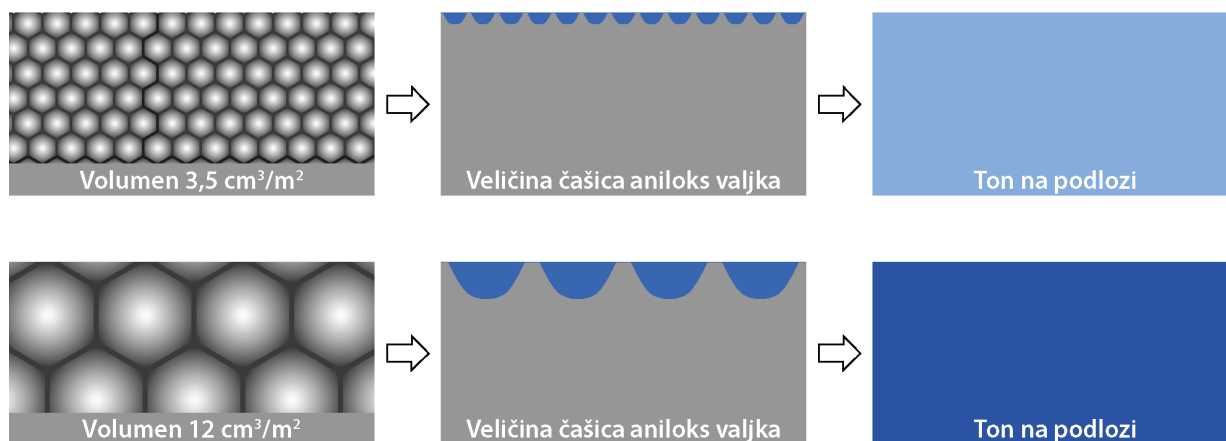
*Slika 2.31 Linijaturu aniloks valjka određuje broj čašica po inču*

S povećanjem kohezije bojila i smanjenjem volumena, mogu se koristiti aniloks valjci veće linijature. Kohezija je snaga koja je potrebna da se razdvoje čestice supstance, a bojila za fleksotisak imaju veliku koheziju. Veće linijature aniloks valjka daju tiskovnom procesu više mogućnosti za postizanje bolje grafike s finim linijama i tekstom, mekanijim prijelazima te veću efikasnost u procesnim poslovima. Okvirni odabir odgovarajuće linijature i volumena aniloks valjka s obzirom na vrstu tiska prikazan je u tablici 2.4.

*Tablica 2.4 Grubi prikaz linijature i volumena aniloks valjka usklađen sa odgovarajućom primjenom u tisku [56]*

Vrsta tiska	Linijatura aniloks valjka (cpi)	Volumen aniloks valjka (BCM-a)
Puna polja i deblje linije	180 – 330	8 – 4
Tanje linije i tekst	200 – 400	7,5 – 3,5
Prijelazi i vinjete	360 – 500	4,7 – 2,8
Procesni tisak	500 – 1200	3,2 – 1,0

Za različitu primjenu u tisku koriste se različite linijature. Aniloks valjci manje linijature obično imaju veći volumen i prenose veću količinu bojila. S druge strane aniloks valjci visoke linijature (800–1200 cpi) ne mogu prenijeti dovoljno bojila za tisak punih polja te se u tisku neće postići dovoljna gustoća obojenja, kao što je prikazano na slici 2.32. Kako bi se odredila pravilna kombinacija linijature i volumena aniloks valjka za određenu vrstu tiska te osigurao najmanji potrebni nanos bojila koristi se trakasti aniloks valjak. To je aniloks valjak koji ima definiranu linijaturu i volumen u različitim kombinacijama.



**Slika 2.32** Utjecaj linijature, a samim time i volumena aniloks valjka na gustoću obojenja punog tona

## 2.4.2 Volumen aniloks valjka

Količina bojila koja se može prenijeti iz čašice ovisi o kapacitetu prijenosa čašice ili volumenu čašice. Mjerna jedinica volumena aniloks valjka su kubični mikrometar. Kubični mikrometar kao mjerna jedinica predstavlja "raspoloživi prostor" (volumen) u čašicama aniloks valjka unutar jednog kvadratnog inča (ili kvadratnog centimetra za metričke mjere), a koriste se u angloameričkim područjima.

Mikron je milijunti dio metra, a u jednoj tisućinki inča ima  $25,4 \mu\text{m}$  (odnosno 25400 mikrometra po inču) te se kao takav koristi u određivanju volumena čašice aniloks valjka. Tako u jednoj kubičnoj tisućinki inča ima 645,16 kubnih mikrona prostora raspoloživog za držanje bojila. Izračunavanjem volumena na površini od 1 kvadratnog inča dobit će se jako veliki broj. Zato se volumen izražava u milijardama kubnih mikrona ili kraće u BCM-u (engl. Billion Cubic Microns). Na primjer "raspoloživi prostor" kod 800 linijskog aniloks valjka sa heksagon uzorkom obično se kreće u rasponu od 1,6 do 2,2 BCM-a. Izraženo u brojkama to bi izgledalo ovako: 1 600 000 000 000 kubičnih mikrona.

Kako bi se smanjila zbrka prilikom kupovine aniloks valjaka, volumen se prikazuje i u mjernim jedinicama prema SI sustavu, a to je  $\text{cm}^3/\text{m}^2$  (kubični centimetar po kvadratnom metru). Ta vrijednost pokazuje teorijsku potrošnju bojila u  $\text{cm}^3$  pri otiskivanju punog tona na površini od  $1\text{m}^2$ . Veličina BCM se pretvara u  $\text{cm}^3/\text{m}^2$  množenjem sa faktorom 1,55, a faktor za pretvaranje  $\text{cm}^3/\text{m}^2$  u BCM je 0,6455.

### Izračun faktora za preračunavanje volumena aniloks valjka

Volumen se mjeri u milijardama kubičnih mikrona po kvadratnom inču (BCM) pa prema tome slijedi:

- engl. Billion = milijarda =  $10^9$
- 1 inč = 2,54 cm = 0,0254 m
- $1 \text{ inč}^2 = (2,54 \times 10^{-2})^2 \text{ m}^2 = 6,4516 \times 10^{-4} \text{ m}^2$
- 0,0001 inč = 25,4 mikrona
- $1 \mu\text{m}^3 = 10^{-12} \text{ cm}^3$

Izvedba jednadžbe za preračunavanje BCM u  $\text{cm}^3/\text{m}^2$  na osnovu prethodno definiranih odnosa :

$$\frac{BCM}{\text{inč}^2} = \frac{10^9 * 10^{-12}}{6,4516 * 10^{-4}} \quad (2.6)$$

Nakon sređivanja jednadžbe slijedi:

$$\frac{BCM}{\text{inč}^2} = 1,55 \frac{\text{cm}^3}{\text{m}^2} \quad (2.7)$$

Prema tome faktor za preračunavanje  $\text{cm}^3/\text{m}^2$  u BCM iznosi:

$$\frac{\text{cm}^3}{\text{m}^2} = \frac{1}{1,55} = 0,6455 \frac{BCM}{\text{inč}^2} \quad (2.8)$$

Primjer:

$12 \text{ BCM}/\text{inč}^2 \times 1,55 = 18,6 \text{ cm}^3/\text{m}^2$ $18,6 \text{ cm}^3/\text{m}^2 \times 0,6455 = 12 \text{ BCM}/\text{inč}^2$
--



## Volumen aniloks valjka i kontrola obojenja

Možda najveća greška koju rade tiskare prilikom tiska određenog posla je karakterizacija procesa sa linijaturom aniloks valjka. Tipični komentari su: „Ovaj posao treba tiskati sa 800 cpi, ili sa 550 cpi, ili pune tonove treba tiskati sa 440 cpi“. Ovakvi komentari su vrlo čudni jer se nikada nije tiskalo sa linijaturom nego je volumen taj koji prenosi bojilo. Kako bi se bolje razumio utjecaj aniloks valjka na promjenu obojenja u tisku, volumen se mora preračunati u debljinu filma, odnosno nanosa bojila. Ako je volumen aniloks valjka definiran u BCM-u tada moramo pretvoriti kubične mikrone u stvarnu raspoloživu debljinu filma bojila u mikronima pod uvjetom da se iz čašica prenese 100% bojila, a može se izračunati prema sljedećoj jednadžbi [57]:

$$\text{debljina filma bojila} = \frac{BCM}{0,65} \quad (2.9)$$

Kao što je prikazano u tablici 2.5 stvarna debljina filma bojila je puno manja nego što se može pretpostaviti. Na primjer za 8 BCM-a debljina filma je nešto manja od 1/2 tisućinke inča (12,3 mikrona). Također je pitanje koliko se bojila stvarno prenese sa aniloks valjka na tiskarsku ploču, a zatim koliko na tiskovnu podlogu. Prema tome 3 BCM-a raspoloživog prostora rezultira sa 4,615 mikrona debljine filma za prijenos. Od te debljine samo se polovica prenese (2,308 mikrona) na tiskarsku ploču. Od ove debljine samo se polovica prenese na tiskovnu podlogu (1,155 mikrona). Znajući to lako možemo predvidjeti da na primjer crveno bojilo daje ružičastu boju ako su čašice aniloks valjka prljave, odnosno zapunjene samo 15%. U ovom slučaju dostupno je 4,615 mikrona bojila, a umanjeno za 15% iznosi 3,9 mikrona. Ta razlika će stvoriti velike promjene u obojenju osobito kod određenih boja. Ove činjenice će dodatno istaknuti potrebu za kontinuiranim čišćenjem i održavanjem aniloks valjaka.

*Tablica 2.5 Stvarni prijenos debljine filma bojila u ovisnosti o volumenu [58]*

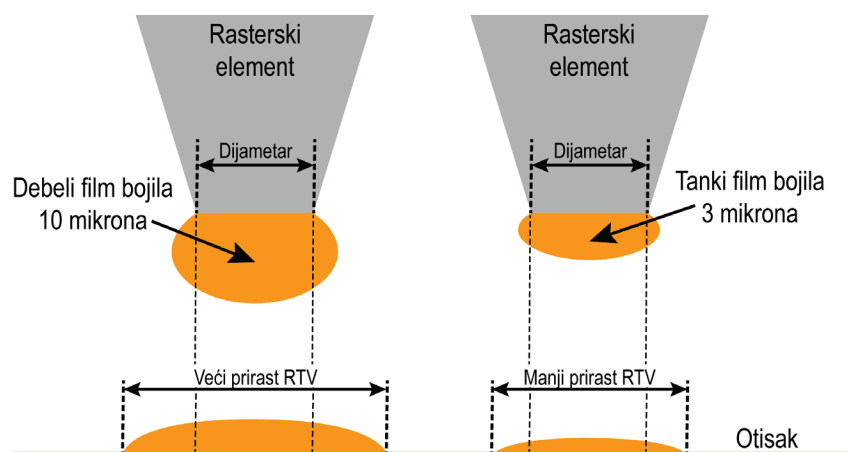
Izmjereni volumen aniloks valjka		Debljina filma bojila μm	50% bojila preneseno na tiskarsku ploču	50% bojila preneseno na tiskovnu podlogu
BCM	cm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>			
8,0	12,39	12,3	6,154	3,077
7,0	10,84	10,8	5,385	2,692
6,0	9,29	9,2	4,615	2,308
5,0	7,75	7,7	3,846	1,923
4,0	6,20	6,2	3,077	1,538
3,0	4,65	4,6	2,308	1,154
2,0	3,10	3,1	1,538	0,769

Za kvalitetnu reprodukciju boja prvenstveno je važan odabir volumena, a nakon toga i linijature aniloks valjka. Pogrešni odabir koji proizlazi iz nerazumijevanja problema izaziva velike stanke u radu i nepredviđene troškove koji značajno smanjuju prihode tiskarama.

Treba zapamtiti da se korištenjem aniloks valjaka manjeg volumena prenese manje bojila na tiskovnu podlogu, što je naravno dobra stvar. Međutim, još uvijek treba postići odgovarajuću gustoću obojenja na temelju prenesenog bojila. Ako se i uslijed primjene optimalnog volumena za tu vrstu posla ne dobiva dovoljna gustoća obojenja treba razmisliti o trenutnom izboru bojila ili razgovarati sa dobavljačem bojila o mogućem rješenju. Bojila veće pigmentacije rezultiraju većom gustoćom obojenja te su u početku malo veći trošak, ali te troškove nadoknađuju kroz poboljšanu grafiku, odnosno povećanu kvalitetu reprodukcije. Također iz razloga što se troši manje tinte, manje je posla sa bojilom, a u konačnici se kupuje i manje bojila. Nadalje, još jedna prednost korištenja aniloks valjaka manjeg volumena je smanjena emisija hlapivih organskih spojeva.

### Optimalna dubina čašica aniloks valjka

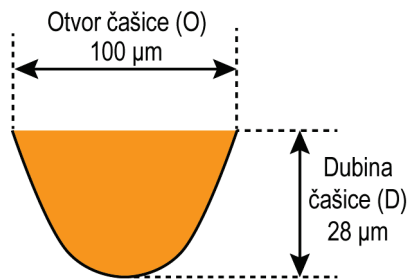
Pošto se tiska s tekućim bojilima male viskoznosti, vrlo je važno imati na umu da se mora tiskati sa najmanjim mogućim nanosom bojila. Manji nanos bojila lakše je kontrolirati te smanjuje prirast RTV. Ako se tiska sa pretjeranim volumenom aniloks valjka teško će se dobiti optimalni uvjeti u tiskovnom procesu. Kao što je prikazano na slici 2.33, prirast RTV se smanjuje s tanjim filmom bojila, jednostavno zato, što ima manje bojila za prijenos sa rasterskog elementa. Pošto se radi o mikronskim vrijednostima, svaki mikron previše prenesenog bojila može biti rizičan za kvalitetu reprodukcije. Radi shvaćanja o kako malim debljinama filma bojila se radi dobro je znati da promjer ljudske vlasi iznosi otprilike 70  $\mu\text{m}$ .



*Slika 2.33 Utjecaj debljine filma bojila na prirast RTV*

Cilj je odrediti aniloks valjak koji će sa najmanjim mogućim nanosom prenijeti dovoljnu količinu bojila te dati potrebnu gustoću obojenja. U tu svrhu može se koristiti aniloks valjak sa manjim volumenom i načinom graviranja koji daje veći broj čašica po jedinici površine. Međutim, čašice sa premalim volumenom mogu uzrokovati sušenje bojila prije nego se uopće prenese na ploču, osim u slučaju ako bojilo sadrži dovoljno inhibitora sušenja. Stoga se preporuča da dubina čašice bude između 23% i 33% od veličine otvorenog dijela čašice. Optimalan omjer iznosi 28% (čašica je zdjelastog oblika) i prikazan je na slici 2.34. Omjer se izračunava prema jednadžbi:

$$\text{Omjer } D/O = \frac{\text{Dubina čašice}}{\text{Otvor čašice}} * 100\% \quad (2.10)$$



*Slika 2.34 Optimalan odnos veličine otvora i dubine čašice*

**Nedostaci predubokih čašica (omjer otvora i dubine veći od 33%), slika 2.35 situacija A**

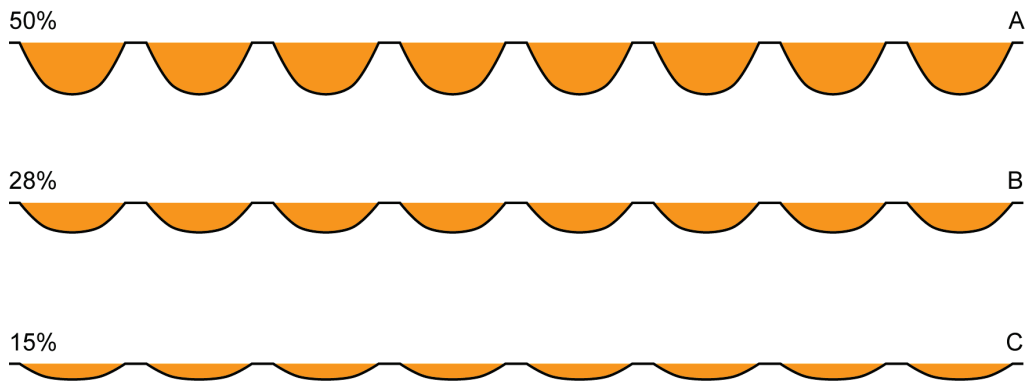
- Bojilo se neće učinkovito odvojiti od čašice zbog prevelike dubine
- Aniloks valjak se teže održava i čisti
- Stvaraju se strmi i hrapavi zidovi (stijenke) čašice
- Iznimno teško se može izvesti dosljedno i očekivano graviranje

**Nedostaci preplitkih čašica (omjer otvora i dubine manji od 23%), slika 2.35 situacija C**

- Stvaraju se grube čašice koje teže otpuštaju bojilo
- Iznimno teško izvesti dosljedno i očekivano graviranje

**Prednosti pravilne dubine čašica (omjer otvora i dubine 23– 33%), slika 2.35 situacija B**

- Ujednačena veličina i oblik čašice
- Stvaraju se glatke površine čašice za efikasnije otpuštanje bojila
- Stvaraju se tanki i blagi zidovi za lakše otpuštanje bojila
- Graviranje je dosljedno i očekivano



*Slika 2.35* Različiti omjeri širine otvorenog dijela i dubine čašice aniloks valjka

### Kontrola volumena aniloks valjka

U grafičkoj industriji redovito testiranje volumena aniloks valjka je ključna stvar za sprečavanje nepotrebnih troškova u proizvodnji. Testiranje volumena aniloks valjka potrebno je izvršiti:

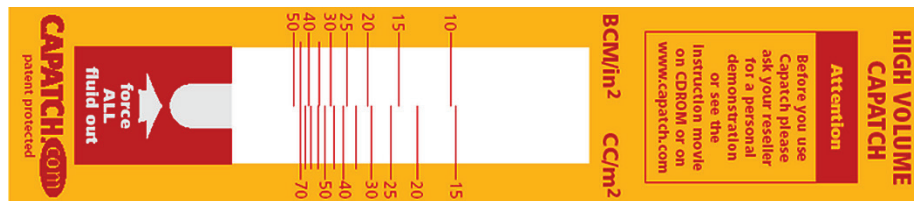
- prilikom izmjene posla na tiskarskom stroju
- prilikom ponavljanja starog posla
- kada se želi provjeriti istrošenost valjaka ili zapunjenost čašica
- prilikom izbora valjka za nanos različitih medija (ljepila, primera i sl.)
- kada se želi provjeriti novi aniloks valjak
- u svakom trenutku kada rezultat tiska odstupa od očekivanog.

### Određivanje volumena pomoću mjernih instrumenata

Dobavljači aniloks valjaka koriste dva načina određivanja raspoloživog prostora za prijenos bojila. Prvi je način pomoću mikroskopa gdje se volumen određuje analizom dimenzija jedne čašice aniloks valjka. Volumen aniloks valjka izračunava se na temelju broja čašica na kvadratnom inču te uz pretpostavku da je ostatak čašica identičan. Može se reći da je ovakav način određivanja više teoretska vrijednost. Drugi način je pomoću MWI metode (engl. Multimode Waveguide Interferometer) koja je utemeljena 1990. godine. Računalo na temelju mjerenja udaljenosti modelira mikroskopsku topografsku kartu koja se koristi za proračun raspoloživog prostora za prijenos bojila.

## Određivanje volumena pomoću mjernih traka

U svrhu mjerenja volumena koriste se mjerene trake za jednokratnu upotrebu koje funkcioniraju kao neka vrsta naljepnice, slika 2.36. Svaka mjerna traka sadrži kapsulu s točno određenom količinom obojene tekućine koja se pomoću noža (rakela) u potpunosti istisne iz kapsule te razmaže po valjku. Nakon što ispuni čašice tekućina ostavlja trag, a duljina traga koja se direktno očitava sa mjerne skale, pokazuje trenutni volumen aniloks valjka.



*Slika 2.36 Capatch mjerna traka za aniloks valjke velikog volumena [59]*

Postoje tri različite vrste Capatch mjernih traka, a razlikuju se prema opsegu mjerenja s obzirom na kapacitet aniloks valjaka [59]:

- mali volumen 2–7 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> ili 1,25– 5 BCM/inč<sup>2</sup> (zeleno-narančasta traka)
- srednji volumen 5–25 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> ili 3– 15 BCM/inč<sup>2</sup> (plavo–narančasta traka)
- veliki volumen 15–70 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> ili 10– 50 BCM/inč<sup>2</sup> (crveno–narančasta traka)

Jedinice BCM/inč<sup>2</sup> se koriste u SAD-u dok se cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> koriste u ostalom dijelu svijeta.

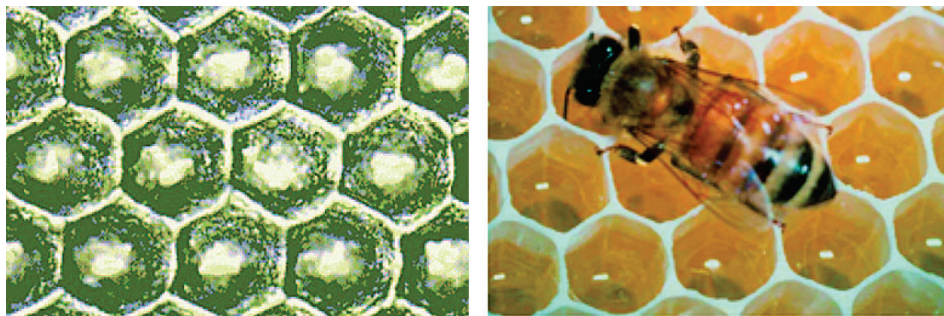
Na sličan način funkcionira i mjerenje volumena pomoću Volugraph sustava gdje se na aniloks valjak pipetom nanosi definiran volumen mjerne tekućine. Zatim se pomoću rakela razmaže po valjku, naprave se tri otiska te na osnovu površine otiska izračuna srednja vrijednost volumena valjka.

### 2.4.3 Graviranje aniloks valjaka

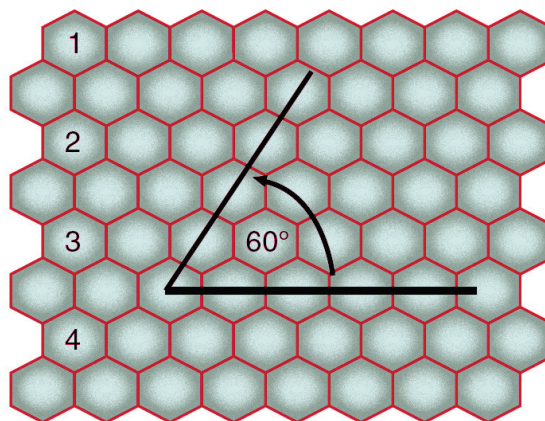
Napredak u laserskoj tehnologiji omogućio je proizvođačima aniloks valjaka eksperimentirati u različitim oblicima čašica i načinima graviranja kako bi se ostvarile nove ideje o prijenosu bojila. Posljednjih nekoliko godina dostupne su nove tehnologije graviranja: kanalna tehnologija, nepravilna heksagon tehnologija i čak tehnologija slučajnih uzoraka (engl. Random Technology). Osim promjene oblika čašice mijenja se i kut graviranja. Kutovi graviranja za heksagon uzorak su 60° i 30°, za kvadratni uzorak je 45 ° dok se u novije vrijeme primjenjuje kut od 70°.

## Heksagon uzorak sa kutom graviranja od $60^\circ$

Ovaj način graviranja predstavlja jednu od glavnih ideja industrije aniloks valjaka. Kada se поближе pogleda geometrija graviranja može se vidjeti da je to zapravo, kopija pčelinjih saća (vidi sliku 2.37). Pčelinje saće su vrlo složen, dobro isplaniran sustav za pohranu koji je stoljećima fascinirao znanstvenike. Iskoristivost prostora je najvažniji razlog zašto se heksagon uzorak koristi za graviranje. Analizirajući prostor ograđen tim pravilnim oblicima, moguće je vidjeti zašto je heksagon oblik čašica najučinkovitiji. Omogućuje da se veći broj čašica upakira u jednaki prostor u odnosu na ostale načine graviranja te daje najučinkovitije korištenje volumena. Ne postoji izgubljeni prostor kao što je slučaj kod kružnog oblika. Ako pak se koristi kružni oblik, izgubljeni prostor će dovesti do praznina bez bojila i stvoriti probleme u tisku. Matematičar Thomas C. Hales sa Sveučilišta u Michiganu matematički je dokazao da heksagon mreža predstavlja najbolji način da se podijeli površina na dijelove jednake površine s najmanjim ukupnim opsegom. Prilikom rotacije aniloks valjka kutni dio čašice se nalazi sa gornje i donje strane čašice u odnosu na smjer rotiranja, omogućavajući tako da rakel ispuni čašicu sa što manje zarobljenog zraka. [60]



*Slika 2.37 Geometrija heksagon uzorka graviranja pod kutom od  $60^\circ$  je identična izgledu pčelinjih saća [61]*



*Slika 2.38 Heksagon uzorak graviranja pod kutom od  $60^\circ$*

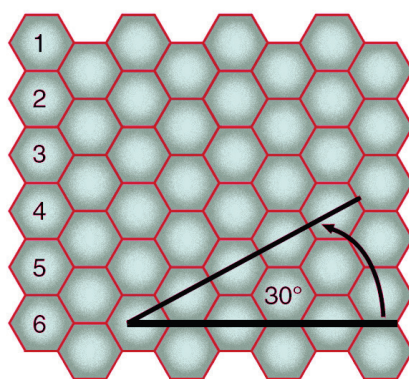
Danas je heksagon uzorak, od njegovog uvođenja 1989. godine, postao svjetski standard za fleksotisak. Jedna mogućnost graviranja čašica je pod kutom od  $60^\circ$ , a prikazana je na slici 2.38. Prednosti u odnosu na druge alternativne načine graviranja su :

- Čašice mogu biti zajedno čvršće uklopljene, omogućava približno 15% veći broj čašica na istoj površini u odnosu na ostale načine graviranja
- Zidovi između čašica su svedeni na minimum
- Čašice mogu biti pliće, a da još uvijek otpuštaju istu količinu bojila jer postoji veći broj čašica na istoj jedinici površine
- Ponovljivost tiska sa proizvodnog stajališta je najveća te postoji veća dosljednost od role do role

Dakle, pomoću aniloks valjka s više čašica po dužnom inču osigurat će se više detalja, posebno u svijetlim tonovima. Ova geometrija omogućava tanje filmove bojila što rezultira oštrijom grafikom i boljom distribucijom tonova. Ovaj način graviranja je idealan za tisak procesnim bojama, za rasterski i kombinirani tisak. Rasterski element na ploči ne smije biti manji od a otvorenog dijela čašice. Ako se to dogodi, dolazi do viška bojila na rasterskim elementima što rezultira povezivanjem rasterskih elemenata (engl. dot bridging) i prljavim otiskom. Povezivanje rasterskih elemenata je efekt koji se pojavljuje na otisku kada se dva ili više rasterska elementa spoje zajedno, odnosno praznina između njih se popuni bojilom, a vidljiv je samo kod četvrtinskih tonova [62].

### **Heksagon uzorak sa kutom graviranja od $30^\circ$**

Heksagon uzorak graviranja pod  $30^\circ$  (slika 2.39) i dijamantni uzorak graviranja pod  $45^\circ$  se zbog svoje geometrije i kuta graviranja najčešće koriste kod lakiranja i specifičnih primjena u tisku (tisak pokrivne bijele boje). Karakteristika ovih načina graviranja je ujednačeniji film bojila. Djelomičnim uklanjanjem vertikalnih zidova, na vrhu i na dnu čašice u smjeru rotacije aniloks valjka, omogućuje se da film bojila bude neprekinut što rezultira povećanjem neprozirnosti pomoću uniformiranosti bojila, umjesto pomoću volumena bojila. Djelomično formirani zidovi omogućuju da se višak bojila, prilikom struganja rakela, gura uzduž aniloks valjka tako da nema zarobljenog zraka u čašicama. Ovakav kanalni sustav graviranja pod kutom od  $30^\circ$  se preferira za bojila koja imaju veliku viskoznost. Primjena aniloks valjka sa ovim način graviranja u tisku, smanjuje pojavu praznina na otisku. Isto vrijedi i za lakiranje. Lakiranje se koristi za zaštitu, a praznine na otisku mogu pružiti otvor za penetraciju tekućine te učiniti zaštitnu ulogu lakiranja beskorisnom. [60]



*Slika 2.39 Heksagon uzorak graviranja pod kutom od 30°*

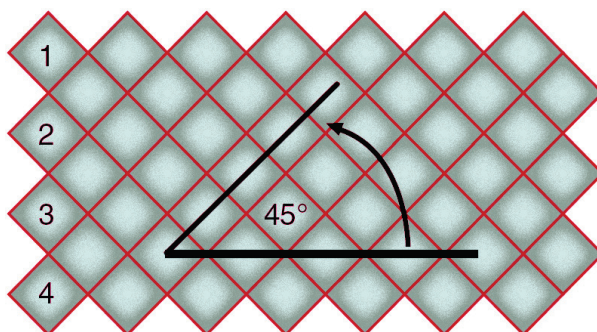
### **Proračun broja čašica za heksagon uzorke gravirane pod kutom od 60° i 30°**

$$\text{broj čašica na inč}^2 = (\text{linijatura} * \text{linijatura}) * 1,15 \quad (2.11)$$

Na primjer: za linijaturu od 500 cpi, broj čašica po kvadratnom inču iznosi 287 500.

### **Kvadratni uzorak sa kutom graviranja od 45°**

Ovaj način graviranja najčešće se koristi za nanošenje ljepila. Raspored čašica kod ovog principa graviranja je takav da se spajaju četiri zida čašica, zajedno na istom mjestu, stvarajući velika spojna područja. Upravo su velika spojna područja razlog zašto je heksagon uzorak graviranja pod kutom od 60°, nakon što je uveden, podigao fleksotisak na novu višu razinu. Kvadratni način graviranja pod 45°, prikazan na slici 2.40, još uvijek se koristi kod debljih filmova bojila gdje se zbog debljeg nanosa prekrivaju spojna područja ili gdje mogućnost viđenja uzorka graviranja na otiscima ne predstavlja nikakvu zapreku. Međutim, napretkom tehnologije graviranja, mora se primijetiti da su heksagon uzorci pod 30° i 60° sve više dostupni sa većim volumenom čašice. Razlog sve veće primjene su manja spojna područja i mogućnost graviranja plićih čašica čime se omogućava lakše čišćenje. [60]



*Slika 2.40 Kvadratni uzorak graviranja pod kutom od 45°*



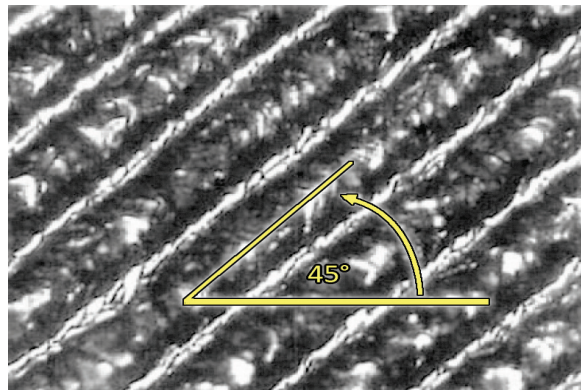
## Proračun broja čašica za kvadratne uzorke gravirane pod kutom od 45°

$$\text{broj čašica na inč}^2 = \text{linijatura} * \text{linijatura} \quad (2.12)$$

Na primjer: za linijaturu od 500 cpi, broj čašica po kvadratnom inču iznosi 250 000.

## Graviranje s uzorkom trostruke uzvojnice pod kutom od 45°

Ovaj način graviranja u obliku trostruke uzvojnice (spirale), prikazan na slici 2.41, stvara kontinuiranu nit. Budući da je to kanalni način graviranja nema pojedinačnih čašica te su dostupni veći volumeni aniloks valjaka. Međutim, može dovesti do vidljivih linija na otisku, a s druge strane idealan je za ispuštanje zraka prolaskom rakel. Ovaj uzorak se koristi kada je tiskovna podloga vrlo upojna (hidrofilna), premaz vrlo gust te se treba prenijeti veća količina bojila ili ljepila u kratkom vremenu. Budući da je polovica zida čašice u obliku spirale ovaj uzorak može biti koban za oštricu rakel. [60]



*Slika 2.41 Graviranje s uzorkom trostruke uzvojnice pod kutom od 45°*

## Alternativna geometrija graviranja

Razvoj naprednih laserskih tehnologija povećao je broj alternativnih načina graviranja. Značajni razvoj postignut je kod novog kanalnog načina graviranja koji se razlikuje od kanalnog načina pod kutom od 30° i nema čašice. Razvijen je softver koji omogućava neuniformiranost heksagon oblika, a rezultat je kombinacija heksagon čašica i izduženih čašica. Namjena ovog načina graviranja prilagođena je krućim bojilima, pokrivnoj bijeloj boji te specijalnim lakovima. Daljnja istraživanja trebaju pokazati njihovu primjenu za procesni rasterski i kombinirani tisak. S povećanjem brzine tiska, pigmentacije bojila i drugih grafičkih značajki razvoj alternativnih načina graviranja i dalje će se nastaviti u pogledu primjene različitih uzoraka i netradicionalnih kutova graviranja. [60]

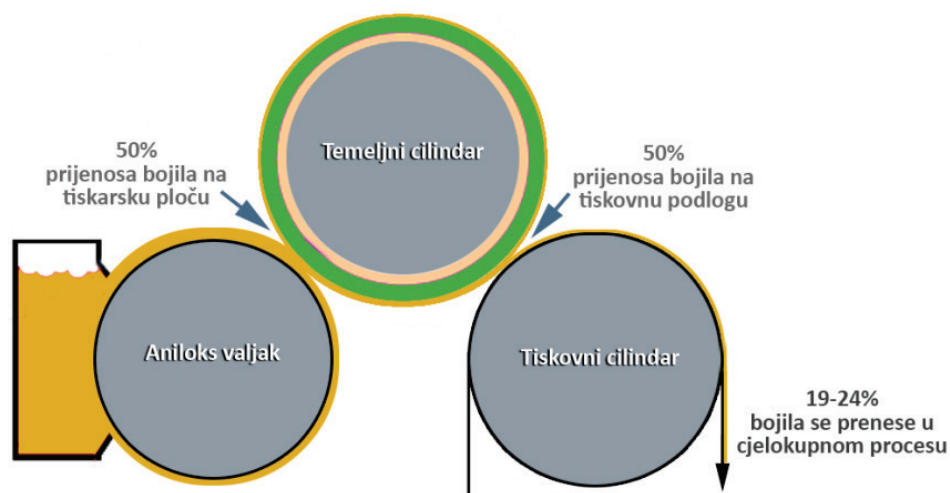
## 2.4.4 Primjena aniloks valjka

Proizvođači aniloks valjaka su se suočili s brojnim zahtjevima glede optimalnog prijenosa bojila. Kromirani aniloks valjci s plitkim čašicama su zamijenjeni sa laserski graviranim čašicama sa strmim zidovima (stjenkama). Dubina čašica je povećana. Dublje čašice obično ne otpuštaju bojilo tako dobro kao pliće. Otvor čašice aniloks valjka se smanjuje kako se povećava linijatura. Zahtjev je za zadrži ili poveća gustoća obojenja, a da se istovremeno osigura bolja distribucija bojila.

### Prijenos bojila u procesu tiska

Poznavanje viskoznosti bojila vrlo je važno za postizanje dobrih i dosljednih rezultata u tisku. Međutim, bitno je poznavati svojstva prijenosa samih tekućina koja su ovisna o reološkim svojstvima fluida. Kada se izračunava potreban volumen aniloks valjka treba biti siguran da izračun uzima u obzir dinamika tekućina. To je možda najveća pogreška u procesu određivanja odgovarajućeg volumena aniloks valjka. Postavlja se pitanje: Koliko bojila se zaista prenese sa aniloks valjka na tiskovnu podlogu?

Dugi niz godina vjerovalo se da je stvarna količina bojila koja se prenese na tiskarsku ploču, a potom na tiskovnu podlogu upravo ukupni volumen aniloks valjka, sve dok sredinom 90-tih godina nije razjašnjena ova problematika (tvrtka Harper Corporation). Istraživanja su pokazala da, ne samo da to nije slučaj, nego se zapravo samo 23%–25% od volumena aniloks valjka prenese na podlogu u 99% ispitivanih tekućina, uključujući i bojila. Stoga je odgovor na postavljeno pitanje o stvarnom prijenosu bojila malo iznenađujući: oko 50% bojila se prenese sa površine aniloks valjka na tiskarsku ploču, a zatim 50% na tiskovnu podlogu. [63]



*Slika 2.42 Prijenos debljine filma bojila od aniloks valjka do tiskovne podloge*

Slika 2.42 prikazuje logiku prijenosa filma bojila koji se smanjuje na 19–24% izvorne raspoložive debljine filma, definirane volumenom aniloks valjka. Stoga ako se izračuna volumen "x" koji je potreban za obojenje, tada se taj volumen "x" množi sa 4. Ta vrijednost predstavlja potreban volumen aniloks valjka za primjenu kod definiranih uvjeta tiska, odnosno prema opisanim zakonitostima prijenosa bojila.

Do vrlo jednostavnog zaključka može se doći promatrajući što se događa kada se obično ljepilo stavi na jedan prst, a zatim dotakne sa drugim. Kao što je prikazano na slici 2.43 dinamika fluida zapravo dovodi do razdvajanja tako da 50% tekućine zapravo ostaje na površini s koje potječe. Taj fenomen razdvajanja je nešto što se događa i na mikroskopskoj razini sa svim tekućinama koje se prenose s jedne površine na drugu. [57]



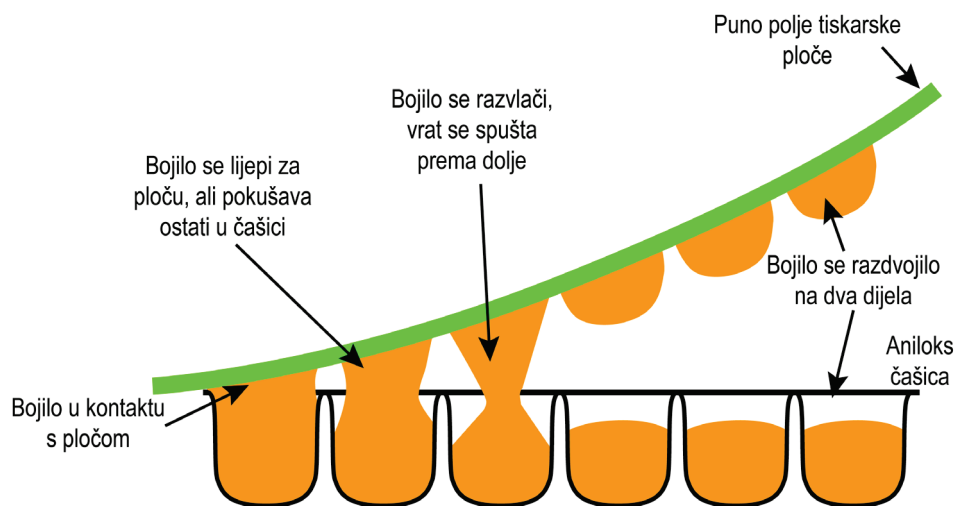
*Slika 2.43 Prikaz fenomena razdvajanja ljepila između dva prsta može se povezati s prijenosom bojila između dviju površina tijekom tiskovnog procesa [57]*

Ovakav princip razdvajanja događa se i kod bojila tijekom procesa otiskivanja. Jedini potreban preduvjet za prienos i prihvaćanje bojila je dovoljno velika površinska energija tiskovne podloge. Stoga je i površinska energija važan utjecajni parametar u tisku, posebno prilikom otiskivanja na polimerne materijale gdje se bojilo zbog karakteristika površine ne prihvaća dobro.

### **Odabir aniloks valjka**

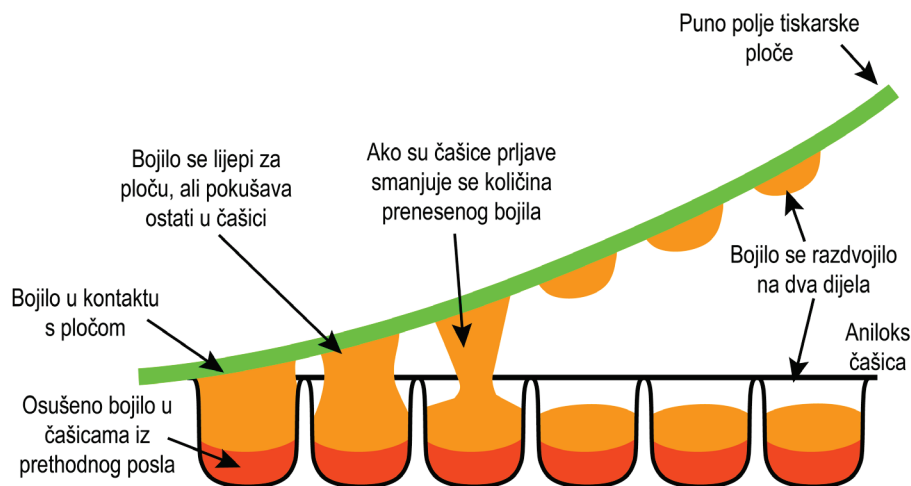
Da bi se prirast RTV i debljina filma bojila držali pod kontrolom i da bi se dobili što bolji rezultati u tisku, minimalno četiri čašice aniloks valjka moraju biti u kontaktu sa rasterskim elementom na tiskarskoj ploči. Kod velikih linijatura tiskarske ploče taj odnos može ići do šest naprama jedan.

Dva osnovna čimbenika koji određuju specifikaciju aniloks valjka su: linijatura tiskarske ploče i svojstva tiskovne podloge. Bojilo se može upiti u samu strukturu tiskovne podloge ili pak može ostati na površini. Ovisno o ponašanju tiskovne podloge, određuje se potreban volumen aniloks valjka. Što je tiskovna podloga više upojnija potreban je veći volumen aniloks valjka. Također i vrsta tiska utječe na potreban volumen. Procesni tisak zahtijeva manje bojila od tiska punih tonova. Budući da je potreban veći volumen za postizanje veće gustoće obojenja, promjenom linijature aniloks valjka omogućena je dovoljna fleksibilnost. Ako se koristi ova metoda, tada je vrlo bitna čistoća čašica aniloks valjka. Slika 2.44 prikazuje prijenos bojila kod čistih, a slika 2.45 kod prljavih čašica aniloks valjka. Primjenom mikroskopa uz povećanje 200x može se kontrolirati čistoća, ali i širina zidova aniloks čašica. Nakon određenog vremena uporabe povećava se širina zida aniloks valjka, a samim time utječe na smanjenje volumena. [64]



**Slika 2.44** Tipično razdvajanje bojila prilikom prijenosa između aniloks valjka i tiskarske ploče

Prilikom prijenosa bojila kada tiskovna površina (raster ili puno polje) dolazi u kontakt sa aniloks valjkom bojilo se nastoji prenijeti, ali bočne strane i dno čašice nastoje zadržati bojilo koje poprima oblik pješčanog sata, slika 2.44. Ovo razdvajanje bojila se događa ponovno između tiskarske ploče i tiskovne podloge. Fleksotiskarski proces obično prenese na tiskovnu podlogu između 19% i 24% bojila ukupnog volumena čašice. Taj princip razdvajanja je još jedan razlog zašto se mora održavati čistoća čašica aniloks valjka jer u suprotnom dolazi do drastičnog smanjenog prijenosa bojila kao što je prikazano na slici 2.45.



*Slika 2.45 Prijenos bojila kod prljavih čašica aniloks valjka*

## 2.5 BOJILA I SUSTAVI ZA OBOJENJE ZA FLEKSOTISAK

### 2.5.1 Sustavi za obojenje

Bojilo se do tiskovne podloge distribuira putem sustava za obojenje, a postoje dva izrazito različita sustava: sustav sa pojedinačnim nožem i zatvoreni sustav s dva noža koji se sve češće koristi. Sustav za obojenje načelno prenosi bojilo počevši od aniloks valjka preko tiskovne forme koja se nalazi na temeljnom cilindru do tiskovne podloge posredstvom pritiska na tiskovni cilindar. Rakel skida višak bojila s aniloks valjka, a kutovi oštrice u odnosu na dodirnu točku na zatvorenom sustavu su predefinirani.

Industrijski standard za nož koji je postavljen suprotno smjeru vrtnje aniloks valjka je otprilike  $30^{\circ}$ – $35^{\circ}$ , slika 2.46. Manji kutovi stvaraju veću kontaktnu površinu i zahtijevaju veći pritisak noža kako bi se dobila čista površina. Ovo povećanje pritiska stvara pretjerano trošenje aniloks valjka i oštrice noža. Preporuča se koristiti isti materijal na obje strane komornog sustava kako bi se uklonila mogućnost neujednačenog pritiska. Uski fleksotiskarski strojevi za procesni tisak najčešće su opremljeni sa klasičnim sustavom za obojenje, a široki fleksotiskarski strojevi sa zatvorenim sustavom za obojenje.

Odstranjivač viška bojila mora biti postavljen apsolutno ravno i bez valova. Da bi se spriječilo nastajanje valova držač oštrice se zateže pomoću vijaka od centra prema van. Kao i kod ostalih mjesta prijenosa bojila i ovdje je minimalni pritisak oštrice ključni za kvalitetan tisak.



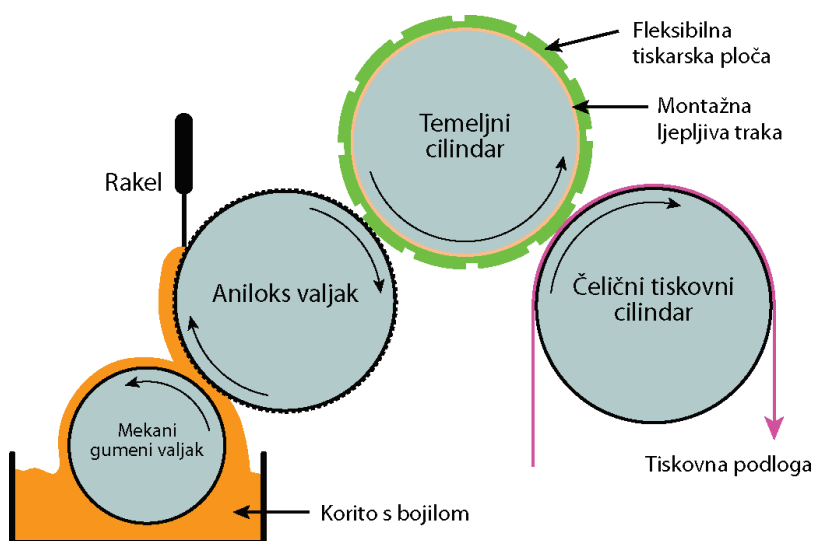
*Slika 2.46 Kut oštrice odstranjivača bojila prema aniloks valjku kod dva različita sustava za obojenje*

### Sustav za obojenje s klasičnim rakelom

To je sustav za obojenje sa dva valjka, a shema je prikazana na slici 2.47. Valjak koji rotira u bojilu u otvorenoj metalnoj posudi napravljen je od gume. Aniloks valjak preuzima bojilo s gumenog valjka te prenosi na tiskovnu formu. Uzduž aniloks valjka postavljen je rakel koji skida višak bojila s njegove površine ostavljajući je samo u čašicama. Na taj se način omogućava jednakomjerni nanos bojila na tiskovnu formu. Rakel je elastična metalna traka debljine približno 0,1 mm, a može biti napravljen od plastike ili drugih sintetskih materijala.

Odstranjivač bojila se postavlja i podešava prema aniloks valjku pod:

- različitim pritiskom i
- različitim kutom
  - „pozitivno“ u smjeru vrtnje
  - „negativno“ suprotno smjeru vrtnje

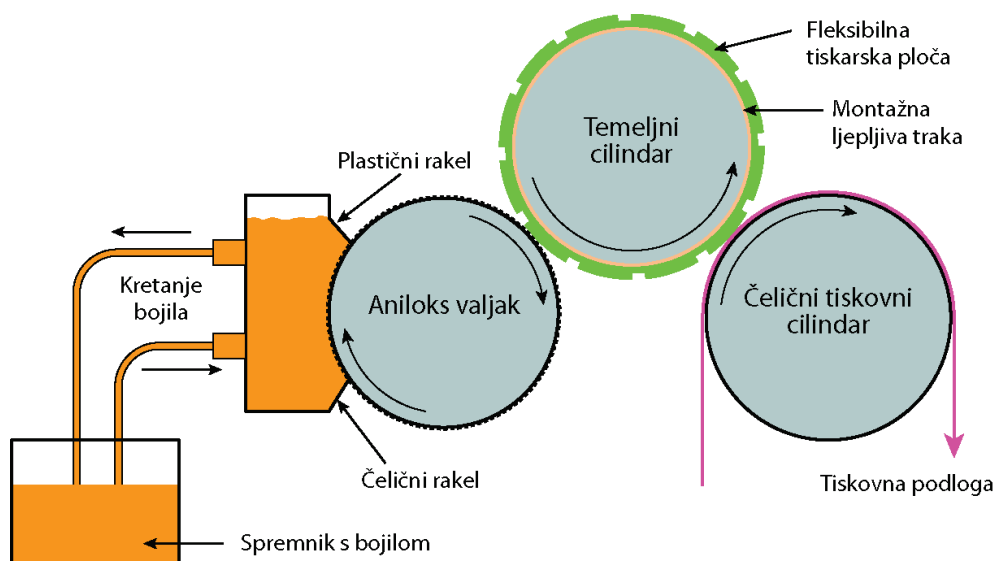


*Slika 2.47 Sustav za obojenje s klasičnim rakelom*

## Sustav za obojenje s komornim rakelom

Ovaj sustav za obojenje povećava kvalitetu tiska i ima prednosti glede očuvanja okoliša jer sprječava emisiju štetnih tvari iz bojila u atmosferu. Sastoji se od dva rakel: plastičnog rakel postavljeneog suprotno smjeru vrtnje te čeličnog rakel postavljeneog u smjeru vrtnje aniloks valjka. Rakeli su međusobno udaljeni 5 cm, ali može varirati ovisno o proizvođaču. Rakel suprotan smjeru vrtnje valjka skida višak bojila, a drugi rakel zatvara komoru u kompaktnu cjelinu. Komora je zatvorena na krajevima valjka. Bojilo se dostavlja pomoću pumpe obično u sredinu komore, ali kod širih formata strojeva može se dostaviti na nekoliko mjesta. Shema komornog sustava za obojenje prikazana je na slici 2.48.

Sustav za obojenje s komornim rakelom omogućava bolju kontrolu korištenja bojila i veću dosljednost bojila za vrijeme tiska. Rezultat je stabilnija viskoznost bojila, a operater na tiskarskom stroju ima bolju kontrolu nad prijenosom bojila. Smanjenje emisije s obzirom na sustav za obojenje s klasičnim rakelom za vrijeme pripreme stroja je 50%, a za vrijeme tiska iznosi 20%.



*Slika 2.48 Sustav za obojenje s komornim rakelom*

### 2.5.2 Bojila za fleksotisak

Fleksotisak je razvojni proces i kroz godine razvoja konstantno se poboljšava kvaliteta reprodukcije. Jedna od najznačajnijih prekretnica bila je primjena UV bojila i danas je UV fleksotisak postao standard za uske i široke tiskarske strojeve. Nudeći značajne prednosti u odnosu prema bojilima na bazi vode i na bazi otapala, UV bojila doživljavaju eksplozivan rast

u fleksotiskarskoj industriji. Razlog je mogućnost postizanja veće gustoće obojenja, a samim time i kvalitete reprodukcije, uslijed primjene tanjeg filma bojila.

Kada se tiska sa tradicionalnim bojilima na bazi vode ili otapala, za sušenje se koristi toplina. Bojilo se suši kroz proces isparavanja koji uklanja oko 35–40% dostavljene količine bojila. Drugim riječima mora se dostaviti 40% više volumena na podlogu s vodenim ili solventnim bojilima kako bi se postigla željena gustoća obojenja. [65]

Od svih sastojaka bojila, temeljna komponenta je ona koja daje obojenje (pigment), a zatim tekuća baza koja osigurava transport od spremnika bojila do podloge. Ostali dijelovi i dodaci sastava bojila kontroliraju proces distribucije bojila, fiksiraju pigment na podlozi i poboljšavaju specifična obilježja otiska.

Osnovna svojstva i karakteristike bojila koja se primjenjuju u fleksotisku su:

- **Velika kohezija:** Kohezija se definira kao sila koja djeluje između čestica iste tvari, u ovom slučaju bojila. To je zapravo snaga koja je potrebna da se čestice bojila razdvoje.
- **Mala viskoznost:** Bojila su vrlo rijetka, a za mjerenje viskoznosti se koristi Fordova čašica. Pomoću nje se mjeri protok određenog volumena bojila u jedinici vremena kroz rupicu definiranog  $a$ .
- **Velika pokrivnost:** Gustoću obojenja na otisku između ostalog određuje debljina filma bojila koji se kreće u rasponu od 2–15  $\mu\text{m}$ .
- **Veliki sjaj:** Sjaj na otisku isključivo zavisi od stupnja glatkosti odnosno hrapavosti njegovih površina s time da glatkija površina daje veći sjaj.
- **Izvrсна tečljivost:** To je sposobnost grafičkih boja da se dobro i ravnomjerno raspoređuje po površini valjka.
- **Brzo sušenje na tiskovnoj podlozi:** Sušenje bojila razlikuje se obzirom na vrstu bojila. Bojilo se ne smije sušiti u koritu niti na stroju u procesu tiska, već samo na tiskovnoj podlozi.

Proizvođači bojila su tako suočeni sa brojnim zahtjevima u pogledu njihovih karakteristika i ponašanja prije i za vrijeme procesa tiska. Na primjer, ako bojilo brže suši na tiskovnoj podlozi, ono će se brže osušiti u čašicama aniloks valjka.



## **Bojila na bazi vode**

Bojila na bazi vode (engl. Water based ink) se koriste za tisak na papire i kartone. Tisak na takvim podlogama je vrlo uspješan zbog upijajućih svojstava vlakana papira pa se tako voda djelomično apsorbira u podlogu, a dijelom ispari u okolinu. Međutim, primjena bojila na filmovima i folijama stvara poteškoće zbog razlike u površinskoj napetosti između bojila i podloge. Stoga je potrebno površinu obraditi pomoću korone da se poveća površinska energija tiskovne podloge kako bi se olakšao prijenos i prianjanje bojila na bazi vode.

Fleksibilna ambalaža može bit izložena specifičnim utjecajima okoline što nije slučaj sa većinom proizvoda od papira. To su proizvodni programi koji su prilikom pakiranja izloženi parama amonijaka niske koncentracije i vodenoj pari te moraju biti otporni na te utjecaje.

Bojila na bazi vode imaju veću koncentraciju pigmenta po volumenu od bojila na bazi otapala. Prema tome, za postizanje istih rezultata u tisku, potreban je manji volumen aniloks valjka.

## **Solventna bojila**

Bojila na bazi otapala ili solventa (engl. Solvent based ink) bila su popularna dugi niz godina i pružala su odlične rezultate na neupijajućim površinama kao što su polimerne folije (PP, OPP, BOPP, PE, PVC, PET). To su bila prva komercijalno dostupna tiskarska bojila za fleksotisak, a popularnost primjene povezana je uz brzo sušenje, funkcionalnost i široku primjenu.

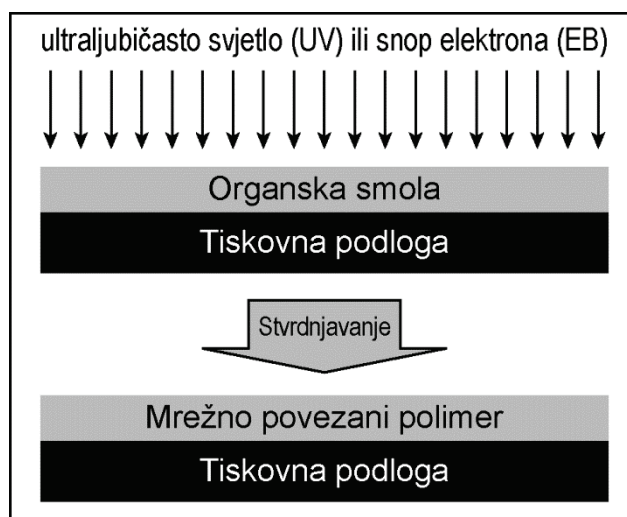
Zbog otapala u tim bojilima, prije svega hlapivih organskih spojeva (engl. Volatile Organic Compounds – VOC), pokrenuta su pitanja o zaštiti zdravlja i sigurnosti na radu, budući da su vrlo zapaljiva i uzrokuju respiratorne i druge zdravstvene probleme. U doba rastuće ekološke svijesti i smanjenja tolerancije spram zagađenja okoliša, zbrinjavanje otpada postaje najvažnija stavka prilikom izbora materijala za izradu grafičkog proizvoda. Tako je, prema propisima Agencije za zaštitu okoliša (EPA), korištenje i odlaganje otapala mukotrpan i vrlo skup proces. Zbog toga su se, gdje god su bila primjenjiva, počela koristiti bojila na bazi vode. Međutim, rad sa vodenim bojilima na podlogama poput folija stvara određene poteškoće. Nadalje, bojila na bazi vode mogu se sušiti u čašicama aniloks valjka, smanjujući tako dostupni volumen čašica te se javlja potreba za vađenjem valjka iz tiskarskog stroja radi pranja. Tipični sastav bojila na bazi vode i na bazi otapala prikazuje tablica 2.6.

**Tablica 2.6** Tipični sastav tiskarskog bojila na bazi vode i otapala

Komponenta	Raspon vrijednosti (%)
Pigment	8–12
Veziva	10–15
Solvent / voda	60–80
Dodaci	2–5

## UV bojila

Značajan doprinos sve snažnijem razvoju fleksografskog tiska pridonose i ekološki prihvatljiva UV i EB tiskarska bojila. To su bojila koja stvrđavaju djelovanjem zračenja (engl. Radiation cured, Radcure), a općeniti prikaz procesa je prikazan na slici 2.49. S njima je moguće u potpunosti zamijeniti uporabu tiskarskih bojila na bazi otapala. Glavna prednost ovih tiskarskih bojila je izrazito brzo sušenje, prvenstveno na neupijajućim podlogama, bez stvaranja hlapivih organskih spojeva (VOC).



**Slika 2.49** Općeniti prikaz procesa stvrđavanja energijom zračenja [66]

UV bojila ne suše na zraku nego stvrđavaju djelovanjem UV zračenja u rasponu od 200-400 nm tako da nepokazuju tendenciju sušenja u čašicama aniloks valjka. Ne postoji komponenta koja isparava pa nema potrebe za pranjem između tiska naklade. Tiskarski stroj se bez pranja može ostaviti preko vikenda, a u ponedjeljak je i dalje spreman za rad. UV bojila se ponašaju kao tekući polimer. Kada se bojilo izlaže UV zračenju, dolazi do fotoinicirane polimerizacije odnosno stvaranja krutog sloj boje.

Brzina sušenja UV bojila može se znatno povećati ako se instaliraju UV sustavi sušenja s primjenom dušika. U inertnom atmosferi sprječava se djelovanje kisika koje usporava proces polimerizacije, odnosno sušenje bojila. [67]

Cjelokupni sastav UV bojila prikazan je u tablici 2.7. UV zračenje omogućava polimerizaciju poliakrila. UV tiskarska bojila ne stvrđnu trenutno u potpunosti, pa se nakon toga odvija naknadno stvrđnjavanje koje može trajati do 24 sata. Bojilo koje se nije do kraja osušilo sadrži ne reagirale spojeve koji bi mogli doći u kontakt s osjetljivom hranom i higijenskim proizvodima. Iz tog razloga se ova tiskarska bojila ne koriste u izradi tih proizvoda. [10]

**Tablica 2.7** Tipični sastav UV tiskarskih bojila

Komponenta	Raspon vrijednosti (%)
Pigment	15–20
Akrilni monomer	40–60
Akrilni oligomer	15–25
Dodaci	1–2
Fotoinicijator	10–12

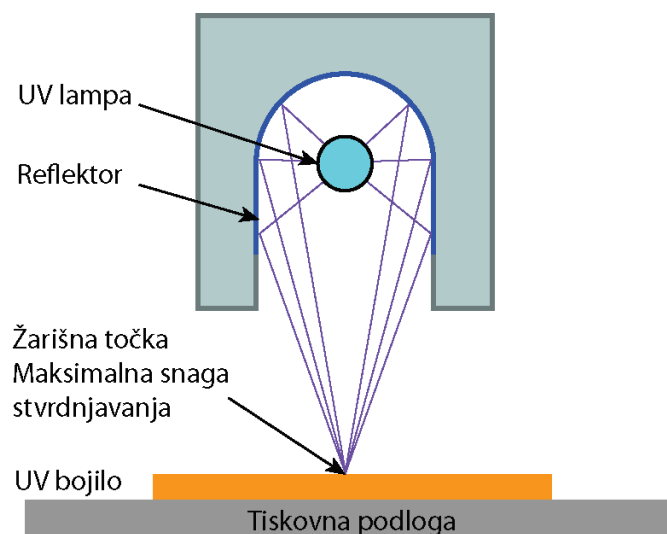
Prilikom sušenja nijedna komponenta se ne uklanja iz bojila te se gotovo 100% od prenesene količine koristi za stvaranje obojenja. Da bi se postigla ista gustoća obojenja sa UV bojilom, kao sa bojilom na bazi vode, dovoljan je aniloks valjak sa 35% manje volumena pod pretpostavkom da se prenijelo sve bojilo iz čašica. Naravno da viskoznost ima ključnu ulogu u određivanju postotka prijenosa bojila (engl. transfer factor). UV bojila su relativno gusta sa viskoznosti u rasponu od 300–1200 mPa.s kod 25°C dok vodena i solventna bojila imaju viskoznost u rasponu od 50–100 mPa.s. Prema tome, za očekivati je da je koeficijent prijenosa kod vodenih i solventnih bojila veći. Međutim, zbog veće viskoznosti smanjuje se prelijevanje bojila (engl. bleeding) i prirast RTV što rezultira oštrijom slikom. To je posebno važno za reprodukciju tankih linija i vinjeta te za procesni tisak.

Jedna od najvećih prednosti UV bojila je da ne mijenjaju konzistentnost zbog isparavanja i promjene pH vrijednosti, a održiva je i za vrijeme tiskovnog procesa. Isparavanjem konvencionalnih bojila na bazi vode i otapala rezultat je sustav koji je stalno promjenjiv. Tijekom vremena bojilo mijenja viskoznost i time utječe na prihvaćanje. Zbog sklonosti začepeljivanja čašica aniloks valjaka primjenom tradicionalnih bojila, valjci se čiste agresivnim kemikalijama što može dovesti do oštećenja čašica. Tijekom vremena čišćenje rezultira značajnim troškovima povezanim sa otpadom i njegovim zbrinjavanjem. Unatoč čišćenju,

prije ili kasnije, doći će do začepljivanja čašica što iziskuje dodatnu uslugu. To se ne događa sa UV bojilom koje ostaje vlažno i održava konzistenciju sve dok nije izloženo UV zračenju.

Dok su troškovi održavanja i otpad kod UV bojila manji, značajno je veće početno ulaganje, a i preporuča se širi asortiman aniloks valjaka. Na nekim polimernim podlogama UV bojila se dobro ne prihvaćaju pa ih je prethodno potrebno površinski obraditi koronom. Primjenom bojila manje tečljivosti teže se otiskuju ravnomjerni tonovi (što je dobro za procesni tisak i tisak finih linija i teksta). To je osobito izraženo kod aniloks valjka sa heksagon uzorkom graviranja pod 60°, a rezultira opsežnom pojavom praznina (engl. pinholing), dok je sa primjenom aniloks valjka sa heksagon uzorkom graviranja pod 30° taj efekt smanjen.

UV bojila zahtijevaju posebne lampe koje fokusiraju UV energiju na površinu tiskovne podloge kao što je prikazano na slici 2.50. Kupnja UV lampi je značajan trošak, a moguća je i nabava dodatne opreme koja odvodi toplinu iz tiskarskog stroja. Osim UV spektralne komponente svjetla koja se koristi za stvrdnjavanje, lampe emitiraju značajnu količinu IR zračenja. IR energija ne pruža nikakvu korist, zapravo ima negativan učinak stvaranjem topline na površini tiskovne podloge (u stanju mirovanja može doći do oštećenja ). Takav učinak i ušteda energije mogu se smanjiti podešavanjem izlazne snage UV lampe u odnosu na brzinu tiska i debljinu prenesenog bojila za pojedinu tiskovnu jedinicu. Postoji mnogo vrsta dostupnih lampi poput lampi u obliku parabole, površinski premazanih te hlađene vodom ili zrakom. Važno je odrediti karakteristike lampe s reflektorom koje odgovaraju debljinama filma bojila koje se najčešće koriste.

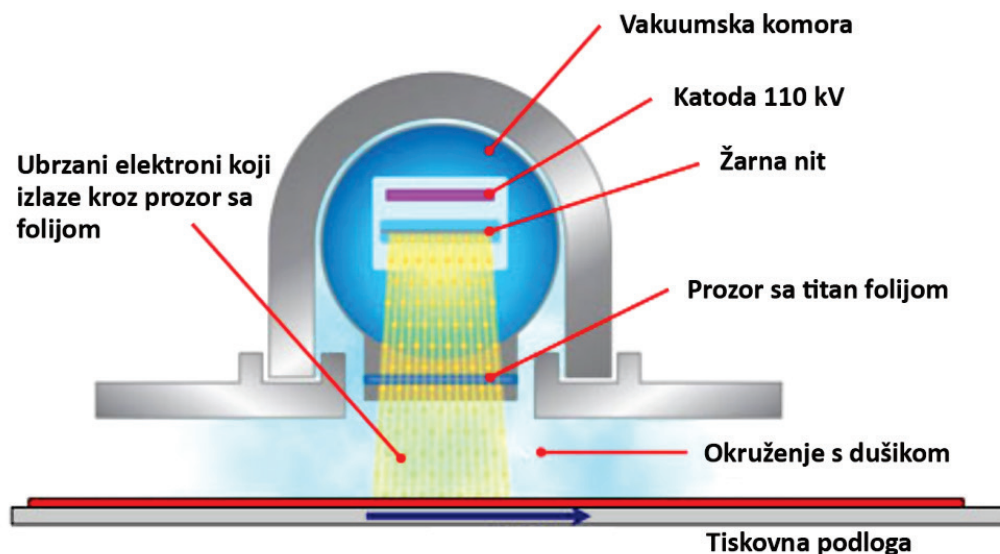


**Slika 2.50** Fokusiranje energije svjetla kod stvrdnjavanja UV bojila

## EB tiskarske boje

Nedostatak UV bojila da ne smiju doći u kontakt s osjetljivom hranom i higijenskim proizvodima izbjegnut je uporabom EB tiskarskih bojila tj. bojila koja stvrđavaju djelovanjem snopa elektrona. Proces sušenja EB tiskarskih bojila odvija se djelovanjem velike energije ionizirajućeg zračenja uslijed čega dolazi do otpuštanja slobodnih elektrona koji iniciraju kemijsko vezanje bojila.

Prijenos velike količine energije pobuđuje molekule iz reaktivnog veziva u bojilu i tvori oblak sekundarnih elektrona i slobodnih radikala čijom reakcijom dolazi do lančane polimerizacije. Za razliku od UV inicirane polimerizacije, EB polimerizacija ne treba fotoinicijatore za pokretanje tog procesa. Zbog nepostojanja fotoinicijatora nema neugodnih mirisa niti pojave požućenja uslijed djelovanja UV zraka te ne iritira kožu. Stoga je ovaj način „sušenja“ bojila pogodan za izradu ambalaže za prehrambene proizvode. Stvrđavanje se odvija u djeliću sekunde i nije potrebno dodatno hlađenje podloge, kao kod UV sušenja. Pošto nema potrebe za post stvrđavanjem, otisnuta traka može se odmah dalje obrađivati.



*Slika 2.51 Shematski prikaz principa EB stvrđavanja [68]*

Ubrzavanje elektrona događa se u vakuumskoj komori gdje se više metalnih žarnih niti koje su raspoređene paralelno sa kretanjem trake, zagrijavaju do temperature od oko 2000°C, a zatim počnu emitirati elektrone. Princip je isti kao kod klasične žarulje gdje elektroni stvaraju fotone. Vakuumska komora je zatvorena s tankom titan folijom debljine nekoliko mikrona. Elektroni prolaze titan foliju i usmjeravaju se prema tiskovnoj podlozi koja se nalazi na vrlo maloj udaljenosti od folije. Prostor između folije i podloge je ispunjen inertnim plinom,

obično dušikom. Baš kao i kod UV bojila, inertna atmosfera sprječava oksidaciju. Cjelokupni proces shematski je prikazan na slici 2.52. [69]

Ovu vrstu sušenja bojila moguće je izvesti na kraju tiskovnog procesa, s izrazito zadovoljavajućom kvalitetom reprodukcije, odnosno moguće je tiskati sustavom „mokro na mokro“. Nedostaci EB sušenja su nekompatibilnost s konvencionalnim tiskarskim bojilima te veći troškovi investiranja.

Pomoću EB bojila može se tiskati veliki broj različitih materijala, obično sa predobrađenom površinom tiskovne podloge pomoću korone u liniji sa tiskom radi lakšeg prihvaćanja i prijanjanja bojila. PET, PP i PE tretirane folije daju dobre rezultate, ali nije svaka folija pogodna i stoga ih treba provjeriti prije upotrebe. Razlog može biti diskoloracija (promjena boje) ili neugodan miris koji se javlja kada se folija izloži EB zračenju.

Tisak na prozirne (transparentne) folije zahtjeva primjenu EB pokrivne bijele boje. S obzirom na redosljed boja u tisku, bijela se boja može tiskati kao zadnja kod obrnutog tiska na prozirnu tiskovnu podlogu ili se na podlogu tiska kao prva u nizu. Kada se tiska kao prva nije moguće tiskati sustavom „mokro na mokro“ zbog različitih formulacija i debljine filma bojila.

### **2.5.3 Pokrivna bijela boja**

Veliki izazov za današnju fleksotiskarsku industriju je postizanje velike neprozirnosti (opaciteta) bijele boje. Postavlja se pitanje koliki opacitet se može postići sa pokrivnom bijelom bojom. Važnije od odgovora na ovo pitanje je odrediti ciljanu vrijednost opaciteta bijele boje. U današnjem fleksotiskarskom okruženju sasvim je moguće postići opacitet od oko 80%, budući da je došlo do ogromnog napretka u svim potrebnim faktorima koji utječu na vrijednost opaciteta, uključujući aniloks valjak, bojila, rakel, montažnu ljepljivu traku, polimer, UV lampe, tisak i tretiranje podloge. [70]

#### **Predobrada površine**

Kako površinska napetost utječe na prihvaćanje bojila? Osnovna pretpostavka je da površinska napetost podloge mora biti veća od površinske napetosti bojila kako bi se postiglo odgovarajuće prihvaćanje bojila ili spajanje s drugim materijalima. Neobrađene folije i filmovi imaju malu razinu površinske energije te kao takvi nisu dobri za prihvaćanje bojila.

Najčešća vrsta površinske predobrade je električno ili korona pražnjenje (engl. Corona discharge treatment-CDT), pri čemu dolazi do aktivacije površine, odnosno povećanja površinske energije tiskovne podloge. Ostale vrste obrade površine su pomoću plazme i UV zračenja. Nakon što je prethodno podloga tretirana, bez obzira na vrstu tretmana, bilo koja vrsta bojila može se prihvatiti što je osobito važno za tisak pokrivnom bijelom bojom koja se obično tiska kao prva u nizu.

Otisak na kojemu bojilo ne prianja dobro na podlogu izgleda poput "mottle" efekta odnosno nejednakomjernosti nanesenog bojila. Hrapavost podloge omogućava bojilu da se lakše prihvati, poboljšava kvašenje bojila, a tisak se izvodi bez problema.

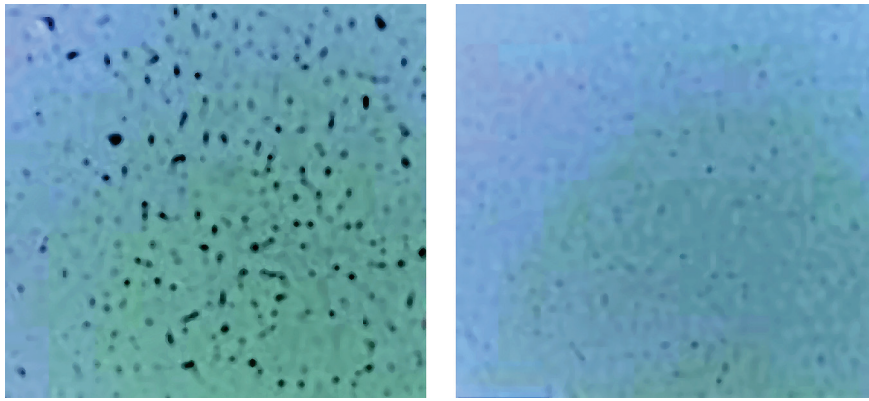
Popratna pojava tako obrađenog filma je da se on slabo ili uopće ne vari na obrađenom području (druga strana filma može se variti).

### **Tiskarski stroj i UV lampe**

Tisak tankih filmova više ne predstavlja izazov za fleksotisak. Željeni stupanj opaciteta bijele boje određuje debljina nanosa bojila, a s time je povezana i snaga potrebnih UV lampi. Obično se koriste lampe snage 400–600 W. Ako se koristi volumen aniloks valjka od 20 BCM–a možda će trebati dvije odvojene UV lampe ili lampe s većim valnim duljinama. Tako će se omogućiti bolje prodiranje UV zračenja, a samim tim i sušenje pokrivne bijele boje. Također je bitno provjeriti jesu li su lampe u dobrom stanju i jesu li su reflektori čisti. Do 70% korisne svjetlosne energije upravo dolazi od reflektora lampe.

### **Polimer i montažna ljepljiva traka**

Tvrdoća polimera u kombinaciji sa odabirom montažne ljepljive trake ima značajan utjecaj na opacitet pokrivne bijele boje. Ovaj izbor može utjecati na prihvaćanje bojila te razinu "mottle" efekta i pojavu praznina (engl. pinhole) u tisku. Primjena pravila o odabiru polimera i ljepljive trake vrlo je važna. Sa srednje tvrdim polimerom se koristi tvrda ljepljiva traka, a sa tvrdim polimerom se koristi srednje tvrda ljepljiva traka. Rezultati će varirati ovisno o formulaciji bojila te će utjecati na razinu opaciteta pokrivne bijele boje i kvalitetu tiska na nju. Slika 2.52 prikazuje otiske dobivene tvrdim polimerom i različitim tvrdoćom ljepljive trake (lijeva slika–tvrda ljepljiva traka, desna slika–srednja ljepljiva traka).



*Slika 2.52 Utjecaj vrste polimera i ljepljive trake na pojavu praznina na otisku*

### **Rakel**

Još jedan važan faktor je odabir noža za odstranjivanje viška bojila. Za uspješno odstranjivanje gustih bojila kod većih volumena, kao što je slučaj za bijelu boju, potrebni su noževi debljine između 0,2– 0,3mm. Testiranjem će se odrediti najbolji odabir na temelju tečljivosti bojila i željene proizvodne brzine.

### **Bojila**

Važan faktor za postizanje većeg opaciteta pokrivne bijele boje je korištenje bojila visoke neprozirnosti. Testiranjem će se utvrditi razina neprozirnosti zajedno sa drugim elementima u sustavu, ali formulacija bojila će biti ključni faktor. Tijekom posljednjih nekoliko godina nove formulacije bojila su smanjile viskoznost UV bojila, uključujući i bijelo bojilo. Neka bijela bojila manje čestice titan dioksida – pigmente, a druga imaju dodatke koji poboljšavaju tiskarska svojstva i neprozirnost bojila.

### **Aniloks valjak**

Naposljetku, specifikacija graviranja aniloks valjka će biti ključni faktor u postizanju što većeg opaciteta pokrivne bijele boje. Primjenom trakastog, testnog aniloks valjka može se utvrditi koja razina opaciteta se može postići pod utjecajem svih relevantnih utjecajnih parametara. Za visoko neprozirna UV bojila za postizanje opaciteta od 80% i više trebat će aniloks valjak sa minimalno 16 BCM–a. Promjena vrijednosti opaciteta za 1% u odnosu na ciljane vrijednosti zahtjeva razliku u volumenu od 2 BCM–a. [71]



## **Mjerenje opaciteta**

Uređaj za mjerenje opaciteta zove se opacimeter. Osim ovog specijaliziranog uređaja može se koristiti i spektrometar. Odabire se mjerenje prema CIELAB modelu boja, a prozirni film sa otisnutom bijelom površinom se stavi na crnu podlogu. Mjeri se puno polje bijele boje, a vrijednost za svjetlinu ( $L^*$ ) se koristi kao vrijednost za opacitet. Ako se tiska na samoljepivim materijalima, skine se folija i zalijepi na crnu podlogu. Mjehurići zraka između slojeva folije i podloge moraju se istisnuti van.

## **Ciljana vrijednost opaciteta**

Nakon definiranja ciljne vrijednosti opaciteta, odabire se aniloks valjak prihvatljivog volumena. Zatim se prelazi na odabir montažne ljepljive trake i polimera kako bi se mogla testirati bojila. Na otisku se pomoću definiranih metoda izmjeri trenutna razina opaciteta. Na osnovu izmjerene i ciljne vrijednosti odabire se adekvatni aniloks valjak. Ako se tijekom ili prije probnog tiska pojavi "mottling" efekt treba provjeriti stanje tretiranosti folije. Pristup "stare škole" za povećanje opaciteta zasniva se na rastriranju punih tonova u rasponu od 96–100%, a u novije vrijeme primjenom naprednih rasterskih tehnologija. Osim toga, ovisno o formulaciji bojila, može se dogoditi da povećanje brzine tiska pomogne u "zaglađivanju" ili "kvašenju" bijele boje. Prilikom testiranja promjena brzine se mijenja u koracima od 15m/min. Također treba imati na umu da povećanje opaciteta zahtjeva povećanje volumena aniloks valjka što u konačnici rezultira i povećanjem troškova.

## **2.6 TISKOVNE PODLOGE ZA FLEKSOTISAK**

Tiskovna podloga je opći pojam za ambalažne materijale koji se tiskaju u flekotisku i drugim tiskovnim procesima. Odabir tiskovne podloge nije nužno povezan uz njezine karakteristike, nego i uz njezinu funkcionalnost. Zahvaljujući svestranosti fleksotiska gotovo da ne postoji materijal koji se pomoću ove tehnike ne može tiskati. Gotovo svaki materijal koji se može formirati u obliku role, može se i otisnuti pomoću fleksotiska. Na kvalitetu tiskanog proizvoda više utječe sama tiskovna podloga nego proces reprodukcije.

Ambalažna industrija koristi različite materijale kako bi se zadovoljili zahtjevi širokog asortimana proizvoda za pakiranje, kao na primjer fleksibilna ambalaža za prehrambene proizvode, etikete, kutije od valovitog kartona, složive kartonske kutije i ostalo.

Tiskovne podloge mogu se svrstati u tri glavne kategorije:

- papiri i kartoni
- filmovi i folije
- višeslojne podloge / laminati

## 2.6.1 Papiri i kartoni

### Papiri

Papir je plošna tvorevina izrađena ispreplitanjem tankih vlaknaca, a proizvodi se iz drveta, tekstilnih otpadaka ili organskih materijala. Vrste papira koje se koriste za ambalažu i u grafičkoj industriji obično se izrađuju iz drvene celuloze i/ili recikliranog papira i kartona, koji se potom kemijski ili mehanički obrađuje za proizvodnju celulozne pulpe. Pulpa se izbjeljuje i obrađuje u stroju za izradu papira kako bi se proizvela kontinuirana traka. Papir po želji može biti premazan ili drugačije površinski obrađen kako bi se poboljšala njegova površina i estetske karakteristike.

Najčešća gramatura papira koja se koristi za tisak i izradu ambalaže je u rasponu od 60–120 g/m<sup>2</sup> (debljina između 0,07 mm i 0,18 mm). Granična točka između papira i kartona smatra se 160 g/m<sup>2</sup>. Papir ima široku industrijsku primjenu, uključujući pakiranje proizvoda, kao komponenta za višeslojnu ambalažu i za mnoge druge vrste komercijalnog tiska.

### Kartoni

Karton (engl. carton board, paperboard) je naziv za papirnate materijale gramature od 200–600 g/m<sup>2</sup> odnosno debljine od 0,35 – 0,8 mm. Prvenstveno se koristi u industriji ambalaže za izradu složivih kartonskih kutija, ali se također koristi kod izrade drugih grafičkih proizvoda.

Izrađuje se u obliku jednoslojnih i višeslojnih materijala. Kod jednoslojnih kartona izrada je na samo jednom uzdužnom situ. Višeslojni kartoni obično sadrže tri sloja, a mogu sadržavati četvrti sloj koji je obično zaštitni. S obzirom na kvalitetu kartona za izradu složivih kutija razlikuju se: izbijeljeni kartoni od celuloze (GZ), neizbijeljeni kartoni od celuloze (CUK), kartoni od primarnih vlakana (GC) i kartoni koji sadrže stari papir (GD/GT). Što se tiče površinske obrade mogu biti: fino premazani kartoni (jednostrano premazani ili obostrano premazani) i premazani kartoni (kromokarton, tripleks i dupleks kartoni).

## Valoviti kartoni

Valoviti karton (engl. corrugated card) je sastavljen od jednog ili više slojeva valovitog papira i jednog ili više slojeva ravnog papira koji su međusobno povezani ljepilom, odnosno između dva ravna sloja papira (engl. liner) nalazi se valoviti sloj papira (engl. fluting). Kvaliteta i uporaba kutija od valovitog kartona ovisi o vrsti papira koji se ugradi u valoviti karton. Upotrebljavaju se papiri od čiste celuloze, celuloze miješane s drvenjačom i papira koji su dobiveni od papirnatog otpada. Ljepila koja se upotrebljavaju za lijepljenje valova na ravne površine papira su mineralnog ili biljnog podrijetla, a danas se sve više upotrebljavaju kvalitetna sintetska ljepila.

Papir koji će se koristiti za izradu valovitog kartona ovisi o tome da li je namijenjen izradi transportne ili komercijalne ambalaže. Za transportnu ambalažu koriste se papiri većih gramatura, a za komercijalnu u papiri manjih gramatura. [72]

Osnovni cilj izrade višeslojnog valovitog kartona je proizvesti što tvrđu i čvršću strukturu konačnog proizvoda (kutije) što je vrlo bitno za proizvode koje je potrebno zaštititi od oštećenja. Stoga se vrlo često sirovi valoviti karton kašira sa papirom ili kartonom, odnosno međusobno se sljepljuju.

Mikroval (E-val) je najtanji materijal iz skupine valovitih kartona, ali ima najveću gustoću valova središnjeg sloja. Pogodan je za kutije manjih dimenzija te pruža veliku čvrstoću i otpornost na vanjske utjecaje. Kaširani mikroval je spoj dvoslojnog mikrovala i kartona. Povezuje dobre karakteristike mikrovala (čvrstoća, otpornost) i kartona (sjaj, tisak visoke kvalitete) koje su potrebne za izradu kvalitetne kutije.

### 2.6.2 Filmovi i folije

Folije i filmovi se obično karakteriziraju kao tanki sloj sintetičkog polimera. Razlika između filma i folije je u njihovoj debljini. Folija je film debljine veće od 0,200 mm (200 mikrona) što znači da se folija koristi samo u vrlo rijetkim slučajevima. Većinom se koriste filmovi debljine od 20 do 200 mikrona. Međutim, u primjeni za ovu skupinu materijala često se koristi izraz folija (u engleskom govornom području koristi se izraz „film“, a u njemačkom izraz „Folien“). Postoji mnogo vrsta filmova, a njihova primjena ovisi o njihovim fizikalnim i kemijskim svojstvima. Filmovi se općenito specificiraju njihovom masom (plošnom masom) izraženom u  $\text{g/m}^2$  i debljinom u mikrometrima, a za neke je korisno znati i njihovu gustoću izraženu u  $\text{g/cm}^3$ .

Predobrada filmova će značajno utjecati na njihovu površinsku napetost i omogućiti da se bojilo veže na površinu tiskovne podloge (netretirana površina plastičnih filmova je male površinske energije jer je nepolarna i hidrofobna). Napetost površine mjeri se u jedinicama dyn/cm (engl. dyne,  $1 \text{ dyn/cm} = 10^{-5} \text{ N/cm}$ ). Ukoliko se kao tiskovna podloga koristi film iz polipropilen, polietilen ili PVC razina površinske napetosti treba biti u rasponu od 38–44 dyn/cm. Može se koristiti posebna olovka za testiranje podloge te odrediti površinska napetost filmova prije početka tiska. To može uštedjeti mnogo vremena i smanjiti poteškoće prilikom tiska.

Predobrada se može izvoditi u liniji sa tiskom ili odvojeno. Jedan od najčešćih postupaka je korona pražnjenje, a glavni problem je da djelotvornost opada odmah nakon tretmana. To je potaknulo prerađivače filmova da ugrade sustav predobrade u liniji s tiskom, neposredno prije tiskovnih jedinica, kako bi se osigurala visoka kvaliteta tiska, pogotovo kada se koriste bojila na bazi vode ili bojila koja stvrdnjavaju djelovanjem zračenja. [73]

Najčešće korišteni polimerni filmovi su izrađeni iz polietilena male gustoće (LDPE), polipropilena (PP), biaksijalno orijentiranog polipropilena (BOPP) i polietilentereftalata (PET).

## **Polietilen**

Polietilen (PE) je jedan od najčešće korištenih plastičnih materijala, a u obliku filma se najčešće proizvodi postupkom ekstruzije taline (engl. extrusion). Uz ostale dobre karakteristike naširoko se koristi zbog svoje ekološke prihvatljivosti u odnosu na PVC. Samoljepive etikete izrađene od polietilena mogu se reciklirati zajedno s ambalažom.

Polietilen se općenito može podijeliti na dvije standardne skupine:

- LDPE– polietilen niske gustoće (engl. low density) i
- HDPE– polietilen visoke gustoće (engl. high density).

Primjenjuje se za izradu fleksibilne ambalaže, vrećica za trgovinu, folija za pakiranje i industrijske filmove. Polietilen niske gustoće karakterizira žilavost te otpornost na kidanje, djelovanje kiselina i alkalija, ali najčešća mu je mana što nije potpuno proziran. S druge strane, polietilen visoke gustoće ima znatno veću čvrstoću i tvrdoću, ali je iz tog razloga znatno krući od LDPE filma. Osim toga, otporniji je na kemikalije, a propusnost plinova mu je pet do šest puta niža nego kod LDPE filma. Prilikom tiska na polietilen najčešće su prednosti njegova otpornost na otiranje, minimalno skupljanje, mala krutost te otpornost na kidanje. [74]

## **Polipropilen**

Polipropilen (PP) također svoju primjenu u grafičkoj industriji nalazi u obliku tankog filma, a osim sličnih svojstava s polietilenom, odlikuju ga veća čvrstoća i krutost, otpornost na više temperature i veća prozirnost. Stoga služi za izradu ambalaže veće krutosti i postojanosti pri višim temperaturama iznad 100°C. Polipropilenski filmovi se proizvode ekstruzijom taline polimera.

Površina polipropilenskog filma odbija, odnosno slabo prima bojilo stoga je potrebno povećati adheziju između njih. Jedan od mogućih postupaka je predobrada površine korona pražnjenjem što dovodi do pojave mikrobrazdanja površine. No duljim stajanjem se gubi kemijski učinak korone. Stoga je poželjno tiskati i zavarivati foliju ubrzo nakon provedene obrade. Za kvalitetan otisak je važno da napetost površine filma bude veća od napetosti površine bojila.

Osnovna podjela PP filmova:

- monoaksijalno orijentirani film (OPP) i
- biaksijalno orijentirani film (BOPP).

Glavna značajka BOPP filma je izvrsna otpornost na djelovanje UV zračenja, dobra nepropusnost za vlagu i mirise te odlična tiskarska svojstva. Najčešće se koristi debljine od 15 – 30 mikrometara kao jednoslojni ili višeslojni (laminati) ambalažni materijal te mogu biti prozirni, bijeli neprozirni i metalizirani. Oni također imaju prednost da su netoksični i mogu se u potpunosti reciklirati. U grafičkoj industriji se koristi za izradu fleksibilne ambalaže i etiketa, a također se naširoko koriste za umatanje i industrijsko pakiranje proizvoda.

Važno je naglasiti da prilikom tiska do izražaja najviše dolaze dobra svojstva PP filmova poput vrlo visoke otpornosti na kidanje, podatnost prilikom štancanja i izuzetno ravna površina materijala, a vizualno kod gotovog proizvoda do izražaja dolazi prozirnost tih materijala.

## **Poliester**

Poliester odnosno polietilentereftalat (PET) filmovi se proizvode ekstruzijom polimera, naknadnim hlađenjem i istežanjem koje (u svrhu dobivanja biaksijalne orijentacije). Od dobrih svojstava PET filmova mogu se naglasiti izvanredna transparentnost, otpornost na relativno visoke temperature, otpornost na kidanje i istežanje, dobra dimenzionalna stabilnost

prilikom tiska i visoku otpornost na djelovanje otapala što rezultira vrlo širokom upotrebom tih materijala.

### **Polivinil–klorid**

Polivinilklorid (PVC) je materijal koji je već ranije spomenut zbog ekološke neprihvatljivosti u usporedbi s drugim polimernim materijalima. Njegova je primjena u novije doba sve rjeđa, zbog kancerogenih svojstava monomera vinil–klorida, a s obzirom na jačanje ekološke svijesti, kvalitetu i neškodljivost drugih polimernih materijala, to je sasvim razumljivo. Ipak, PVC se još uvijek često susreće na ambalaži i to prije svega u prehrambenoj industriji, iz jednog, za vizualni izgled ambalaže, vrlo važnog razloga. PVC se pod utjecajem viših temperatura skuplja i samim time prilagođava obliku ambalaže što stvara efekt koji je u današnje vrijeme pri oblikovanju proizvoda nerijetko i presudan. Od ostalih dobrih karakteristika može se spomenuti i niska propusnost plinova, a prilikom tiska na tu vrstu materijala važna je otpornost na kidanje, dobro štancanje, dimenzionalna stabilnost i precizan registar. [74]

### **2.6.3 Višeslojni materijali (laminati)**

Višeslojni materijali ili laminati (engl. multilayer, laminations) nastaju spajanjem dva ili više slojeva materijala zajedno. To može uključivati različite kombinacije materijala iz širokog spektra fleksibilnih supstrata kao što su tanke aluminijske folije, plastični filmovi i papir. Ovi materijali imaju različita fizikalna svojstva i različite su debljine, a sve u cilju poboljšanja barijernih svojstava konačnog proizvoda. Prvenstveno se koriste u izradi fleksibilne ambalaže gdje krajnji korisnici neprestano zahtijevaju nove i poboljšane načine zaštite svojih proizvoda (metalizirani papiri, metalizirane folije, kartoni za mlijeko).

Pregled primjene višeslojne fleksibilne ambalaže i opis njezine zaštitne uloge:

- Pakiranje zamrznutih proizvoda – Proizvodi se često zamrzavaju na niskim temperaturama do  $-18^{\circ}\text{C}$  kao što su voće, povrće i tijesto, a uloga ambalaže je da očuva njihova mehanička i fizička svojstva.
- Pakiranje gotovih juha – Dehidriranu hranu poput juha, ambalaža mora zaštititi od vlage, stranih mirisa, kisika i svjetlosti.
- Pakiranje „snack“ proizvoda– Ambalaža za grickalice (čipsevi, flipsevi, štapići, krekeri i slično) štiti proizvod od svjetlosti i utjecaja kisika.

- Pakiranje pastoznih proizvoda– Proizvodi poput kečapa, majoneza i sličnih su izuzetno osjetljivi proizvodi te zahtijevaju kvalitetnu ambalažu koja će ih zaštititi.
- Pakiranje kave– Pakiranje kave je vakumsko, a ambalaža treba sačuvati specifična svojstva kave. Uobičajeni izbor za višeslojnu ambalažu je PET/AL/PE folija.
- Pakiranje tekućina– Proizvodi poput mlijeka, sokova i drugih pića imaju najveće zahtjeve u pogledu zaštitne uloge ambalaže.
- Pakiranje sladoleda, deterdženata i ostalih proizvoda.

#### **2.6.4 Aluminijska folija**

Aluminijska folija je jedna od najvažnijih i najčešće korištenih hladno valjanih proizvoda iz aluminija i aluminijskih legura, a uglavnom se koristi za komercijalne proizvode. Trajnost, niska cijena i jedinstvena kombinacija svojstava su dodatni argumenti koji idu u prilog korisnosti aluminijske folije za različita područja primjene. Štoviše, aluminijska folija je također ekološki prihvatljiva, jer se može reciklirati i ponovno koristiti. Aluminijske folije se razvrstavaju prema debljini u rasponu između 0,006 mm i 0,200 mm. Kada debljina prelazi 0,200 mm tada se govori o aluminijskim limovima i trakama. Aluminijska folija se proizvodi različite čistoće, odnosno u obliku legura gdje jedan posto ili manje čine elementi poput željeza (Fe), silicija (Si), mangana (Mn), magnezija (Mg) ili kroma (Cr).

#### **Značajke aluminijske folije**

Specifične karakteristike folijama daje kemijski sastav pojedine legure, a zajedničke karakteristike svih legura su:

- aluminijska folija ne reagira s većinom organskih spojeva
- otpornost aluminijske folije na kemijske utjecaje je ovisna o specifičnosti spoja ili njegovih komponenti
- korozija se javlja u prisutnosti soli, ali u takvim slučajevima folija se prethodno obrađuje ili laminira što sprječava izravan kontakt
- prehrambeni proizvodi ne reagiraju s aluminijskom folijom
- aluminijska folija je neprozirna

## **Područja primjene**

- Prerađivačka folija, pogodna je za daljnju obradu (laminiranje, tisak). Prerađena se koristi za pakiranje hrane i pića, kozmetike, farmaceutskih i duhanskih proizvoda, konditorskih proizvoda, a neki od njih su prikazani na slici 2.53.
- Folija za tehničke svrhe (npr. glatke ili reljefne izolacijske folije, namijenjene za daljnju obradu s bitumenom ili drugim izolacijskim materijalima, folije za ljepljive trake, ...)
- Folija za domaćinstvo

Tako široko područje primjene dolazi od izvrsnih svojstava aluminijske folije: mala gustoća, dobra električna vodljivost, dobra duktilnost (plastična deformacija), otpornost na koroziju, dobra refleksija svjetlosti, nepropusnost na svjetlo i netoksičnost.

## **Proizvodni proces izrade aluminijske folije**

Sirovina za proizvodnju tankih traka i folija su hladno valjane trake. Trgovački naziv za te trake je „foil stock“. Dobivljaju se u debljini od 0,3 mm te se dalje valjaju na strojevima do željene debljine.

Folije se proizvode pojedinačno ili u paru što znači da se dvije folije valjaju u isto vrijeme. Vanjska strana koja je u kontaktu s valjcima stroja ima visoki sjaj, dok unutarnja strana gdje se folije dodiruju, ostaje matirana (bez sjaja). Postupak valjanja u paru se koristi za sve one folije čija je konačna debljina manja ili jednaka 0,050 mm.

Većina folija se nakon valjanja se obrađuje na visokim temperaturama u peći. Izlaganjem visokim temperaturama postižu se željena konačna svojstva aluminijske folije, ali se i s površine uklanjaju ostaci ulja sa valjaka. Aluminijska folija se naime, u toku proizvodnog procesa valjanja podmazuje sa uljima. Tako obrađena folija je odmašćena i sterilna što je bitno za uporabu u prehrambenoj industriji. Na kraju se aluminijska folija namata na različite vrste tuljaca. Po završenom obrezivanju i razrezivanju folija se namata do željenog vanjskog a ili do željene dužine i tada je spremna za isporuku.

## **Prerađivačka aluminijska folija**

Aluminijska folija se kao tiskovna podloga upotrebljava samostalno ili u obliku višeslojnih materijala, kaširana sa papirom ili plastičnim filmovima. Ako se folija dalje kašira ili se na nju tiska, treba je dodatno pripremiti. Folija se može premazati zaštitnim lakom koji služi kao



zaštita od kemijskog djelovanja, ali i kao mehanička zaštita od oštećenja. Lak je ujedno i dobar podložni sloj za tisak, a otisci su otporniji prema otiranju. Svrha nanašanja temeljnog premaza na metalne podloge je stvaranje površine pogodne za prihvaćanje drugog premaza ili bojila. Osim ove metode koristi se i predobrada folija pomoću korona pražnjenja.

Aluminijska folija ima široku primjenu u ambalažnoj industriji:

- za pakiranje hrane i pića– poklopci za čašice, vratovi staklenih boca, pakiranje kave, pakiranje maslaca i sira, pakiranje konditorskih proizvoda (čokolade, ...). Debljina folije za ovu namjenu je u rasponu od 0,008–0,050 mm.
- za farmaceutsku industriju– blister folije, alu–alu blister pakiranja (engl. cold form foil). Debljina folije za ovu namjenu je u rasponu od 0,020–0,025 mm.



*Slika 2.53 Primjena prerađene aluminijske folije*

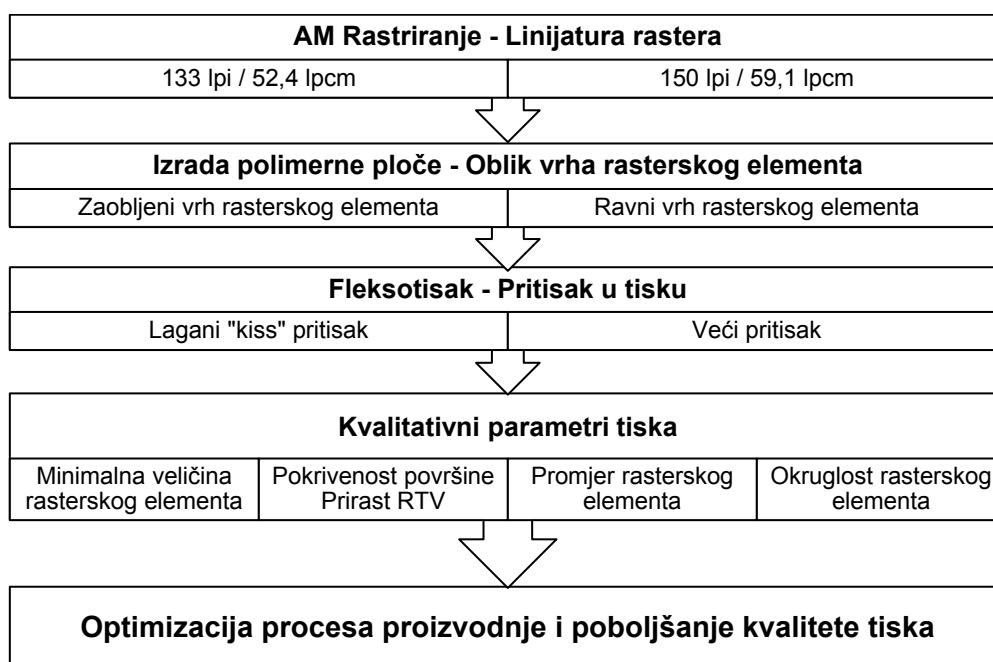
### 3. EKSPERIMENTALNI DIO

Na temelju uočenih problema te iskazanih hipoteza, postavljen je eksperiment koji opisuje utjecaj triju specifičnih varijabli na reprodukciju tonova s ciljem optimizacije procesa proizvodnje i poboljšanja kvaliteta tiska. Postoje mnoge varijable koje se mogu analizirati, ali je odlučeno da se usredotoči na oblik vrha rasterskog elementa na ploči, linijaturu rastera i pritisak u tisku.

Također na temelju dosadašnjih istraživanja koja su usmjerena na definiranje svih relevantnih utjecajnih parametara i određivanje kvalitativnih parametara reprodukcije u cjelovitom procesu grafičke reprodukcije u fleksotisku te preliminarnih rezultata eksperimenta ukazala se potreba za nadopunom i proširenjem spoznaja oko reprodukcije finih prijelaza prvenstveno u svijetlim područjima.

#### 3.1 METODOLOGIJA I PLAN ISTRAŽIVANJA

Istraživanje je koncipirano tako da može dati odgovore na pitanja kako odabrane varijable utječu na kvalitativne parametre u tisku. Okvir za istraživanje prikazan na slici 3.1 opisuje odabrane varijable i njihove vrijednosti te svrhu istraživanja. Za svaku fazu procesa reprodukcije odabrana je po jedna utjecajna varijabla definirana sa dvije specifične vrijednosti.



*Slika 3.1 Okvir za istraživanje*

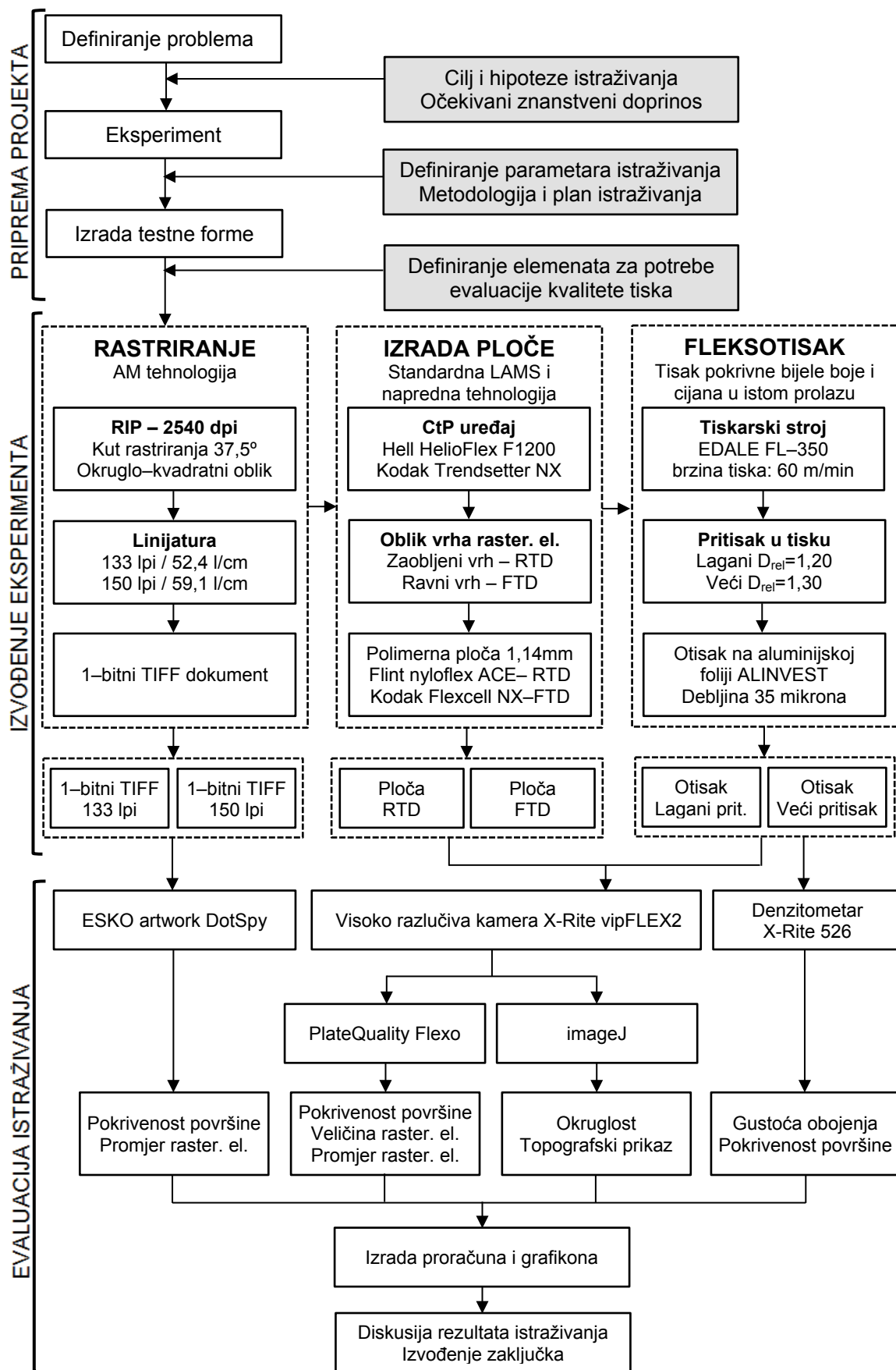
Ovo istraživanje uspoređuje parametre kvalitete tiska s utjecajem geometrije rasterskog elementa usredotočujući se na oblik vrha rasterskih elemenata i linijaturu na ploči te pritisak prilikom tiska. Cilj je proučiti kako različiti procesi izrade polimerne ploče utječu na geometriju rasterskog elementa na osnovu utjecaja najvažnijih varijabilnih parametara fleksotiska. Od tri moguća mjesta u sustavu za obojenje gdje je moguće promijeniti pritisak u tisku, ovo istraživanje je usmjereno na pritisak između tiskarske ploče i tiskovnog cilindra.

Kod kvalitetne reprodukcije tonских vrijednosti na polimernoj ploči i na otisku, od izuzetne je važnosti definirati odgovarajući korelacijski odnos varijabilnih parametara i kvalitativnih parametara reprodukcije kako bi se omogućila egzaktna kontrola pojedinog procesa unutar cjelokupnog radnog tijeka. Takav pristup može značajno unaprijediti proizvodni proces i rezultirati povećanjem kvalitete otiska.

Evaluacija kvalitete reprodukcije rasterskih elemenata istražuje se kroz sve tri faze procesa: rastriranje, izrada polimerne ploče i u tisku, odnosno na 1-bitnom tiff dokumentu, na polimernoj ploči i na otisku. Na 1-bitnom tiff dokumentu mjeri se veličina rasterskog elementa te postotak pokrivenosti kod dvije linijature pomoću softvera DotSpy te uspoređuje sa teoretski proračunatim vrijednostima dobivenih pomoću kreirane formule iz poglavlja 3.2.

Evaluacija geometrije rasterskog elementa na polimernoj ploči i otisku provodi se metodom slikovne analize pomoću softvera PlateQuality Flexo te prethodnim snimanjem predložaka pomoću X-Rite vipFlex2 kamere uz povećanje 200x. Denzitometrijske vrijednosti mjere se pomoću denzitometra X-Rite 526 na odgovarajućim kontrolnim poljima na otiscima dobivenim laganim i većim pritiskom. Kolorimetrijske vrijednosti za cijan i bijelu boju mjere se pomoću spektrometra GretagMachbeth i1. Uzorkovanje za denzitometrijsko mjerenje vrši se metodom nasumičnog odabira tri uzoraka iz dobro otisnute naklade.

Okruglost rasterskog elementa kroz sve tri faze rada analizira se metodom slikovne analize pomoću softvera ImageJ. Rezultati dobiveni provedenim istraživanjem statistički se obrađuju, prikazuju u tablicama i grafikonima te obrazlažu. Na temelju rezultata istraživanja dobiti će se odgovor o utjecaju oblika vrha rasterskog elementa, linijature i pritiska u tisku na sve relevantne parametre kvalitete reprodukcije te odrediti njihove optimalne vrijednosti za tisak na aluminijskoj foliji. Izložit će se i diskutirati dobiveni rezultati istraživanja te izvesti zaključci povezani s hipotezama istraživanja. Detaljna shema plana istraživanja počevši od pripreme projekta preko izvođenja samog eksperimenta do evaluacije istraživanja prikazana je na slici 3.2.



Slika 3.2 Detaljna shema plana istraživanja

### 3.2 ODREĐIVANJE ODNOSA LINIJATURE RASTERA I ANILOKS VALJKA

Prije samog izvođenja eksperimenta potrebno je definirati ključne parametre izrade polimerne ploče i procesa tiska kako bi se cijeli eksperiment izvodio u strogo kontroliranim uvjetima što mu osigurava da bude dosljedan i ponovljiv. U ovom poglavlju će se opisati metoda određivanja minimalne veličine rasterskog elementa na ploči i u tisku te povezati s odabirom optimalnog odnosa linijature rastera i linijature aniloks valjka kako bi se osigurali optimalni uvjeti za izvođenje eksperimenta. Definirat će se vrijednosti koje će se kasnije primijeniti u istraživanju.

Određivanje minimalne veličine rasterskog elementa (engl. minimum dot) je tema od značajnog interesa, ali i zagonetka za mnoge u fleksotisku. Minimalna veličina određena je najmanjom veličinom rasterskog elementa koji je stabilan tijekom reprodukcije, a razlikuje se obzirom na definirane uvjete. Odnos veličine rasterskog elementa na polimernoj ploči prema veličini čašice aniloks valjka ima direktni utjecaj na kvalitetu fleksotiska. Ovisno o vrsti i linijaturi rastera te sposobnosti tiskovnog procesa i vrsti materijala određuje se minimalna veličina rasterskog elementa koji se može održati na polimernoj ploči i u procesu tiska [75].

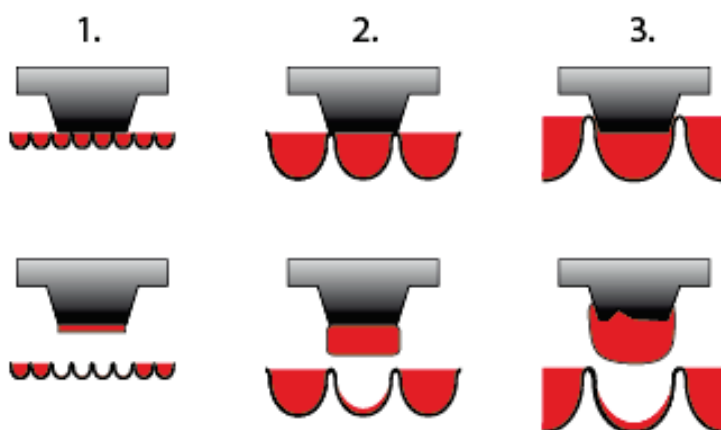
Karakteristika reprodukcije polimerne ploče koja nema definiranu minimalnu veličinu rasterskog elementa je pojava naglog prekida tonova u svijetlim područjima. Ovisno o definiranoj minimalnoj veličini rasterskog elementa na ploči određuje se linijatura aniloks valjka za tisak. Zapravo, postoje dvije vrste minimalne veličine rasterskog elementa. Prva je fizička veličina koja se može održati na polimernoj ploči, a ovisi o cjelokupnom procesu izrade ploče. Na primjer, ako ta veličina odgovara 3% RTV na digitalnoj slici, rasterski elementi manji od 3% će se izgubiti jer ih tiskarska ploča ne može održati. Druga vrsta je minimalna veličina rasterskog elementa održiva u tisku, a ovisi o uvjetima tiskovnog procesa. U tisku se ta vrijednost povećava kao rezultat prirasta RTV, a veća je za otprilike 5–10%. Karakteristika tako otisnute slike su nagli prekidi i oštri rubovi poznati u fleksotisku kao efekt odrezanih tonova (engl. cut off effect).

Odnos između rasterskog elementa i linijature aniloks valjka može se prikazati kroz tri specifične situacije [76] prikazane na slici 3.3:

**Situacija 1.** Rasterski element i aniloks valjak sa relativno finom linijaturom postigli su homogeno obojenje. U ovom slučaju veći broj čašica aniloks valjka podržava jedan rasterski element tiskarske ploče. U ekstremnim situacijama to može dovesti do premalog obojenja rasterskog elementa (engl. dot starvation) te male gustoće obojenja u tisku.

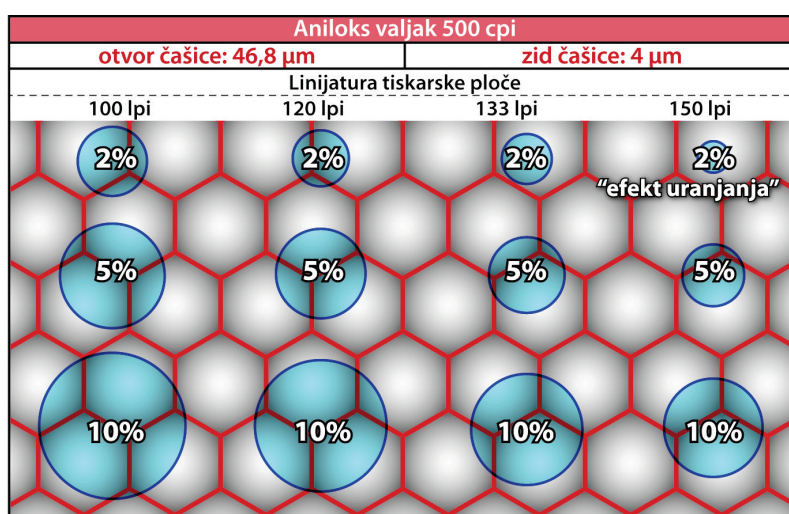
**Situacija 2.** Koristi se ista veličina rasterskog elementa kao u prvom slučaju te aniloks valjak sa grubljom linijaturom. Rasterski element i dalje podupire zid čašice te će preuzeti maksimalnu količinu bojila. Prijenos bojila je veći, tako da je bojilo više stiješnjeno i može uzrokovati tiskovnu nejednakomjernost (engl. Mottling ) i/ili veliki prirast RTV.

**Situacija 3.** Linijatura aniloks valjka je pregruba. Rasterski element tiskarske ploče će uroniti u čašicu i biti prekriven bojilom. U ovom slučaju rasterski element zapravo ulazi u aniloks čašicu (engl. dot dipping) preuzimajući previše bojila te može dovesti do vrlo prljavog otiska.



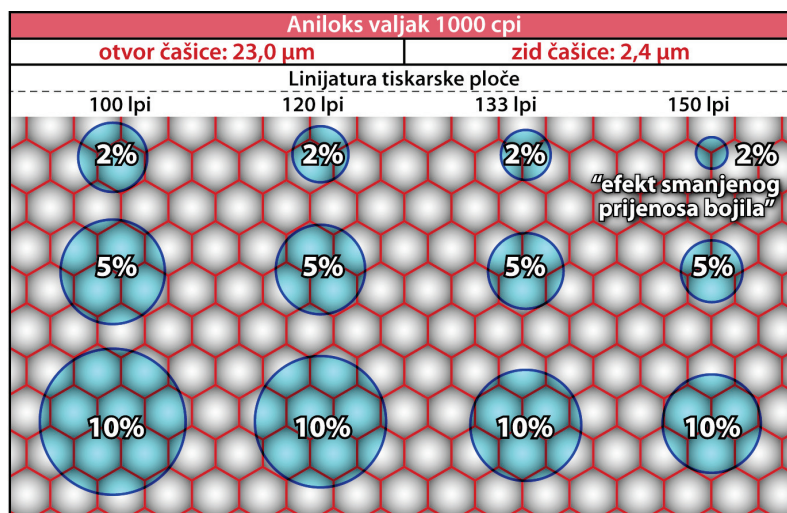
*Slika 3.3 Tri specifične situacije odnosa između rasterskog elementa i linijature aniloks valjka*

Sljedeći modeli vizualno prikazuju dvije različite linijature aniloks valjka u odnosu prema četiri različite linijature tiskarske ploče sa rasterskim elementima pokrivenosti površine od 2%, 5% i 10%.



*Slika 3.4 Odnos veličine rasterskog elementa i čašice aniloks valjka linijature 500 cpi (otvor čašice 46,8  $\mu\text{m}$ , zid čašice 4  $\mu\text{m}$ ) [77]*

Primjećuje se da su neki rasterski elementi manji od čašica aniloks valjka. U tim situacijama doći će do uranjanja tiskovnog elementa u bojilo kao što je prikazano na slici 3.4 za rasterski element od 2% RTV kod 150 lpi.



*Slika 3.5 Odnos veličine rasterskog elementa i čašice aniloks valjka linijature 1000 cpi (otvor čašice 23,0 μm, zid čašice 2,4 μm) [77]*

U drugim slučajevima primjećuje se da više čašica aniloks valjka podržava jedan rasterski element. U ekstremnim situacijama kada previše čašica podržava rasterski element može doći do vrlo malog prijenosa bojila uslijed velikog broja spojnih područja na aniloks valjku koja ne prenose bojilo i do male gustoće obojenja u tisku, slika 3.5.

Na osnovu pregleda grafičkih modela vrlo brzo se može uvidjeti koji su problemi vezani uz pogrešan odabir aniloks valjka za potrebe procesnog rasterskog tiska. Međutim, isti princip odabira treba primijeniti i kod tiska tankih linija, linijskih kodova te vinjeta. Kada se koristi tiskarska ploča sa grubom linijaturom (npr. 55 lpi) obično će se koristiti i aniloks valjak s grubljom linijaturom (npr. 250–500 lpi). Sukladno tome kada se koristi tiskarska ploča s finom linijaturom (npr. 150 lpi) obično će se koristiti i aniloks valjak sa finijom linijaturom (npr. 600–1200 lpi).

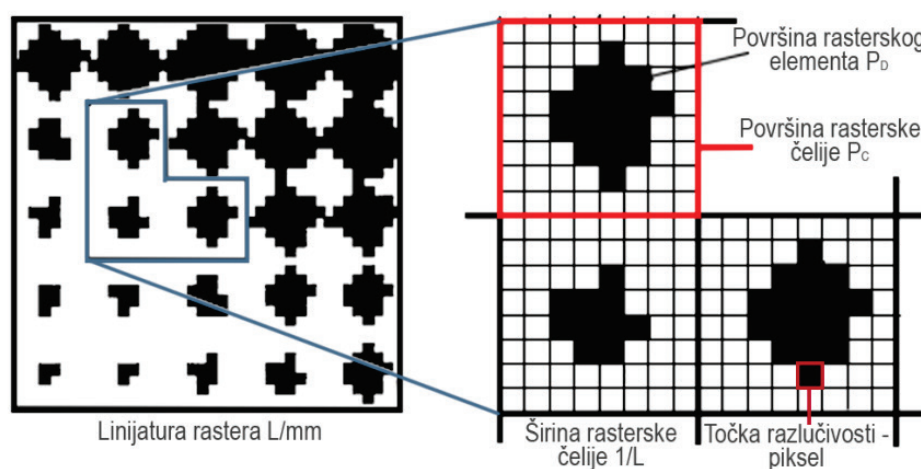
Oblik rasterskog elementa koji je najpodobniji za fleksotisak je okrugli (engl. Round dot) i okrugli–kvadratni (engl. Round-Square Dot, Euclidean).

Sukladno standardu ISO 12647–6 određen je raspon tonova za tisak za skupinu tiskovnih podloga „filmovi i folije“ i iznosi od 2–90%. Prema tome preporuča se da veličina minimalnog rasterskog elementa na ploči bude 2% RTV kako bi se izbjegle određene poteškoće u fazi tiska.

### 3.2.1 Proračun optimalnog odnosa rasterskog elementa i čašice aniloks valjka

#### Proračun veličine rasterskog elementa u mikronima

Određivanje minimalne veličine rasterskog elementa započinje mjerenjem fizičke minimalne veličine rasterskog elementa koji se može održati na tiskarskoj ploči. Ovaj postupak osigurava da polimerna ploča te prateći sustav za osvjetljavanje i obradu reproduciraju minimalnu veličinu rasterskog elementa. Na primjer, ako linijatura tiskarske ploče zahtijeva 10 mikronski rasterski element, a polimerna ploča može održati 20 mikronski rasterski element, tada će ti tonovi biti izgubljeni ili se mogu nadomjestiti korištenjem naprednih rasterskih tehnologija.



*Slika 3.6* Struktura rasterske rešetke kod amplitudno-moduliranog (AM) rastera

Na slici 3.6 prikazana je struktura rasterske rešetke kod amplitudno moduliranog rastera koja će poslužiti kao temelj za izvođenje važnih jednadžbi koje će se koristiti kod određivanja odnosa veličine rasterskog elementa i veličine čašice aniloks valjka. Promjer rasterskog elementa u mikrometrima izračunava se na osnovu odnosa pokrivenosti površine rasterskog elementa  $P_D$  i površine rasterske ćelije  $P_C$ :

$$P_D = \frac{A_D}{100} * P_C \quad (3.1)$$

Pokrivenost površine rasterskog elementa  $P_D$  i površina rasterske čašice  $P_C$  određuje se iz jednadžbi:

$$P_D = \left(\frac{d}{2}\right)^2 * \pi \quad (3.2)$$



$$P_C = \left(\frac{1}{L}\right)^2 \quad (3.3)$$

gdje je:

$d$  – promjer rasterskog elementa

$A_D$  – postotak pokrivenosti površine rasterskog elementa u postocima

$L$  – linijatura rastera definirana brojem linija po milimetru (l/mm)

Uvrštavanjem u početnu jednadžbu dobije se:

$$\left(\frac{d}{2}\right)^2 * \pi = \frac{A_D}{100} * \left(\frac{1}{L}\right)^2 \quad (3.4)$$

Nakon sređivanja dobije se konačna jednadžba za promjer rasterskog elementa koja se množi sa 1000 da bi se dobila vrijednost u mikrometrima:

$$d = \sqrt{\frac{A_D}{25 * \pi * L^2}} * 1000 \quad (3.5)$$

Jednadžba se ne koristi kod izračuna veličine rasterskog elementa u tisku koji može biti pod utjecajem prirasta RTV, nego samo za izračunavanje optimalne linijature aniloks valjka.

Za pretvaranje linijature rastera definirane u inčima (lpi) u linijaturu definiranu u milimetrima (l/mm) za dvije razlučivosti osvjetljavanja (2540 dpi i 2400 dpi) koriste se sljedeće jednadžbe:

$$L = \frac{lpi}{25,4} \quad (3.6)$$

$$L = \frac{lpi}{24} \quad (3.7)$$

Kod CtP uređaja koji koriste razlučivost od 2540 dpi svaka točka razlučivosti iznosi 10 mikrona dok kod razlučivosti od 2400 dpi iznosi 10,6 mikrona. U tablicama 3.1 i 3.2 prikazane su teoretske vrijednosti promjera rasterskog elementa na tiskarskoj ploči za pokrivenost površine od 1–4 % RTV. Upravo su vrijednosti promjera kod definiranih rastertonskih vrijednosti ključne za određivanje linijature aniloks valjka. Vrijednosti promjera su izračunate pomoću kreirane jednadžbe za određene razlučivosti (2540 i 2400 dpi) i linijature rastera (70–300 lpi). Istaknuto područje u obje tablice (1% kod 300 lpi) je slučaj gdje je rasterski element manji od jednog piksela kod definirane razlučivosti (minimum je 10

mikrona) te stoga neće biti reproduciran. Međutim, reprodukcija 1% RTV kod 300 lpi je ipak moguća primjenom naprednih tehnologija rastriranja, odnosno rastera visoke razlučivosti (HD rastera). Veličina jednog piksela kod 4000 dpi iznosi 6 mikrona, a kod 5800 dpi 4 mikrona.

**Tablica 3.1** Teoretske vrijednosti promjera rasterskog elementa u mikronima za većinu linijatura rastera kod osvjetljavanja ploče sa razlučivosti od 2540 dpi

Linijatura rastera		Minimalna veličina rasterskog elementa (%)			
LPI	L/mm	1%	2%	3%	4%
70	2,755	41	58	71	82
90	3,543	32	45	55	64
100	3,937	29	41	50	57
120	4,724	24	34	41	48
133	5,236	22	30	37	43
150	5,905	19	27	33	38
175	6,889	16	23	28	33
200	7,874	14	20	25	29
250	9,842	11	16	20	23
300	11,811	9	14	17	19

**Tablica 3.2** Teoretske vrijednosti promjera rasterskog elementa u mikrometrima za većinu linijatura rastera kod osvjetljavanja ploče sa razlučivosti od 2400 dpi

Linijatura rastera		Minimalna veličina rasterskog elementa (%)			
LPI	L/mm	1%	2%	3%	4%
70	2,917	39	55	67	77
90	3,750	30	43	52	60
100	4,167	27	38	47	54
120	5,000	23	32	39	45
133	5,542	20	29	35	41
150	6,250	18	26	31	36
175	7,292	15	22	27	31
200	8,333	14	19	23	27
250	10,417	11	15	19	22
300	12,500	9	13	16	18

### Proračun veličine čašice aniloks valjka u mikronima

Linijatura aniloks valjka određuje broj čašica po jedinici dužine (najčešće po inču ili po centimetru) i poslije volumena najvažniji je parametar specifikacije aniloks valjka. Međutim, na temelju same linijature ne može se znati koji je odnos debljine zida i širine otvora čašice, a

uvelike ovisi o proizvođaču. Stoga su u tablici 3.3 prikazani najčešći odnosi zida i otvorenog dijela čašice u ovisnosti o linijaturi aniloks valjka.

Ukupna veličina čašice aniloks valjka (veličina zida i otvora zajedno) u mikronima izračunava se pomoću sljedeće jednadžbe:

$$Veličina\ čašice = \frac{2,54}{LPI} * 10^4 \quad (3.8)$$

gdje je:

LPI – linijatura osvjetljavanja definirana brojem linija po inču

$10^4$  – faktor preračunavanja centimetara u mikrone

**Tablica 3.3** Najčešće korištene linijature aniloks valjka sa prikazom veličine zida i otvora čašice [78]

Linijatura aniloks valjka		Čašica aniloks valjka	
LPI	L/cm	Zid (μm)	Otvor (μm)
250	100	6	94
305	120	5	78
355	140	5	66
405	160	5	58
460	180	5	51
510	200	5	45
560	220	4	41
610	240	4	38
660	260	4	34
710	280	4	32
760	300	4	29
815	320	4	27
915	360	4	24
1015	400	3	22
1120	440	3	20
1220	480	3	18
1270	500	3	17
1525	600	3	14

Iz ove tablice može se uočiti da se omjer debljine zida i širine čašice smanjuje s povećanjem linijature te se kreće od 1:16 (kod 250 lpi/100 l/cm) do 1:5 (kod 1525 lpi/600 l/cm). Kod aniloks valjka sa najvećom linijaturom, debljina zida čašice iznosi samo 3 mikrona. Gornja granica linijature aniloks valjka vrlo vjerojatno ovisi o minimalnoj debljini zida čašice.

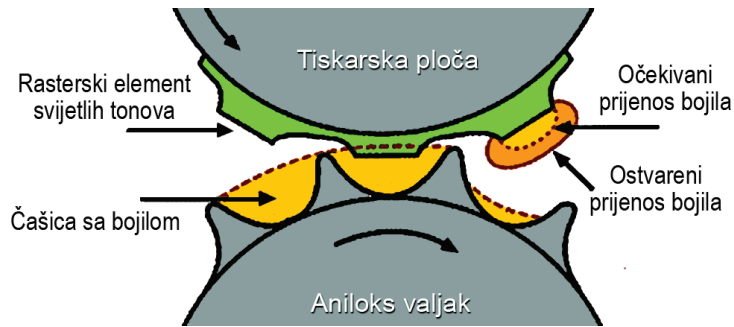
## Postupak određivanja optimalne linijature aniloks valjka

Određivanje odnosa rasterskog elementa na tiskarskoj ploči prema veličini otvorenog dijela aniloks čašice je vrlo važno za prijenos bojila te konačnu reprodukciju u tisku. Da bi se postigao veći intenzitet boje potreban je veći prijenos bojila koji onda izaziva probleme prilikom reprodukcije svijetlih tonova. Ovaj parametar se određuje na osnovu minimalne veličine rasterskog elementa iz tablice 3.1 ili 3.2 te veličine otvora aniloks čašica iz tablice 3.3. Ovisno o zadanoj minimalnoj veličini rasterskog elementa u postocima, određuje se minimalna linijatura aniloks valjka za tisak.

Na primjer, ako je definirana linijatura rastera na ploči 100 lpi kod razlučivosti osvjetljavanja 2540 dpi, a zadana minimalna veličina rasterskog elementa koji će se reproducirati u tisku je 2% RTV, tada promjer rasterskog elementa iznosi 41  $\mu\text{m}$  (vidi tablicu 3.1). Nadalje treba odabrati linijaturu aniloks valjka koja će eliminirati mogućnost da najmanji rasterski element ima manji promjer od veličine otvorenog dijela čašice. Na temelju ovih podataka odabrana je optimalna linijatura aniloks valjka koja iznosi 610 cpi. Širina otvora čašice kod 610 cpi iznosi 38  $\mu\text{m}$  (vidi tablicu 3.3) i ona je prva vrijednost koja je manja od promjera rasterskog elementa od 2% RTV. Ukratko rečeno, rasterski element od 2% RTV na polimernoj ploči od 100 lpi iznosi 36 mikrona, a otvoreni dio jedne čašice 660 linijskog aniloks valjka iznosi 34 mikrona. Međutim, ako se kod iste linijature rastera od 100 lpi želi u tisku održati 4% RTV trebat će anilox valjak linijature 460 cpi. Iz prvog primjera može se uočiti da je odnos linijature aniloks valjka prema linijaturi rastera 6:1.

Odmah se može primjetiti da ovaj odnos odstupa od opće poznatog pravila u fleksotiskarskoj industriji koje kaže da je optimalni odnos linijature aniloks valjka prema linijaturi rastera 4:1 što bi odgovaralo drugom primjeru. Međutim, ovo pravilo potječe iz vremena kada je rasterski element od 5% bio minimalna veličina koja se reproducirala na ploči. U današnje vrijeme koriste se aniloks valjci linijature 5 ili 6 puta veće od linijature ploče što bi odgovaralo reprodukciji od 1–3% RTV.

Razlog toga je jednostavan. U slučaju da je manji, rasterski element može ući u aniloks čašicu te tako prihvatiti previše bojila kao što je prikazano na slici 3.7. Na ovaj način rasterski element uroni u bojilo koje se prihvatiti i na bočne strane rasterskog elementa te može dovesti do vrlo prljavog otiska.



**Slika 3.7** Situacija kod tiska svijetlih tonova kada je rasterski element manji od veličine čašice aniloks valjka

Za rješavanje ovog problema postoji nekoliko mogućnosti:

- Smanjiti linijaturu rastera na ploči– Ovim načinom će se povećati promjer rasterskih elemenata pa će biti veći od čašice aniloks valjka što je dobro, ali se time generalno smanjuje kvaliteta reprodukcije.
- Povećati linijaturu anilox valjka kako bi se smanjila širina otvorenog dijela čašice i prilagodila minimalnoj veličini rasterskog elementa.
- Povećati minimalnu veličinu rasterskog elementa pomoću „bump-up“ krivulje čime bi se zadržala ista linijatura polimerne ploče, ali bi se smanjio raspon tonova u tisku.
- Primijeniti napredne tehnologije rastriranja koje različitim pristupom omogućavaju bolju reprodukciju svijetlih tonova.

Da bi se olakšao odabir linijature aniloks valjka prema linijaturi rastera definirana je tablica 3.4 koja prikazuje minimalne vrijednosti linijature aniloks valjka te stoga nije potrebno preračunavanje kao u prethodnom primjeru.

**Tablica 3.4** Minimalna linijatura aniloks valjka (cpi) prema linijaturi rastera na ploči (razlučivost 2540 dpi)

Linijatura rastera LPI / LPCM	Pokrivenost površine (%)			
	1%	2%	3%	4%
70 / 28	610	460	405	355
90 / 34	760	560	460	405
100 / 40	815	610	510	460
120 / 48	1015	710	610	510
133 / 52	1120	815	660	610
150 / 60	1220	915	760	660
175 / 70	1525	1015	815	760
200 / 80	n/d	1220	1015	815
250 / 98	n/d	1525	1220	1015
300 / 118	n/d	n/d	1525	1220

Istaknuta područja tablice su slučajevi gdje aniloks valjak, tako visoke linijature koja je potrebna, nije dostupan (n/d). Korištenjem ovih podataka eliminira se mogućnost pojave efekta uranjanja rasterskog elementa u čašicu aniloks valjka. Ova tablica se koristi za određivanje minimalne veličine rasterskog elementa koja će se reproducirati u tisku. Međutim, nije dovoljno da se utvrdi samo pravilna linijatura jer mnoge druge varijable utječu na konačne rezultate uključujući karakteristike bojila, tiskovnu brzinu, atmosferske uvjete te vrstu tiskovne podloge.

Linijatura aniloks valjka direktno određuje volumen s obzirom na preporuku o odnosu dubine prema širini otvora čašice kako bi se bojilo što efikasnije odvojilo od čašice. Preporuča se da odnos dubine čašice i širine otvorenog dijela bude od 23–33%. Na taj način su definirane minimalne i maksimalne vrijednosti volumena, a prikazane su u tablici 3.5.

*Tablica 3.5 Minimalne i maksimalne vrijednosti volumena aniloks valjka u odnosu prema linijaturi aniloks valjka*

Linijatura aniloks valjka		Volumen aniloks valjka	
LPI	L/cm	Minimum cm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	Maximum cm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>
100	40	21,5	40,8
150	60	16,7	27,5
180	70	13,9	20,9
200	80	14,8	18,9
250	100	10,6	15,3
300	120	8,2	12,4
400	160	6,3	12,8
500	200	5,1	9,8
700	280	4,5	8,3
800	320	2,0	4,8
1000	400	2,6	4,0
1200	500	1,7	2,8

### 3.2.2 Postupak određivanja minimalne veličine rasterskog elementa

Potrebno je odrediti koji najmanji rasterski element se može reproducirati u tisku. Ovo je najteži dio, ali postoji postupak. Kao prvo treba pripremiti poseban test koji sadrži kontrolna polja od 0–100% u karakterističnim vrijednostima za fleksotisak. Takav test se koristi za izradu tiskarske ploče kod različitih linijatura rastera te se otisne kod definiranih uvjeta tiska. Drugo, na otiscima se određuje koja veličina rasterskog elementa je najstabilnija. Pomoću mikroskopa se uz veliko povećanje pronade rasterski element koji je najpostojaniji. Zatim se utvrđuje broj piksela koji formiraju rasterski element ili se pomoću mikronske mjerne skale

mikroskopa izmjeri promjer rasterskog elementa. Ovaj postupak daje najbolje informacije o tome koju minimalnu veličinu rasterskog elementa neki tiskovni sustav može kvalitetno održati. Najmanja veličina rasterskog elementa kod razlučivosti od 2540 dpi definirana je pojedinačnim pikselom što odgovara veličini od 10 mikrometra. Sljedeće veličine rasterskog elementa se formiraju sa 2, 3 i 4 piksela. Rasterski element sa 2x2 piksela (4 piksela kod 2540 dpi) odgovara veličini od 20 mikrometra. Nadalje, sljedeće veličine rasterskog elementa se formiraju sa 5, 6, 7 i 8 piksela. Rasterski element sa 3x3 piksela odgovara veličini od 30 mikrometra.

Minimalna veličina rasterskog elementa u postocima (tablica 3.6) na temelju veličine promjera može se izračunati korištenjem sljedeće jednadžbe, koja je izvedena iz jednadžbe za izračunavanje promjera (17):

$$A_D = (5 * d * L)^2 * \pi \quad (3.9)$$

gdje je:

$A_D$  – postotak pokrivenosti površine rasterskog elementa u postocima

$d$  – promjer rasterskog elementa u mm

$L$  – linijatura rastera u l/mm

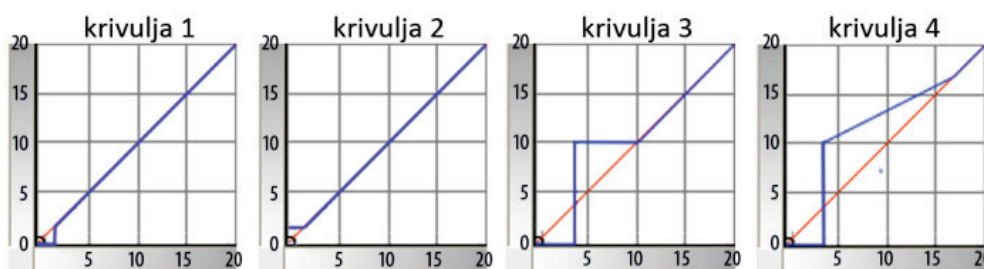
**Tablica 3.6** Minimalna veličina rasterskog elementa od 24, 29 i 34 mikrona prikazana kao postotak pokrivenosti površine za različite linijature rastera

Linijatura (L)		Pokrivenost površine $A_D$ (%)		
LPI	L/mm	d=24 $\mu$ m	d=29 $\mu$ m	d=34 $\mu$ m
340	13,386	8,1	11,8	16,3
280	11,024	5,5	8,0	11,0
240	9,449	4,0	5,9	8,1
210	8,268	3,1	4,5	6,2
175	6,890	2,1	3,1	4,3
150	5,906	1,6	2,3	3,2
133	5,236	1,2	1,8	2,5
120	4,724	1	1,5	2,0

### Minimalna veličina rasterskog elementa za konvencionalni AM raster

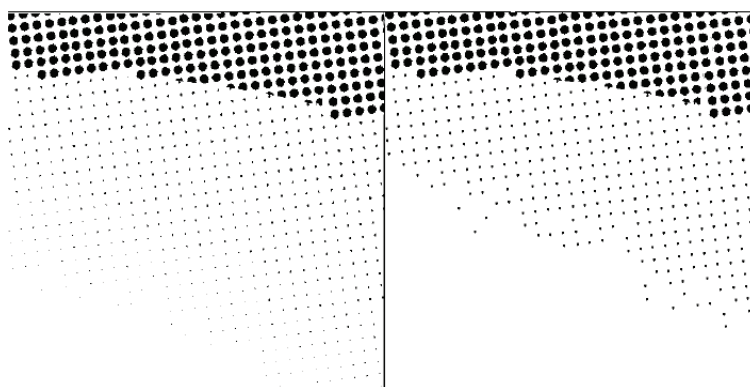
Na temelju definirane linijature rastera i odabira optimalne linijature aniloksa valjka s obzirom na minimalnu veličinu rasterskog elementa, poznat je raspon tonova koji se može

reproducirati pod danim uvjetima (tablica 3.4). Prema tome, pošto se zna minimalna rastertonska vrijednost koja se može kvalitetno reproducirati, mora se osigurati da na rastriranom dokumentu nema nižih vrijednosti. Postupak se provodi ili jednostavnim uklanjanjem svijetlih tonova postavljanjem minimalne rastertonske vrijednosti koja se može reproducirati (krivulja 1, slika 3.8) ili primjenom „bump-up“ krivulje koja povećava rastertonske vrijednosti na minimalnu vrijednost (krivulja 2, slika 3.8) ili kombinacijom ovih dvaju postupaka (krivulja 3 i 4, slika 3.8). Na taj način je omogućena kontrola svijetlih tonova prije same reprodukcije.



**Slika 3.8** Neke od mogućih varijacija "bump-up" krivulje

Primjer primjene „bump-up“ krivulje prikazan je na slici 3.9. Lijeva slika prikazuje original, a desna slika je rezultat primjene "bump-up" krivulje 3 prikazane na slici 3.8. Primjenom „bump-up“ krivulje 3 rasterski elementi ispod 3% RTV su uklonjeni, a vrijednosti od 3– 10% RTV su povećane na 10% RTV.



**Slika 3.9** Original i slika sa primjenom "bump-up" krivulje 3

Kada se obrađuje slika za fleksotisak vrlo često se mora raditi kompromis oko načina pripreme za 1% RTV. Reprodukcijska 2% RTV u tisku u potpunosti je dobra, međutim 1% RTV može zaprljati otisak i izgledati puno tamnije od 2% RTV. Ovo je najčešći problem s crnim kanalom. Zbog toga se vrlo često primjenjuje krivulja sa minimalnom veličinom rasterskog elementa, stvarajući tako 2% kao minimalnu vrijednost u datoteci, a koja se

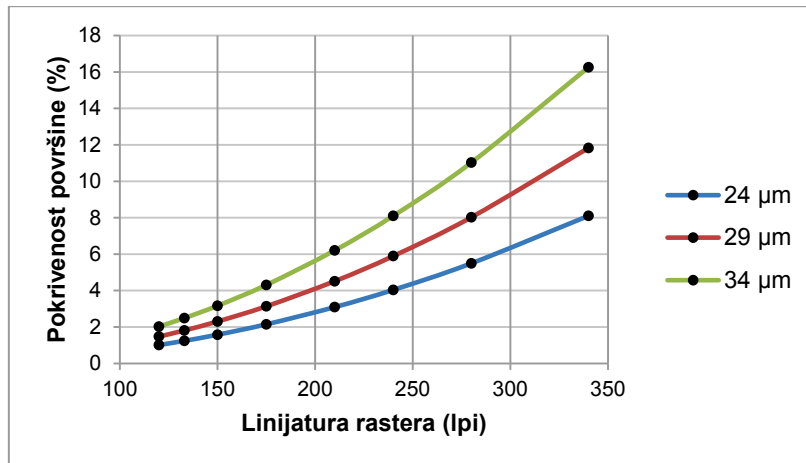


zapravo otiskuje kao 8–12% ovisno o raznim čimbenicima. U nekim slučajevima bolje je ukloniti 1% RTV (krivulja 1, slika 3.8), a u nekima se pojačava na 2% RTV (krivulja 1, slika 3.8). Kod pripreme slike za testnu formu za ovo istraživanje primijenjena je krivulja koja definira 1% kao minimalnu vrijednost, odnosno nema 0% RTV.

### Minimalna veličina rasterskog elementa za XM rastersku tehnologiju

Kao što je opisano u poglavlju 2.2.3 kod XM rastriranja kada se jednom definira minimalna veličina rasterskog elementa u mikronima koja se može reproducirati ta se vrijednost koristi kao prijelazna točka između konvencionalnog AM i FM rastera.

Prijelazna točka prikazana kao postotak kod određene linijature povećava se s porastom linijature rastera kao što prikazuje slika 3.10, a na temelju podataka iz tablice 3.6. Kao što se može vidjeti iz tablice 3.6 ista veličina rasterskog elementa od 24, 29 i 34 mikrona koristi se kod svih osam linijatura rastera s različitim postotkom pokrivenosti površine. Najmanja prijelazna točka XM rastera kod 340 lpi (24 mikrona) nije nimalo manja od 2% RTV kod AM rastera na 175 lpi (23 mikrona), te pruža visoku kvalitetu reprodukcije detalja i glatki prijelaz kod gradijenta bez puno napora u tisku.



*Slika 3.10 Promjena minimalne veličine rasterskog elementa utjecajem različite linijature rastera*

### 3.2.3 Određivanje parametara potrebnih za izvođenje eksperimenta

U eksperimentu će se koristiti dvije linijature (133 lpi i 150 lpi) koje omogućavaju kvalitetnu rastersku reprodukciju u fleksotisku, a najčešće se koriste za tisak fleksibilne ambalaže i etiketa. Na temelju proračunskog dijela i definiranja vrijednosti prikazanih u tablicama 3.1,

3.2, 3.3 i 3.4 može se odabrati optimalna linijatura aniloks valjka s obzirom na definirane linijature rastera. Svi potrebni podaci za njegov odabir sažeti su u tablici 3.7 i direktno utječu na kvalitetu procesnog tiska.

*Tablica 3.7 Odabir linijature aniloks valjka s obzirom na minimalnu veličinu rasterskog elementa*

RTV	Linijatura 133 lpi / 52,4 l/cm			Linijatura 150 lpi / 59,1 l/cm		
	promjer	cpi	cpcm	promjer	cpi	cpcm
1%	20	1120	440	18	1220	480
2%	29	815	320	26	915	360
3%	35	660	260	31	760	300
4%	41	610	240	36	660	260

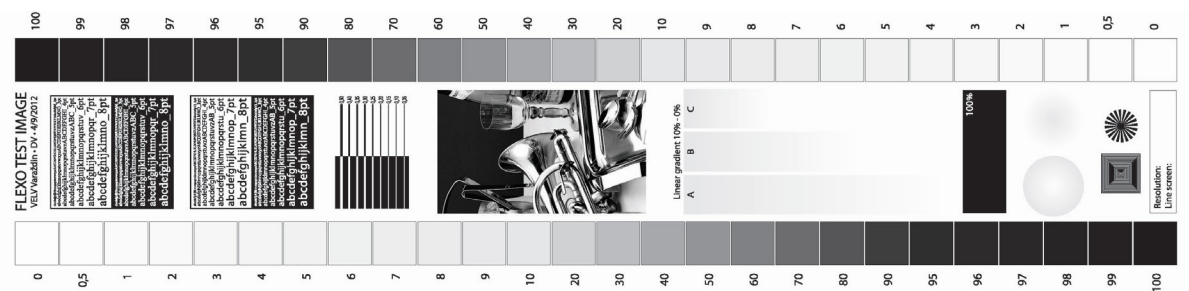
Eksperiment će se odvijati tako da se pomoću jedne ploče otisnu obje linijature rastera pa se aniloks valjak odabire prema većoj linijaturi, a to je 150 lpi. Pošto je cilj napraviti kvalitetnu reprodukciju cijelog raspona tonova odabire se minimalna veličina rasterskog elementa od 1%. Prema tome optimalna linijatura aniloks valjka iznosi 480 cpcm (1220 cpi). U praksi se vrlo često kao minimalna veličina rasterskog elementa postavi 2% RTV i na taj način se značajno smanje zahtjevi za visokom linijaturom aniloks valjka, a da i dalje linijatura rastera ostane ista. U ovom slučaju optimalna linijatura aniloks valjka za minimalnu veličinu rasterskog elementa od 2% RTV bila bi 360 cpcm (915 cpi).

Volumen aniloks valjka kod definirane linijature od 480 cpcm kreće se u rasponu od 1,7–2,8 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> (tablica 3.5), a njegov konačan odabir ovisit će o izmjerenim kolorimetrijskim vrijednostima bijele i cijan boje prilikom tiska. Najvažniji parametar određivanja biti će vrijednost svjetline (L\*) u odnosu na ciljanu vrijednost prema standardu ISO 12647-6. Ukoliko je vrijednost svjetline manja od ciljane vrijednosti, postojeći aniloks valjak će se zamijeniti sa onim koji ima veći volumen i obrnuto.

### **3.3 PRIPREMA TESTNE FORME I RASTRIRANJE**

Eksperimentalni dio ovog rada započinje izradom testne forme koncipirane tako da omogući evaluaciju kvalitete tiska, primjenom prihvatljivih i potvrđenih znanstvenih metoda i tehnika istraživanja. Testna slika koja se koristi u eksperimentu prikazana je na slici 3.11. Testna slika je kreirana korištenjem Adobe Illustratora CS5, konvertirana u pdf format te kao takva rastrirana. Testna forma je jednobojna i sastoji se od dvije identične testne slike predviđene

za različite linijature rastriranja (133 lpi i 150 lpi). Obje linijature rastriranja su odabrane jer se najčešće koriste u fleksotisku te su karakteristične za tisak na folije. Rezultat rastriranja je 1-bitni tiff dokument koji se koristi u fazi digitalne izrade flekso polimerne ploče.



*Slika 3.11 Testna slika korištena u eksperimentu*

### Testna slika sastoji se od sljedećih elemenata:

- mjerna polja sa stepenastim prijelazom u rasponu od 0–100% s naglaskom na karakteristične vrijednosti u svijetlim područjima do 10% gdje je korak mjernih polja 1% RTV
- elemenata za evaluaciju veličine teksta (od 2 – 8pt) i debljine linija (od 0,05– 0,50mm) u pozitivu i negativu
- za potrebe vizualne evaluacije otiska na testnoj slici su smještene tri linearna prijelaza od 0–10% različite duljine od 2cm, 4cm i 6cm, dva kružna prijelaza od 0–10% te višetonska slika sa karakterističnim vinjetama, odnosno elementima slike koji se gube prema podlozi.

### Postavke rastriranja testne slike:

- Vrsta rastera: amplitudno modulirani (AM)
- Linijatura rastera: 133 lpi i 150 lpi
- Razlučivost: 2540 dpi
- Kut rastriranja: 37,5°
- Oblik rasterskog elementa: okruglo–kvadratni

Karakteristika okruglo–kvadratnog oblika (engl. Round-Square Dot, Euclidean) rasterskog elementa je da započinje doslovno sa okruglom točkom u svijetlim područjima i postaje sve više kvadratni u srednjim tonovima te nastavlja sa okruglim oblikom u negativu kod tamnih tonova.

### 3.4 IZRADA POLIMERNE PLOČE

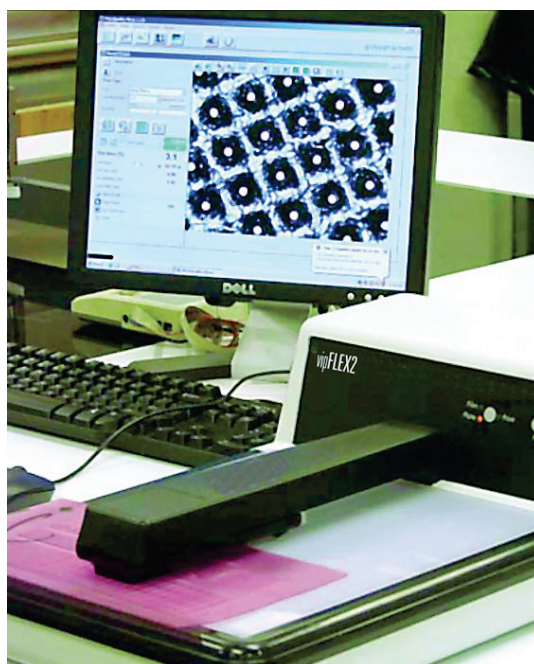
U eksperimentu se koriste dvije polimerne ploče debljine 1,14mm, izrađene pomoću dviju različitih digitalnih tehnologija s obzirom na oblik vrha rasterskog elementa na ploči. Prva ploča je standardna digitalna LAMS (engl. Laser Ablative Mask System) polimerna ploča sa karbonskim slojem za lasersko uklanjanje (postupak ablacije), a rezultat je rasterski element sa zaobljenim vrhom. To znači da je tiskovna površina pojedinačnog rasterskog elementa zaobljena, odnosno ima oblik metka. U eksperimentu se koristi Flint nyloflex ACE digitalna ploča tvrdoće 62 Shore A [79]. Nakon osvjetljavanja poleđine ploče, kako bi se stvorilo podnožje, ploča se izravno osvjetljava na CtP uređaju Hell HelioFlex F1200. Laser uklanja karbonski sloj stvarajući negativ sliku, a zatim se i prednja strana izlaže UV zračenju. Druga ploča je izrađena pomoću termalnog filma koji koristi napredna digitalna Flexcell NX tehnologija, a rezultat je rasterski element na ploči sa ravnim vrhom. To znači da je tiskovna površina pojedinačnog rasterskog elementa ravna. Prvo se termalni film, debljine 0,165mm, osvjetli na Kodak Trendsetter NX CtP uređaju, a zatim se laminira na fotopolimernu ploču. Nakon osvjetljavanja poleđine, ploča se osvjetljava s prednje strane, a film se skida. Veličina fotopolimerne ploče je prilagođena širini role za tisak te opsegu temeljnog cilindra, a iznosi 290x300mm. Tablica 3.8 prikazuje cjelokupnu specifikaciju izrade polimernih ploča za obje tehnologije. Nazivi sustava izrade ploče označeni su sa kraticama: RTD za sustav koji rezultira zaobljenim vrhom rasterskog elementa na ploči (engl. Round Top Dot) te FTD za sustav koji rezultira ravnim vrhom rasterskog elementa na ploči (engl. Flat Top Dot). Ove se kratice kao takve koriste kroz čitavu disertaciju.

*Tablica 3.8 Specifikacija izrade polimerne ploče*

Karakteristika procesa	RTD	FTD
Digitalna tehnologija izrade	Standardna LAMS tehnologija	Napredna „Flat Top Dot“ tehnologija
CtP uređaj	Hell HelioFlex F1200	Kodak Trendsetter NX
Razlučivost osvjetljavanja	2540 dpi	2400 dpi
Vrsta polimera	Flint nyloflex ACE Digital Plate	Kodak Flexcel NX Digital Plate
Ukupna debljina polimera	1,14 mm	1,14 mm
Debljina nosivog sloja polimera	0,125 mm	0,125 mm
Tvrdoća polimera prema DIN53505 Shore A	62	73
Primjena korekcijskih krivulja	Da, krivulje linearizacije	Ne

Kod oba procesa, nakon izlaganja glavnoj ekspoziciji, ploče se obrađuju standardnim solventnim postupkom isto kao i analogne polimerne ploče. Proces završava s dvije završne ekspozicije poznate pod nazivom postekspozicija. Proces polimerizacije započinje izlasganjem polimerne ploče izvoru UV zračenja. Preeksponirane polimerne ploče rezultiraju sa većim rasterskim elementom od željene vrijednosti i slabijom kvalitetom tiska. Prisutnost kisika u jedinici za osvjetljavanje (kopirna rama) kod standardne digitalne tehnologije eliminira preeksponiranost ploče [36].

Za evaluaciju stvarne veličine rasterskog elementa na polimernoj ploči mjere se kontrolna mjerna polja od 0–100% kod obje linijature i obje vrste polimernih ploča. Svako mjerno polje, na obje polimerne ploče, snimi se pomoću visoko razlučive kamere X–Rite vipFLEX2 uz povećanje 200x, a cjelokupni sustav je prikazan na slici 3.12. Prije početka mjerenja uređaj se kalibrira kako bi mjerenja bila pouzdana i točna.



*Slika 3.12 Sustav za mjerenje ploča i otisaka: kamera visoke razlučivosti vipFLEX2 i softver PlateQuality Flexo*

Snimljene slike analiziraju se pomoću softvera PlateQuality Flexo te se vrednuju svi važni parametri, uključujući pokrivenost površine, veličinu i promjer rasterskog elementa. Svi parametri evaluacije polimerne ploče predstavljaju srednju vrijednost mjerenja svih dobro reproduciranih rasterskih elemenata, prikazanih na snimljenoj slici. Mjerne vrijednosti se automatski unose u tablice i pohranjuju sa mogućnošću prikaza u obliku grafikona te međusobne usporedbe. Specifikacije vipFLEX2 kamere prikazane su u tablici 3.9. [80]

**Tablica 3.9** Specifikacija kamere vipFLEX2

Senzor	RGB kamera 1280 x 1024 SXVGA
Razlučivost senzora	14000 ppi
Veličina otvora	2,3 x 1,9 mm
Osvjetljenje	RGB (Automatski odabir)
Raspon linijature rastera (AM)	32 - 60 l/cm; 80 - 150 lpi
Ponovljivost	+/- 0.5%
Vrijeme mjerenja	< 1 sekunde

Gotove polimerne ploče obje tehnologije (za RTD sustav koristi se linearizirana ploča) tiskaju se na fleksotiskarskom stroju iz role, kod kontroliranih uvjeta tiska, na aluminijsku foliju pomoću cijan UV bojila na već predotisnutu pokrivnu bijelu boju.

### 3.5 IZRADA OTISKA

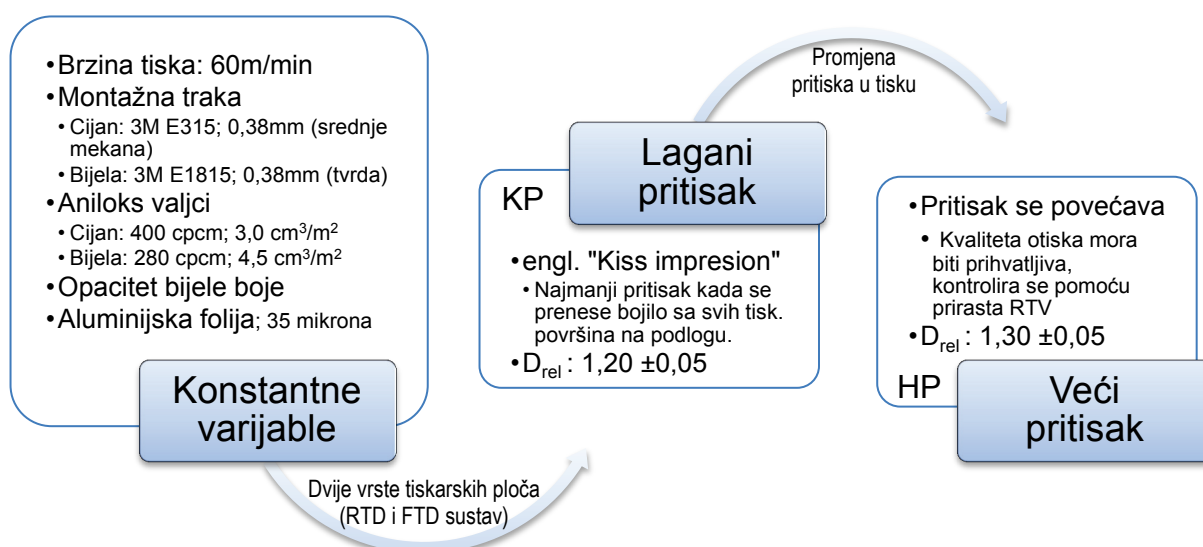
Obje polimerne ploče montiraju se na temeljni cilindar komercijalnog, šesterobojnog fleksotiskarskog stroja EDALE FL-350. Otiskivanje se izvodi principom „iz role u rolu“ brzinom tiska od 60 m/min. Tiskovna podloga je ALINVEST aluminijska folija (min 99,5% Al u sastavu), debljine 35 $\mu$ m. S jedne strane folija je premazana zaštitnim lakom pogodnim za UV tisak, a s druge strane termoplastičnim lakom. Širina role za tisak iznosi 290 mm, unutarnji promjer role je 76 mm, a vanjski promjer 450 mm. Aluminijska folija se, kao tiskovna podloga, koristi za izradu različitih ambalažnih proizvoda kao npr. poklopaca za čašice jogurta, za pakiranje hrane i pića, kozmetike, farmaceutskih i duhanskih proizvoda. Aluminijska folija je odabrana za istraživanje jer je neupojna tiskovna podloga i sve bojilo preneseno sa tiskarske ploče na tiskovnu podlogu ostaje na površini te ne penetrira u podlogu. Na taj je način se postiže da poroznost tiskovne podloge značajno ne utječe na zamišljeni eksperiment. Za tisak se koristi PULSE SLM 318 procesno cijan UV bojilo koje se tradicionalno dobro prihvaća na folije i ima slab miris koji nije neugodan [81]. Cijan bojilo namijenjeno je za aniloks valjke linijature 300–500 l/cm, volumena 2–4 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> te minimalne snage UV lampe od 160 W/cm. Cijan boja se otiskuje u istom prolazu na već predotisnutu pokrivnu bijelu boju PULSE HD002 (karakteristika bojila je veliki opacitet te ne smije doći u kontakt sa hranom). Za tisak cijan boje se koristi aniloks valjak linijature 400 c/cm volumena 3,0 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>, a za pokrivnu bijelu boju aniloks linijature 280 c/cm i volumena 4,5cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.

Tiskovni eksperiment (shema je prikazana na slici 3.13) zamišljen je tako da se mijenja i kontrolira pritisak između tiskarske ploče i tiskovne podloge, a drugi parametri se drže konstantnim, uključujući brzinu tiska, samoljepivu montažnu traku, aniloks valjak, tiskovnu podlogu i opacitet pokrivne bijele boje. Različiti pritisci u tisku označeni su sa kraticama: KP

za lagani pritisak (engl. Kiss Pressure) te HP za veći pritisak (engl. Higher Pressure), a kratice se kao takve koriste kroz čitavu disertaciju.

Lagani pritisak je najmanji mogući pritisak kod kojeg se bojilo sa svih tiskovnih površina prenese na tiskovnu podlogu. Pritisak prilikom otiskivanja, odnosno promjene u pritisku, definirane su preko promjene u odstojanju spregnutih cilindara (engl. nip engagement). Ovdje je naravno riječ o odstojanju između temeljnog i tiskovnog cilindra. Kod laganog pritiska to odstojanje iznosi oko 100 mikrometara (0,004 inča/0,1016 mm/101,6  $\mu\text{m}$ ). Nadalje, promjena u odstojanju kod većih pritiska mijenja se u koraku od 100 mikrona (200  $\mu\text{m}$ , 300  $\mu\text{m}$ ).

Istraživanja utjecaja pritiska u tisku pokazala su da se postotak prijenosa bojila povećava sa povećanjem pritiska u tisku [82] i jednom kada prijenos bojila postigne svoj maksimum, daljnjim povećanjem pritiska nema više povećanja prijenosa bojila [83]. Da bi se postigao veći opacitet bijele boje, koristi se aniloks valjak većeg volumena i manje linijature.



**Slika 3.13** Shema tiskovnog eksperimenta

Prvo se napravi otisak cijana sa laganim pritiskom kontrolirajući da su sve tiskovne površine otisnute, odnosno da na otisku nema vidljivih praznina (neotisnutih dijelova) koje su karakteristika premalog pritiska. Izmjerene CIELAB vrijednosti cijana moraju biti usklađene sa ciljanim vrijednostima, odnosno unutar granica dozvoljenog odstupanja. Ciljane kolorimetrijske vrijednosti koje se koriste za puno polje cijana usklađene su sa standardom ISO 12647-6 za tiskovne podloge četvrte grupe (film, folija). Zatim se denzitometrom izmjeri relativna gustoća obojenja ( $D_{rel}$ ) na dobro reproduciranom otisku. Postavke pritiska u tisku tada su vezane upravo uz izmjerenu gustoću obojenja na punom polju. Ta vrijednost postaje ciljana vrijednost i ona se mora održavati konstantnom za trenutno definirane uvjete u tisku.

Prilikom izvođenja tiskovnog eksperimenta izmjerene su ciljane vrijednosti gustoće obojenja, a to je  $1,20 \pm 0,05$  kod laganog „kiss“ pritiska te  $1,30 \pm 0,05$  kod većeg pritiska kod kojeg se još uvijek dobije dobar otisak. Mjerenjem prirasta RTV u srednjim tonovima može se provjeriti da pritisak nije preveliki. Dozvoljena tolerancija gustoće obojenja na otisku po širini trake, odnosno odstupanje mjerenja sa strane operatera prema mjerenjima na pogonskoj strani može biti  $\pm 0,05$ . Stvarna pokrivenost površine na otisnutim uzorcima i drugi parametri geometrije rasterskog elementa mjere se na isti način i pomoću istih instrumenata kao i polimerne ploče s ciljem vjerodostojne evaluacije promjene geometrije rasterskog elementa. Metoda slikovne analize kod otisaka eliminira optičku komponentu pokrivenosti površine i debljinu nanosa bojila te daje niže vrijednosti od denzitometrijske metode bazirane na Murry-Daviesovoj jednadžbi [84]:

$$a = \frac{1-10^{-D_t}}{1-10^{-D_s}} \times 100 \quad (3.10)$$

gdje je:

$a$  – optički efikasna površina

$D_t$  – relativna gustoća obojenja rasterskog polja ( $D_{t,aps} - D_0$ )

$D_s$  – relativna gustoća obojenja punog polja ( $D_{s,aps} - D_0$ )

$D_0$  – optička gustoća tiskovne podloge

Da bi se utvrdio utjecaj linijature rastera i pritiska u tisku na prirast RTV, sve kombinacije obje linijature i oba pritiska u tisku, mjere se na odgovarajućim kontrolnim poljima na otisku pomoću denzitometra X-Rite 526 sa ISO status T odzivom.

### 3.6 REZULTATI I DISKUSIJA

Sljedeće poglavlje prikazuje rezultate dobivene mjerenjem 1-bitnog TIFF dokumenta kod napredne digitalne tehnologije, lineariziranog 1-bitnog TIFF dokumenta kod standardne tehnologije, polimernih ploča i dobrih uzoraka otiska, a prikazani su u tablicama od 3.10 do 3.17. Svi parametri se detaljno analiziraju i na odgovarajući način prezentira njihova međusobna ovisnost iz koje se može iznijeti rasprava te donijeti ključni zaključci i preporuke.



**Tablica 3.10** Srednje vrijednosti rezultata slikovne analize rasterskih elemenata  
za sve tri faze procesa (RTD sustav, linijatura 133 lpi)

RTD 2540dpi/133lpi		1-bitni TIFF		Polimerna ploča Flint ACE 1,14			Lagani "kiss" pritisak D <sub>cyan</sub> =1,20; D <sub>0</sub> =0,34			Veći pritisak D <sub>cyan</sub> =1,30; D <sub>0</sub> =0,34		
Nominalna vrijednost (%)	Promjer (μm)	Pokrivenost površine (%)	Promjer (μm)	Pokrivenost površine		Promjer (μm)	Pokrivenost površine		Promjer (μm)	Pokrivenost površine		Promjer (μm)
				(%)	(μm <sup>2</sup> )		(%)	(μm <sup>2</sup> )		(%)	(μm <sup>2</sup> )	
1	19,1	5,5	45	0,7	219	17	2,6	840	33	3,8	1213	39
2	27,0	6,6	49	1,3	407	23	3	982	35	4,1	1345	41
3	33,1	8,3	55	2,2	700	30	4	1296	41	5,2	1705	47
5	42,7	10,5	62	4,2	1375	42	6,1	2042	51	8,2	2706	59
10	60,4	17	79	9,2	3000	62	12,9	4293	74	14,3	4775	78
20	85,4	29,7	104	18,5	6106	88	22,3	7410	97	28	9314	109
30	104,6	41,4	123	28,7	9368	109	33,5	11218	120	41	13758	132
40	120,8	51,8	138	37,8	12337	125	43,3	14578	136	53,5	18642	154

**Tablica 3.11** Srednje vrijednosti rezultata denzitometrijskog mjerenja na otiscima  
sa laganim i većim pritiskom u tisku (RTD sustav, linijatura 133 lpi)

RTD 2540dpi/133lpi	Lagani "kiss" pritisak D <sub>cyan</sub> =1,20; D <sub>0</sub> =0,34			Veći pritisak D <sub>cyan</sub> =1,30; D <sub>0</sub> =0,34		
	Nominalna vrijednost (%)	Relativna gustoća obojenja	RTV (%)	Prirast RTV (%)	Relativna gustoća obojenja	RTV (%)
1	0,03	6,0	5,0	0,04	8,3	7,3
2	0,03	6,3	4,3	0,04	8,7	6,7
3	0,03	6,7	3,7	0,04	9,3	6,3
5	0,04	8,7	3,7	0,06	12,7	7,7
10	0,06	13,3	3,3	0,09	18,3	8,3
20	0,12	23,7	3,7	0,17	33,7	13,7
30	0,18	35,0	5,0	0,23	44,7	14,7
40	0,26	45,7	5,7	0,33	57,3	17,3
50	0,34	56,3	6,3	0,44	67,7	17,7
60	0,46	67,0	7,0	0,55	77,3	17,3
70	0,56	76,0	6,0	0,69	84,0	14,0
80	0,72	84,3	4,3	0,86	91,3	11,3
90	0,9	93,0	3,0	1,08	97,0	7,0
100	1,2	100,0	0,0	1,3	100,0	0,0

**Tablica 3.12** Srednje vrijednosti rezultata slikovne analize rasterskih elemenata  
za sve tri faze procesa (RTD sustav, linijatura 150 lpi)

RTD 2540dpi/150lpi		1-bitni TIFF		Polimerna ploča Flint ACE 1,14			Lagani "kiss" pritisak $D_{cyan}=1,20; D_0=0,34$			Veći pritisak $D_{cyan}=1,30; D_0=0,34$		
Nominalna vrijednost (%)	Promjer ( $\mu\text{m}$ )	Pokrivenost površine (%)	Promjer ( $\mu\text{m}$ )	Pokrivenost površine		Promjer ( $\mu\text{m}$ )	Pokrivenost površine		Promjer ( $\mu\text{m}$ )	Pokrivenost površine		Promjer ( $\mu\text{m}$ )
				(%)	( $\mu\text{m}^2$ )		(%)	( $\mu\text{m}^2$ )		%	$\mu\text{m}^2$	
1	16,9	6,2	42	0,9	215	17	2,8	702	30	4	1026	36
2	23,9	8,6	49	1,7	418	23	3,5	874	33	4,7	1154	38
3	29,3	9,5	52	2,7	643	29	4,1	1040	36	5,5	1402	42
5	33,9	12,3	59	4,6	1175	39	5,9	1536	44	8,4	2162	52
10	37,9	18,8	73	10	2535	57	11,9	3077	63	15,1	3931	71
20	47,9	31,4	95	18,8	4822	78	21,7	5623	85	28,5	7342	97
30	53,5	43,6	112	28,4	7209	96	30,9	8008	101	40,4	10482	116
40	75,7	52,9	123	37,4	9514	110	41	10610	116	51,5	14092	134

**Tablica 3.13** Srednje vrijednosti rezultata denzitometrijskog mjerenja na otiscima  
sa laganim i većim pritiskom u tisku (RTD sustav, 150 lpi)

RTD 2540dpi/150lpi	Lagani "kiss" pritisak $D_{cyan}=1,20; D_0=0,34$			Veći pritisak $D_{cyan}=1,30; D_0=0,34$		
	Relativna gustoća obojenja	RTV (%)	Prirast RTV (%)	Relativna gustoća obojenja	RTV (%)	Prirast RTV (%)
1	0,02	6,7	5,7	0,04	8,3	7,3
2	0,02	6,7	4,7	0,04	9,0	7,0
3	0,03	7,0	4,0	0,05	9,7	6,7
5	0,04	9,3	4,3	0,06	12,7	7,7
10	0,06	14,3	4,3	0,09	19,7	9,7
20	0,12	25,7	5,7	0,16	33,0	13,0
30	0,17	37,0	7,0	0,25	45,7	15,7
40	0,25	47,3	7,3	0,37	59,3	19,3
50	0,31	57,7	7,7	0,49	69,7	19,7
60	0,43	68,3	8,3	0,59	78,0	18,0
70	0,56	77,0	7,0	0,73	85,3	15,3
80	0,73	86,7	6,7	0,93	93,7	13,7
90	0,89	93,7	3,7	1,19	98,7	8,7
100	1,2	100,0	0,0	1,33	100,0	0,0

**Tablica 3.14** Srednje vrijednosti rezultata slikovne analize rasterskih elemenata  
za sve tri faze procesa (FTD sustav, linijatura 133 lpi)

FTD 2400dpi/133lpi		1-bitni TIFF		Polimerna ploča Flexcel NX 1,14			Lagani "kiss" pritisak $D_{cyan}=1,20; D_0=0,34$			Veći pritisak $D_{cyan}=1,30; D_0=0,34$		
Nominalna vrijednost (%)	Promjer ( $\mu\text{m}$ )	Pokrivenost površine (%)	Promjer ( $\mu\text{m}$ )	Pokrivenost površine		Promjer ( $\mu\text{m}$ )	Pokrivenost površine		Promjer ( $\mu\text{m}$ )	Pokrivenost površine		Promjer ( $\mu\text{m}$ )
				(%)	( $\mu\text{m}^2$ )		(%)	( $\mu\text{m}^2$ )		(%)	( $\mu\text{m}^2$ )	
1,2	19,8	1,2	20	1,5	552	27	2,4	840	33	3	1078	37
2	25,5	2	26	2,5	896	34	3,7	1291	41	4,3	1504	44
3	31,3	3	31	3,9	1407	42	5,5	1923	49	6,3	2204	53
5	40,3	5	40	5,1	1872	49	8,2	2892	61	9	3150	63
10	57,1	10	57	10,3	3765	69	12,2	4265	74	12,6	4428	75
20	80,7	20	81	20,9	7083	95	20,4	7122	95	23,8	8306	103
30	98,8	30	99	31,1	10487	116	30,4	10585	116	34,6	12285	125
40	114,1	40	114	39,5	13475	131	40,9	14183	134	44,2	15559	141

**Tablica 3.15** Srednje vrijednosti rezultata denzitometrijskog mjerenja na otiscima  
sa laganim i većim pritiskom u tisku (FTD sustav, 133 lpi)

FTD 2400dpi/133lpi	Lagani "kiss" pritisak $D_{cyan}=1,20; D_{papir}=0,34$			Veći pritisak $D_{cyan}=1,30; D_{papir}=0,34$		
	Nominalna vrijednost (%)	Relativna gustoća obojenja	RTV (%)	Prirast RTV (%)	Relativna gustoća obojenja	RTV (%)
1,2	0,01	2,0	0,8	0,02	5,0	3,8
2	0,02	3,7	1,7	0,03	6,0	4,0
3	0,02	4,7	1,7	0,03	7,0	4,0
5	0,04	8,7	3,7	0,05	10,7	5,7
10	0,06	14,0	4,0	0,08	17,0	7,0
20	0,11	24,7	4,7	0,14	29,0	9,0
30	0,19	36,7	6,7	0,22	40,3	10,3
40	0,26	48,0	8,0	0,28	51,7	11,7
50	0,35	58,7	8,7	0,39	62,0	12,0
60	0,44	67,7	7,7	0,49	71,0	11,0
70	0,57	77,0	7,0	0,64	80,7	10,7
80	0,72	85,7	5,7	0,82	88,7	8,7
90	0,92	93,0	3,0	1,04	96,0	6,0
100	1,2	100,0	0,0	1,3	100,0	0,0

**Tablica 3.16** Srednje vrijednosti rezultata slikovne analize rasterskih elemenata  
za sve tri faze procesa (FTD sustav, linijatura 150 lpi)

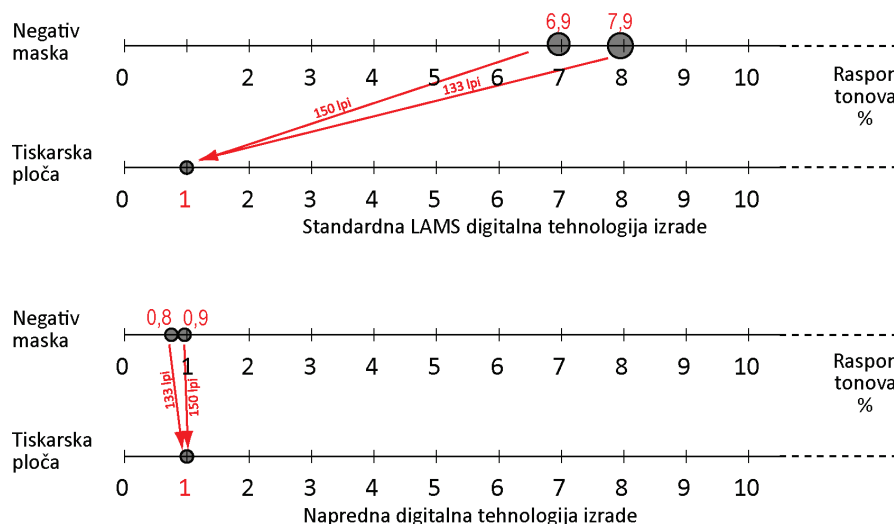
FTD 2400dpi/150lpi		1-bitni TIFF		Polimerna ploča Flexcel NX 1,14			Lagani "kiss" pritisak $D_{cyan}=1,20; D_0=0,34$			Veći pritisak $D_{cyan}=1,30; D_0=0,34$		
Nominalna vrijednost (%)	Promjer ( $\mu\text{m}$ )	Pokrivenost površine (%)	Promjer ( $\mu\text{m}$ )	Pokrivenost površine		Promjer ( $\mu\text{m}$ )	Pokrivenost površine		Promjer ( $\mu\text{m}$ )	Pokrivenost površine		Promjer ( $\mu\text{m}$ )
				(%)	( $\mu\text{m}^2$ )		(%)	( $\mu\text{m}^2$ )		(%)	( $\mu\text{m}^2$ )	
1,2	17,5	1,2	18	1,4	403	23	2,6	663	29	3,3	823	32
2	22,6	2	23	2,2	622	28	4,3	1073	37	4,6	1137	38
3	27,7	3	28	3,5	1000	36	6,2	1554	44	6,7	1661	46
5	35,8	5	36	5	1437	43	9,5	2363	55	10	2489	56
10	50,6	10	51	10	2870	60	13,9	3466	66	14,3	3557	67
20	71,6	20	72	20,7	5069	80	24,8	6082	88	24,6	6136	88
30	87,6	30	88	30,4	7377	97	33,4	8377	103	36,5	9128	108
40	101,2	40	101	39,9	9654	111	43,2	10702	117	44,7	10984	118

**Tablica 3.17** Srednje vrijednosti rezultata denzitometrijskog mjerenja na otiscima  
sa laganim i većim pritiskom u tisku (FTD sustav, 150 lpi)

FTD 2400dpi/150lpi	Lagani "kiss" pritisak $D_{cyan}=1,20; D_0=0,34$			Veći pritisak $D_{cyan}=1,30; D_0=0,34$		
	Relativna gustoća obojenja	RTV (%)	Prirast RTV (%)	Relativna gustoća obojenja	RTV (%)	Prirast RTV (%)
1,2	0,01	2,0	0,8	0,01	4,3	3,1
2	0,02	3,3	1,3	0,03	6,0	4,0
3	0,03	6,3	3,3	0,04	8,7	5,7
5	0,04	9,7	4,7	0,06	12,7	7,7
10	0,06	15,0	5,0	0,09	19,0	9,0
20	0,12	26,7	6,7	0,15	30,0	10,0
30	0,20	38,7	8,7	0,22	40,7	10,7
40	0,28	49,3	9,3	0,3	52,0	12,0
50	0,37	60,0	10,0	0,4	64,0	14,0
60	0,46	70,7	10,7	0,52	73,7	13,7
70	0,60	79,0	9,0	0,67	83,0	13,0
80	0,77	89,0	9,0	0,86	91,0	11,0
90	0,96	95,0	5,0	1,11	96,7	6,7
100	1,20	100,0	0,0	1,33	100,0	0,0

### 3.6.1 Minimalna veličina rasterskog elementa na ploči

Vrijednosti minimalne veličine rasterskog elementa na obje polimerne ploče, kod obje linijature rastera određuju najmanju fizičku veličinu koja se može na njima održati, odnosno najmanji rasterski element koji je stabilan na ploči. Utvrđuje se koja rastertonska vrijednost, kao rezultat reprodukcije, daje stabilni rasterski element na ploči od 1 % RTV.

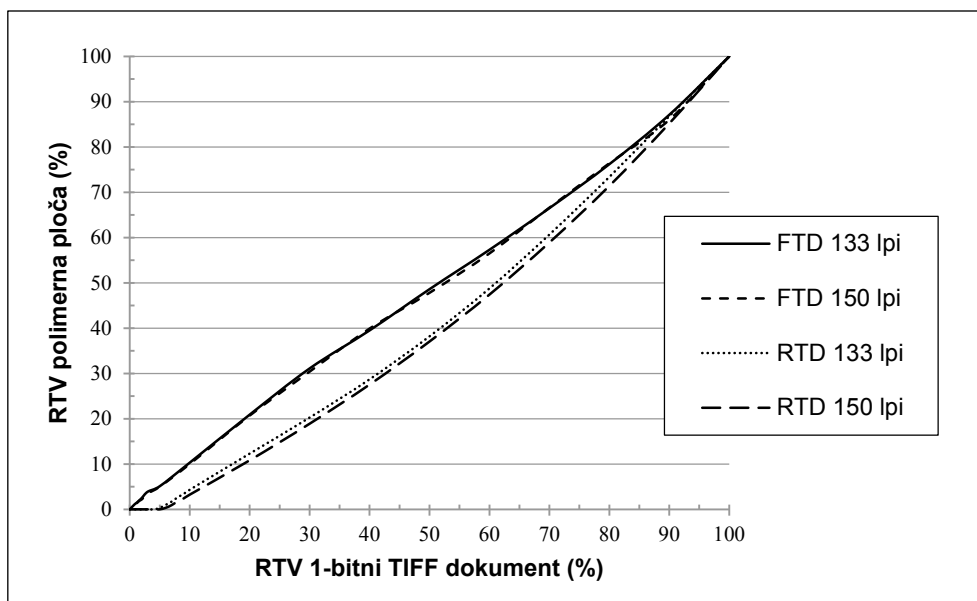


*Slika 3.14 Minimalna veličina rasterskog elementa koja se reproducira na polimernoj ploči kod standardne i napredne digitalne tehnologije kod 150 lpi*

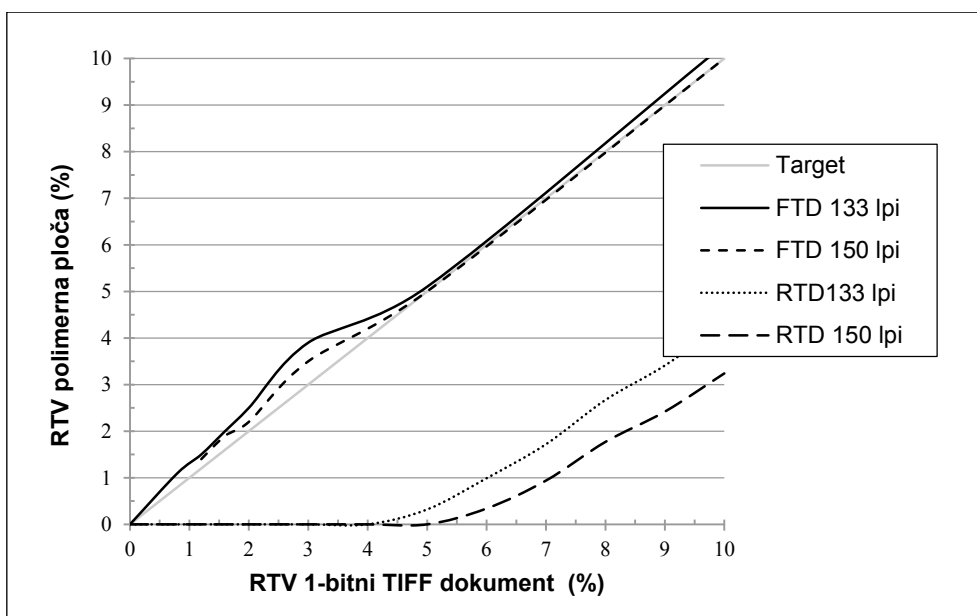
Slika 3.14 pokazuje da maska od 6,9 % RTV kod 150 lpi na ploči, kod standardne izrade polimerne ploče, reproducira rasterski element veličine 1% dok je veličina rasterskog elementa na maski, kod napredne tehnologije izrade, skoro identična reproduciranoj te iznosi 0,8 % RTV. Reprodukcijska tonova na polimernim pločama ovisi o mnogo faktora: specifikaciji polimerne ploče, linijaturi rastera, jedinici za osvjetljavanje, vrsti osvjetljivača te procesu obrade polimera, stoga se prema potrebi za korekciju tonova koriste „bump-up“ krivulje.

Pomoću krivulja reprodukcije nelineariziranih polimernih ploča na slici 3.15 prikazane su stvarne mogućnosti cjelokupnog procesa koji uključuje osvjetljavanje Ctp uređajem i obradu polimera solventnim postupkom. Krivulja reprodukcije tonova na ploči kod napredne tehnologije izrade, kod obje linijature rastera je skoro linearna i za obje linijature skoro identična. Krivulja reprodukcije tonova na ploči kod standardne tehnologije je spuštena u odnosu na linearnu referencu (za svako mjerno polje reproducirana rastertonska vrijednost na ploči je niža u odnosu na traženu vrijednost) te započinje od točke koja prikazuje rastertonsku vrijednost najmanjeg dobro reproduciranog rasterskog elementa.

Slika 3.15 prikazuje krivulju reprodukcije kroz cijeli raspon tonova, a slika 3.16 reprodukciju svijetlih tonova od 0–10% RTV pošto se prvenstveno istražuje reprodukcija tonova u tom području.



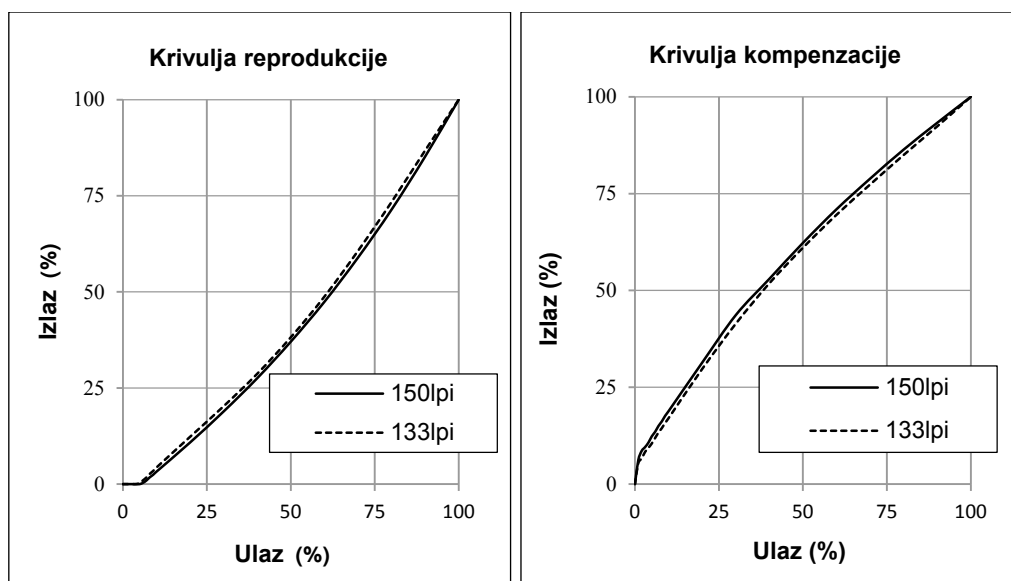
*Slika 3.15 Grafički prikaz krivulja reprodukcije polimernih ploča kod obje linijature rastera i oba procesa izrade ploče*



*Slika 3.16 Grafički prikaz krivulja reprodukcije polimernih ploča kod oba procesa izrade ploče, prikaz svijetlih tonova od 0 – 10% RTV*

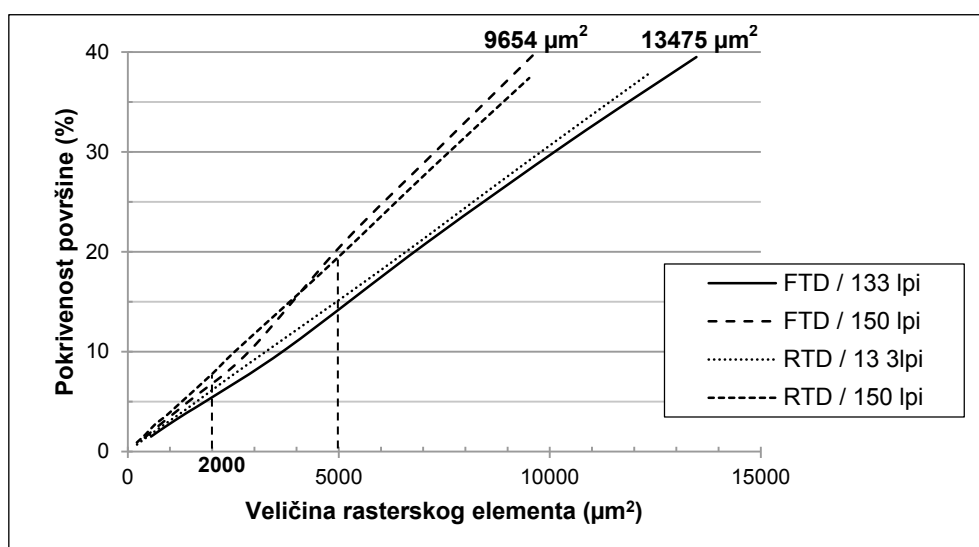
Napredna digitalna tehnologija omogućava reprodukciju svih razina sive gotovo linearno, povećavajući raspon tonova u svijetlim i tamnim tonovima. Mala odstupanja su prihvatljiva (do  $\pm 1\%$ ) i ona će se kompenzirati pomoću krivulje kompenzacije prirasta RTV (engl. Dot gain compensation – DGC) u fazi rastriranja (ripanja). Standardna LAMS digitalna ploča ne reproducira dobro sve razine sive, a rezultat toga je gubitak svijetlih i tamnih tonova. Svijetla područja ispod 8% kod 133 lpi, odnosno ispod 7% kod 150 lpi nisu se reproducirala na polimernoj ploči. Prema tome, standardni digitalni proces izrade zahtjeva primjenu „bump–up“ krivulje za uspostavljanje minimalne veličine rasterskog elementa na polimernoj ploči. Linearna referenca je ravna linija pod kutom od 45° i ona predstavlja idealnu reprodukciju tonova. Krivulja kompenzacije tonova izračunava se i kreira tako da se izmjereni podaci cjelokupnog raspona tonova uspoređuju sa nominalnim vrijednostima. Na slici 3.17 može se uočiti da je krivulja kompenzacije polimerne ploče zapravo inverzna (ili zrcalna) u odnosu na njenu krivulju reprodukcije. Krivulja kompenzacije tonova je također poznata pod nazivom krivulja linearizacije (engl. linearization, prepress curve).

Pomoću „bump–up“ krivulje kompenzira se gubitak svijetlih tonova povećanjem rastertonskih vrijednosti, a postala je industrijski standard za suzbijanje učinka kisika kod tehnologija izrade polimernih ploča koje uzrokuju eroziju rasterskog elementa. Međutim tim postupkom se komprimira raspon tonova posebno u svijetlim tonovima. Kod ploče linijature 150 lpi cjelokupni raspon tonova se komprimira unutar 93 %. Kod linearno reproduciranih tonova na polimernoj ploči ovaj postupak se ne primjenjuje.



**Slika 3.17** Prikaz krivulja reprodukcije tonova na polimernoj ploči kod RTD sustav i njihovih relevantnih krivulja kompenzacije

Kada se usporede krivulje reprodukcije kod standardne digitalne tehnologije (slika 3.17) može se uočiti da su kod veće linijature od 150 lpi vrijednosti niže, što je razumljivo jer su i rasterski elementi relativno manji. Minimalni rasterski element koji je dobro reproduciran na polimernoj ploči, primjenom napredne tehnologije, iznosi  $18 \mu\text{m}$  što odgovara 1,2 % RTV na 1-bitnom dokumentu kod linijature od 150 lpi (tablica 3.16). Primjenom standardne LAMS tehnologije minimalni rasterski element kod linijature od 150 lpi iznosi  $42 \mu\text{m}$  što odgovara 6,2 % RTV na 1-bitnom dokumentu ili 0,9 % RTV na polimernoj ploči (tablica 3.12). Stoga se u tisku koristi ponovo izrađena polimerna ploča sa primijenjenom krivuljom kompenzacije kako ne bi došlo do prekida tonova u svijetlim područjima. Prema tome, izrađene polimerne ploče za obje tehnologije imaju cjelokupni raspon tonova od 0–100% i na taj način su stvoreni identični uvjeti za tisak s ciljem daljnje usporedbe i evaluacije.



**Slika 3.18** Grafički prikaz utjecaja linijature rastera na veličinu rasterskog elementa na polimernoj ploči (u  $\mu\text{m}^2$ ) u rasponu od 0–40% RTV

Slika 3.18 prikazuje odnos veličine rasterskog elementa na polimernoj ploči (u  $\mu\text{m}^2$ ) i pokrivenosti površine kod obje linijature rastera. Vertikalne linije na grafikonu prikazuju veličinu rasterskog elementa od  $2000 \mu\text{m}^2$  i  $5000 \mu\text{m}^2$  te njima pridružene vrijednosti pokrivenosti površine. Veličina rasterskog elementa od  $2000 \mu\text{m}^2$  kod FTD sustava izmjerena je za 5,4% RTV kod 133 lpi te za 6,8% RTV kod 150 lpi. Identična veličina rasterskog elementa od  $2000 \mu\text{m}^2$  kod RTD sustava izmjerena je za 6,2% RTV kod 133 lpi te za 7,8% RTV kod 150 lpi. Razlika između veličine rasterskog elementa za iste linijature, kod obje tehnologije izrade ploče, nije značajna i manja je od 1% RTV u svijetlim tonovima. Grafikon također pokazuje da jednaka promjena pokrivenosti površine ima veći utjecaj kod većih



linijatura rastera, nego kod manjih. Tako da za isti raspon tonova od 0–40% za FTD sustav, kod linijature od 150 lpi, promjena u veličini iznosi  $9654 \mu\text{m}^2$  (tablica 3.16), a za 133 lpi iznosi  $13475 \mu\text{m}^2$  (tablica 3.14). Stoga se može zaključiti da je rasterski element slabije definiran kod većih linijatura rastera. Ta činjenica ukazuje da sa povećanjem linijature tiskovni proces mora reproducirati manje rasterske elemente da se dobije isti kontrast. To znači da veća linijatura rezultira manjim kontrastom.

### 3.6.2 Kolorimetrijske vrijednosti cijana i bijele boje

Kao što je navedeno u opisu tiskovnog eksperimenta, na početku procesa tiska, potrebno je uskladiti kolorimetrijske vrijednosti cijana i tiskovne podloge prema standardu ISO 12647-6. Ciljane i izmjerene vrijednosti za puno polje cijana i predotisnute pokrivne bijele boje prikazane su u tablici 3.18.

**Tablica 3.18** Ciljane i izmjerene kolorimetrijske vrijednosti za cijan i bijelu boju

		L*	a*	b*	
Cijan	Referenca	50	-33	-36	$\Delta E_{ab}^* = 6,1$
	Uzorak	53,6	-34,3	-40,8	
Bijela	Referenca	$\geq 88$	-5 to +5	-3 to +3	$\Delta L_{ab}^* = 6,2$
	Uzorak	81,8	-2,4	-2,9	

Kolorimetrijska razlika ( $\Delta E_{ab}^*$ ) za cijan u odnosu na referencu izračunava se pomoću CIE 1976 jednadžbe [85]:

$$\Delta E_{ab} = \sqrt[3]{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad (3.11)$$

gdje je:

$\Delta E_{ab}$  – kolorimetrijska razlika

$\Delta L$  – razlika u svjetlini između uzorka i reference

$\Delta a$  – razlika u koordinati a između uzorka i reference (zeleno/crvena koordinata)

$\Delta b$  – razlika u koordinati b između uzorka i reference (plavo/žuta koordinata)

Prema standardu za fleksotisak ISO 12647-6 [8] dopušteno odstupanje u tisku za cijan boju definirano je kolorimetrijskom razlikom  $\Delta E_{ab}^* = 5$ . Odstupanje cijana u tisku u danom

eksperimentu je veće od dozvoljenog za 1,1. Obzirom na vrstu tiskovne podloge koja se koristi u eksperimentu te tisak pomoću pokrivne bijele boje što bitno utječe na opacitet podloge zaključeno je da je ovo odstupanje prihvatljivo.

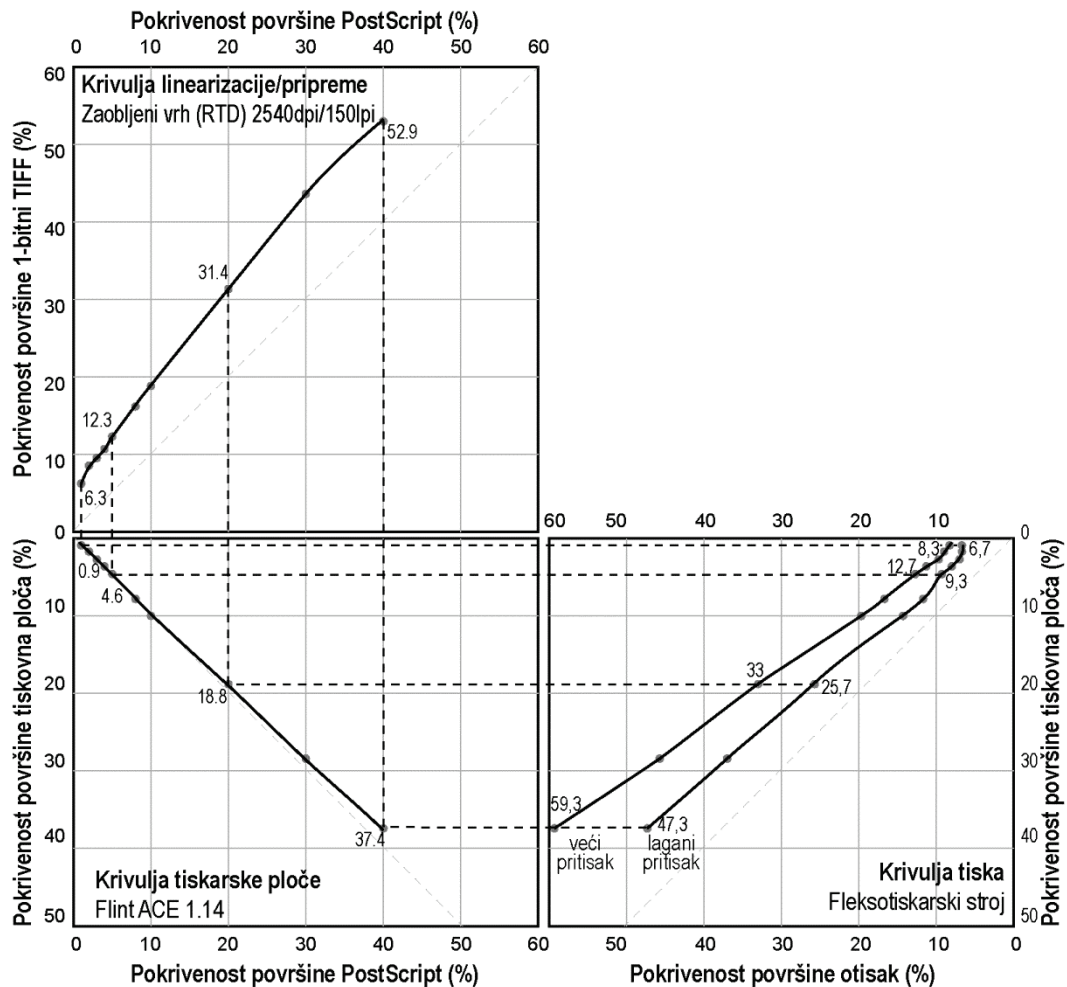
Također, prema navedenom standardu ciljane CIE L\*a\*b\* vrijednosti za tiskovnu podlogu definirane su u sljedećem rasponu: za L\* ( $\geq 88$ ), za a\* (-3 do +3) i za b\* (-5 do +5). Može se uočiti da je opacitet, koji je posredno izmjeren pomoću svjetline, manji za 6,2% u odnosu na referentnu vrijednost. Međutim, puno važnije od vrijednosti samog odstupanja je istražiti kako to utječe na reprodukciju procesnih boja.

Unatoč odstupanjima ove su vrijednosti boja prihvaćene kao konstante za daljnji proces tiska pri definiranim uvjetima i kao takve su se održavale u daljnjem eksperimentu.

### 3.6.3 Krivulja reprodukcije

Krivulja reprodukcije (eng. Tone Reproduction Curve – TRC) vrlo je važan pokazatelj u karakterizaciji cjelokupnog procesa. Tri faze proizvodnje koje se analiziraju povezane su uz proces rastriranja, proces osvjetljavanja i obrade polimera te proces tiska. Reprodukcija tonova u pojedinoj fazi prikazana je pomoću krivulje reprodukcije. Evaluacija reprodukcije tonova u fazi rastriranja izvodi se mjerenjem kvalitativnih parametara na rasterskom 1-bitnom TIFF dokumentu i analizom podataka u odnosu na njihove nominalne vrijednosti. Takav dokument se šalje na CtP uređaj i nakon procesa obrade na bazi otapala (solventni postupak) stvaraju se tiskovne površine na fleksibilnoj ploči. Evaluacija reprodukcije tonova u ovoj fazi izvodi se mjerenjem kvalitativnih parametara na gotovim polimernim pločama te analizom podataka u odnosu na vrijednosti iz prethodne faze. Posljednja faza je tisak, a evaluacija reprodukcije tonova izvodi se mjerenjem kvalitativnih parametara na otisnutim uzorcima u odnosu prema vrijednostima izmjerenim na polimernim pločama.

Najbolji načina za prikazivanje i analiziranje reprodukcije tonova kroz više faza je Jonesov dijagram (razvio ga je Loyd A. Jones 1940. godine). Svaka os ovog dijagrama predstavlja različitu varijablu. U ovom istraživanju dijagram se sastojati od tri kvadranta, a svaki kvadrant predstavlja jednu proizvodnu fazu polazeći u smjeru suprotnom od kazaljke na satu. Izlazni podaci iz grafikona u prvom kvadrantu se prenose kao ulazni podaci grafikona u drugom kvadrantu i tako dalje. Na taj način, pomoću višestruke usporedbe, vrlo lako se može uvidjeti kako promjena nekog parametra utječe na faze koje slijede nakon nje, odnosno može se zaključiti što je potrebno korigirati da bi se dobili željeni rezultati.



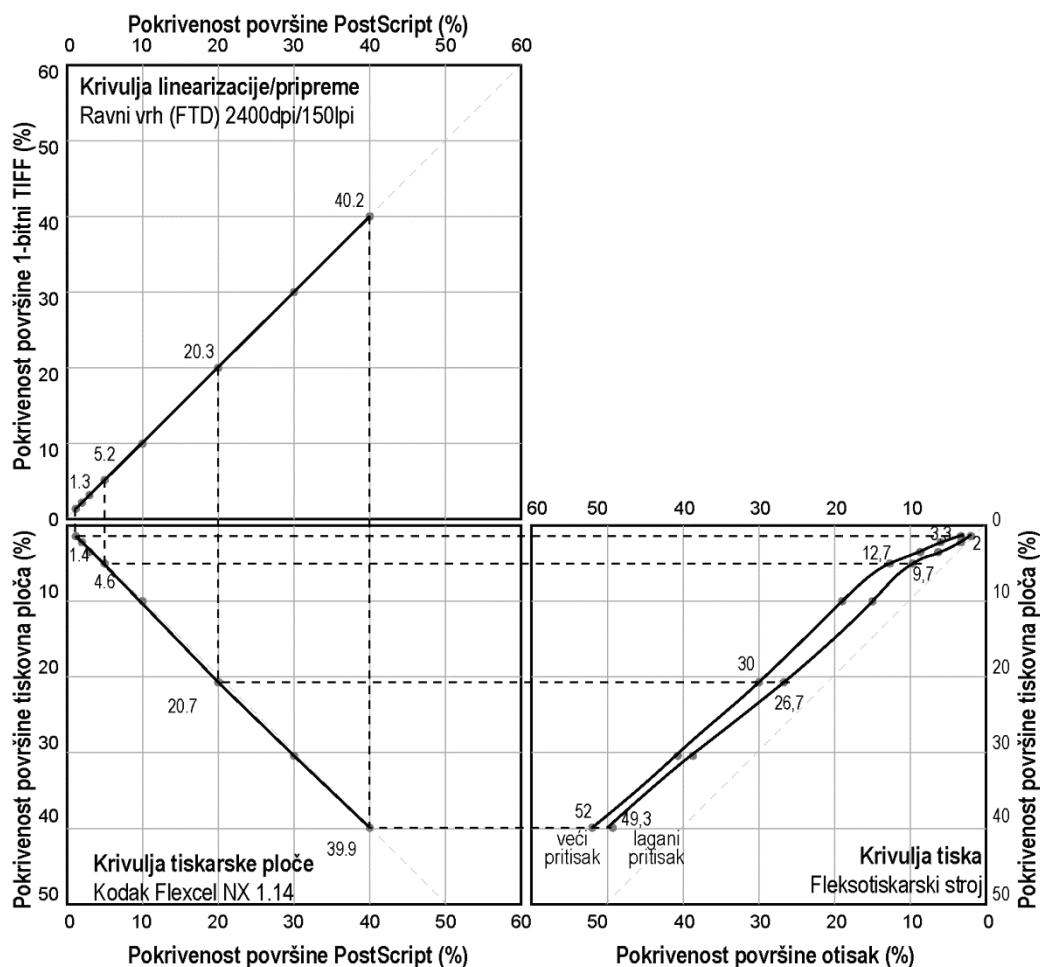
*Slika 3.19 Višestruka usporedba reprodukcije tonova pomoću Jonesovog dijagrama kod linijature 150 lpi za RTD sustav i oba pritiska u tisku*

Radi lakšeg praćenja promjene u reprodukciji rastertonskih vrijednosti nekoliko ključnih tonova u dijagramu povezani su isprekidanim linijama. Pomoću ovog dijagrama prikazana je reprodukcija tonova nominalnih vrijednosti od 0–40% RTV.

Slika 3.19 prikazuje reprodukciju tonova kod RTD sustava, odnosno cjelokupnog procesa koji se temelji na standardnoj tehnologiji izrade ploče i zaobljenom obliku vrha rasterskog elementa na ploči. Prvo što se može uočiti je nelinearnost 1-bitnog TIFF dokumenta čiji je cilj postići linearnu reprodukciju na polimernoj ploči. Iako je napravljena linearizacija pomoću „bump-up“ krivulje, može se primijetiti da krivulja reprodukcije tonova na ploči ima manja odstupanja u srednjim tonovima u odnosu na ciljane vrijednosti. To pokazuje da inverzna „bump-up“ krivulja ne daje u potpunosti linearne rezultate.

Prva ključna točka reprodukcije je minimalni rasterski element koji je stabilan na ploči. To je 0,9% RTV, a dobiven je reprodukcijom rasterskog elementa od 6,3% RTV sa 1-bitnog

dokumentu. Reprodukcijska vrijednost od 0,9% na ploči je u tisku značajno veća, odnosno iznosi 6,7% i 8,3% RTV ovisno o pritisku u tisku. Kod upojnih tiskovnih podloga ta vrijednost bi bila od 10–15% RTV. Krivulje tiska pokazuju da je pritisak u tisku ključni čimbenik koji ima značajan utjecaj na reprodukciju tonova kod rasterskih elemenata sa zaobljenim vrhom. Vrijednosti u tisku su relativno veće za 20–30% od vrijednosti na ploči i rastu sa povećanjem pokrivenosti površine. Otprilike isto povećanje vrijednosti se primjećuje i između otisaka nastalih sa laganim i većim pritiskom u tisku.



*Slika 3.20 Višestruka usporedba reprodukcije tonova pomoću Jonesovog dijagrama kod linijature 150 lpi za FTD sustav i oba pritiska u tisku*

Slika 3.20 prikazuje reprodukciju tonova kod FTD sustava, odnosno cjelokupnog procesa koji se temelji na naprednoj tehnologiji izrade ploče i ravnom obliku vrha rasterskog elementa na ploči. Kada se pogleda reprodukcija tonova 1-bitnog dokumenta na ploču (koji je u potpunosti linearan), uočava se da su odstupanja oko 0,5% RTV i manje u odnosu na ciljane vrijednosti. Na grafičkom prikazu ta krivulja je prikazana pod kutom od 45°.

Prema grafičkom prikazu za FTD sustav 1,3% RTV na 1-bitnom dokumentu reproducira se na ploči kao 1,4% RTV, a u tisku kao 2% RTV, odnosno 3,3% RTV ovisno o pritisku u tisku. Povećanje vrijednosti je značajno manje nego kod RTD sustava te se može reći da pritisak u tisku ima puno manji utjecaj na reprodukciju tonova.

Reprodukcija tonova kod oba sustava kod laganog pritiska u tisku je skoro identična sa malo većim vrijednostima kod FTD sustava, isključujući najsvjetlije tonove do 10% RTV gdje je značajno veće povećanje kod RTD sustava. Nadalje, već je rečeno da pritisak u tisku kod FTD sustava ima manji utjecaj na reprodukciju tonova što pokazuje manji otklon krivulje kod većeg pritiska u odnosu na krivulju reprodukcije kod laganog pritiska. To povećanje vrijednosti u odnosu na lagani pritisak je relativno veće za 5–23% te ima tendenciju smanjenja sa povećanjem pokrivenosti površine.

Može se uočiti da je ova tvrdnja posve u suprotnosti sa situacijom kod RTD sustava gdje se ta vrijednost povećava sa povećanjem pokrivenosti površine. To proizlazi iz činjenice da rasterski elementi kod RTD sustava, kod većih rastertonskih vrijednosti, imaju veću tiskovnu površinu te zahvaljujući ravnom obliku vrha ravnomjernije raspodjeljuju silu pritiska na čitavu površinu. Stoga je pritisak po jedinici površine kod većih rasterskih elemenata manji nego kod manjih rasterskih elemenata.

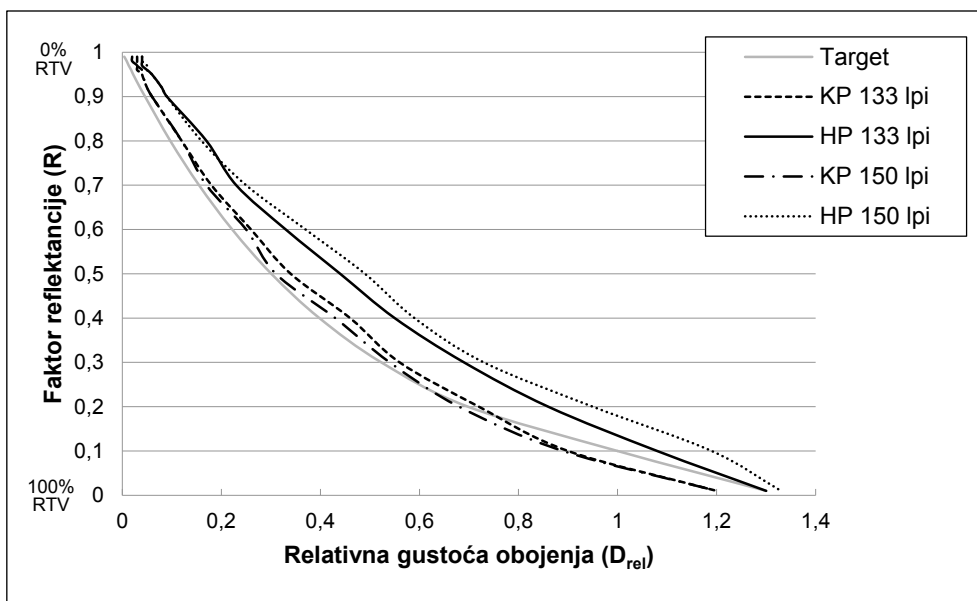
#### **3.6.4 Gustoća obojenja**

Gustoća obojenja (engl. Density) uglavnom ovisi o pigmentaciji, koncentraciji i debljini filma bojila. Gustoća obojenja indirektno mjeri debljinu filma bojila, ali ne govori o percepcijskim karakteristikama boje. Povećanjem debljine filma bojila povećava se i gustoća obojenja, ali samo do određene granice nakon koje više ne raste. [86]

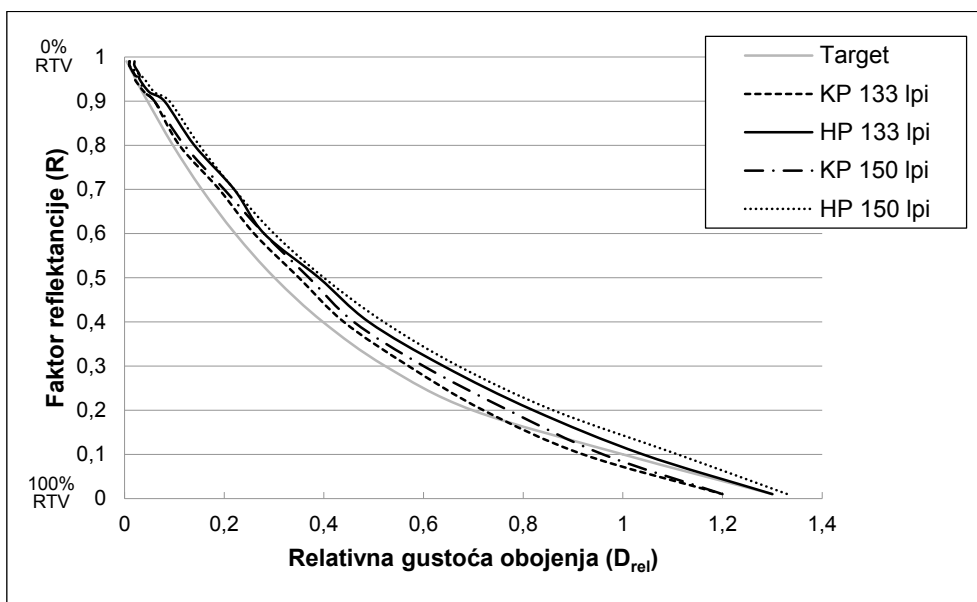
Gustoća obojenja cjelokupnog raspona tonova u tisku, kod obje jačine pritiska, izmjerena je pomoću refleksionog denzitometra X-Rite 528. Analiza gustoće obojenja je pokazala da pritisak u tisku između tiskarske ploče i tiskovnog cilindra ima značajni utjecaj s određenim razlikama, ovisno o linijaturi rastera te obliku vrha rasterskog elementa.

Uobičajeno je da gustoća obojenja punog polja varira tokom tiska naklade no to se u ovom radu neće istraživati. Na osnovu definiranog tiskovnog eksperimenta te usklađenih kolorimetrijskih vrijednosti cijana sa standardom ISO 12647-6 utvrđene su ciljane vrijednosti gustoće obojenja punog tona. Tako je definirana relativna gustoća obojenja od 1,20 kod laganog pritiska, odnosno 1,30 kod većeg pritiska, dok apsolutna gustoća obojenja pokriven

bijele boje iznosi 0,34. Relativno velika gustoća obojenja podložne bijele boje je očekivana zbog tiska na aluminijsku foliju, a to je tiskovna podlogu koja ima veliki opacitet (stupanj neprozirnosti).



*Slika 3.21 Utjecaj linijature rastera i pritiska u tisku na gustoću obojenja cijana kod RTD sustava*



*Slika 3.22 Utjecaj linijature rastera i pritiska u tisku na gustoću obojenja cijana kod FTD sustava*

Krivulje relativne gustoće obojenja cijana u odnosu na faktor reflektancije, za oba pritiska u tisku, za RTD sustav prikazane su na slici 3.21, a za FTD sustav prikazane su na slici 3.22.

Krivulja ciljane gustoće obojenja prikazuje proporcionalno povećanje gustoće obojenja prema faktoru reflektancije. Faktor reflektancije prikazuje odnos refleksije uzorka boje i refleksije referentne bijele te je obrnuto proporcionalan sa površinom pokrivenosti što znači da sa povećanjem faktora reflektancije pada pokrivenost površine i obrnuto. Prema tome faktor reflektancije 1 označava 0% RTV, a faktor reflektancije 0 označava 100% RTV [87].

Na osnovu grafikona prikazanih na slikama 3.21 i 3.22 može se uočiti da povećanjem pritiska u tisku gustoća obojenja cijana ima značajno veće vrijednosti kod RTD sustava, nego kod FTD sustava. Na primjer, kod linijature od 150 lpi i 50% RTV gustoća obojenja kod RTD sustava iznosi 0,49 (tablica 3.13), a kod FTD sustava 0,4 (tablica 3.17). Kod laganog pritiska vrijednosti gustoće obojenja kod RTD sustava su nešto niže, nego kod FTD sustava. Istraživanje utjecaja linijature rastera na gustoću obojenja, kod oba sustava, pokazuje da sa povećanjem linijature raste i gustoća obojenja, a to je povezano sa činjenicom da je kod većih linijatura veći i prirast RTV.

Pitanje je što to znači za kvalitetu reprodukcije. Krivulja za RTD sustav kod većeg pritiska u tisku je ravnija, nego kod FTD sustava što znači da je razlika u gustoći obojenja pojedinih tonova u području srednjih tonova manja, a to rezultira tamnijom reprodukcijom i manjim tiskovnim kontrastom. Tiskovni kontrast određuje se usporedbom gustoće obojenja punog polja i tri-četvrtinskog rasterskog polja, a najčešće se mjeri na kontrolnim poljima od 75% ili 80% RTV [88].

Reprodukcija mora imati što je moguće veći tiskovni kontrast, a da bi se to postiglo, puni tonovi moraju imati što veću gustoću obojenja, a da u isto vrijeme raster bude što je moguće više otvoreniji. Optimalni kontrast prikazan je ciljanom krivuljom na slikama 3.21 i 3.22 kod koje jednaka promjena tonskih vrijednosti odgovara jednakim promjenama gustoće obojenja. Povećanje nanosa bojila rezultira većom gustoćom obojenja rasterskih polja i tako povećava kontrast. Međutim, taj proces funkcionira samo do određene granice nakon čega rasterski elementi postaju više zapunjeni, posebno u tamnim područjima. Time se smanjuje udio bijelih površina, a tiskovni kontrast ponovno opada.

Tiskovni kontrast ukazuje na sposobnost tiskovnog procesa da održi detalje u tamnim područjima s time da veće vrijednosti pokazuju bolju kvalitetu ispisa, a izračunava se pomoću sljedeće jednadžbe [84]:

$$K = \frac{D_s - D_t}{D_s} \times 100 \quad (3.12)$$

gdje je:

$K$  = tiskovni kontrast (engl. Print contrast)

$D_s$  = gustoća obojenja punog polja (engl. Solid Density)

$D_t$  = gustoća obojenja rasterskog polja (engl. Tint Density)

Za izračun tiskovnog kontrasta koristi se prethodno opisana jednadžba i vrijednosti gustoće obojenja rasterskog polja od 80% RTV, a rezultati izračuna su prikazani u tablici 3.19.

**Tablica 3.19** Vrijednosti tiskovnog kontrasta u ovisnosti o linijaturi rastera i jačini pritiska u tisku

Tiskovni kontrast (%)			
Proces	Linijatura	Lagani pritisak	Veći pritisak
RTD	133 lpi	43,3	33,8
	150 lpi	39,2	28,5
FTD	133 lpi	40,0	36,9
	150 lpi	35,8	33,8

Dobiveni rezultati za tiskovni kontrast neosporno pokazuju da veći pritisak u tisku i veća linijatura rastera rezultiraju manjim tiskovnim kontrastom. Iako neočekivano, najveći tiskovni kontrast od 43,3% zabilježen je na otisku kod laganog pritiska i linijature od 133 lpi. Međutim, tiskovni kontrast se značajno smanjuje povećanjem pritiska u tisku. To smanjenje tiskovnog kontrasta je značajno veće kod RTD sustava i iznosi oko 10%, a kod FTD sustava iznosi oko 3%. To pokazuje da je lagani pritisak u tisku, kod RTD sustava, ključan za kvalitetniju reprodukciju, dok je kod FTD sustava kvaliteta neznatno manja što prikazuju i vrijednosti tiskovnog kontrasta iz tablice 3.19.

Lagani pritisak je vrlo važan za kvalitetnu reprodukciju jer sprečava „halo“ efekt i optimizira prirast RTV, ali vrlo često nije lako tiskati sa laganim pritiskom, prvenstveno zbog karakteristika površine tiskovne podloge, neujednačene visine tiskovnih elemenata ili vrste posla koji se tiska (tisak punih tonova, kombinirani tisak ili procesni tisak). Lagani pritisak je najmanji potrebni pritisak da se bojilo prenese sa aniloks valjka na tiskarsku ploču i sa ploče na tiskovnu podlogu.



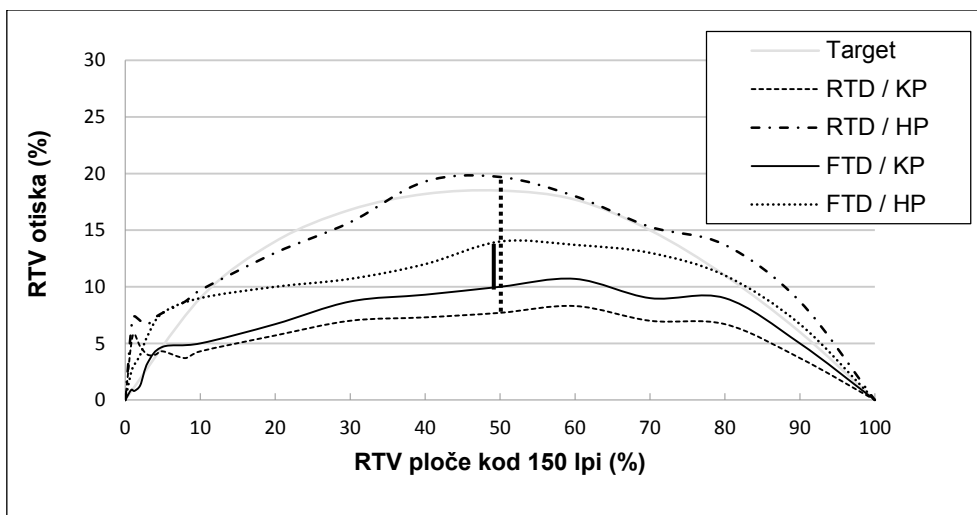
### 3.6.5 Prirast RTV

Kvaliteta i vjerodostojnost rasterske reprodukcije u suvremenoj grafičkoj tehnologiji vezana je, prije svega, uz dosljednu i ponovljivu reprodukciju rasterskih elemenata. Za vrijeme proizvodnog procesa dolazi do promjene u veličini rasterskog elementa koja može rezultirati pomacima u tonu i obojenju. Postoje različiti faktori koji utječu na prijenos rastertonskih vrijednosti te mogu uzrokovati deformaciju rasterskog elementa. Najjednostavniji način kontrole je mjerenje prirasta RTV. Prirast RTV neizbježna je pojava koja se uvijek pojavljuje u tiskovnom procesu te se nastoji kompenzirati i standardizirati. [89]

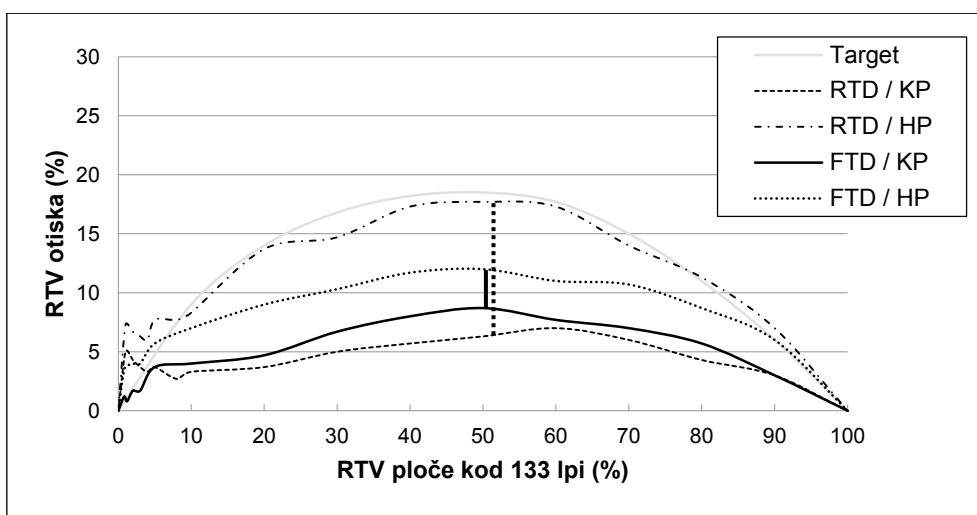
Prirast RTV (engl. Dot Gain, Tonal Value Increase) u tisku se nikada u potpunosti ne kompenzira jer će rezultirati presvijetlom reprodukcijom. Presvijetla reprodukcija ne odgovara percepciji ljudskog oka i ono očekuje da „vidi“ tamniju reprodukciju sa većim kontrastom. Prema tome, kontrolirani prirast RTV u skladu sa standardom je u potpunosti prihvatljiva pojava. Utjecaj linijature rastera na prirast RTV potvrđuju i prijašnja istraživanja koja navode da se prirast RTV povećava povećanjem linijature rastera [83].

Pošto tiskarski stroj ne posjeduje kontrolni sustav za podešavanje pritiska u tisku, on se mora podešavati manualno. Ključni faktor je početno podešavanje laganog pritiska (engl. kiss impression) koji će onda rezultirati sa manjim obojenjem ploče i manjim pritiskom na tiskovnu podlogu. Kod podešavanja laganog pritiska prvo se podešava ujednačenost obojenja ploče (odnos temeljnog cilindra prema aniloks valjku), a nakon toga ujednačenost otiska (odnos tiskovnog cilindra prema temeljnom cilindru). Postupak se svodi na smanjenje obojenja na ploči sve dok se otisak na podlozi ne počinje prekidati te vraćanja otiska pojačavanjem pritiska podloge (tiskovnog cilindra) prema ploči (temeljnom cilindru). Taj postupak se izmjenjuje tako dugo dok istovremenim podešavanjem ne nestane bojilo na ploči i otisak na podlozi. To znači da su aniloks valjak, ploča i podloga u savršenom odnosu za postizanje laganog pritiska. Također se mora paziti da je otisak ujednačen po širini trake, odnosno sa pogonske strane i strane operatera. Veći pritisak u tisku se tada vrlo lako podesi povećanjem pritiska tiskovnog cilindra prema temeljnom cilindru.

U okviru rezultata istraživanja prikazane su srednje vrijednosti prirasta RTV dobivene na temelju mjerenja rastertonskih vrijednosti kroz cjelokupan raspon tonova. Analiza je izvršena na otiscima dobivenim sa obje tiskarske ploče, kod obje jačine pritiska u tisku i obje promatrane linijature rastera. Ciljana krivulja prirasta RTV u tisku preporuka je tvrtke Kodak, a definirana je sa 18% prirasta RTV za rastersko polje od 50% RTV [47].



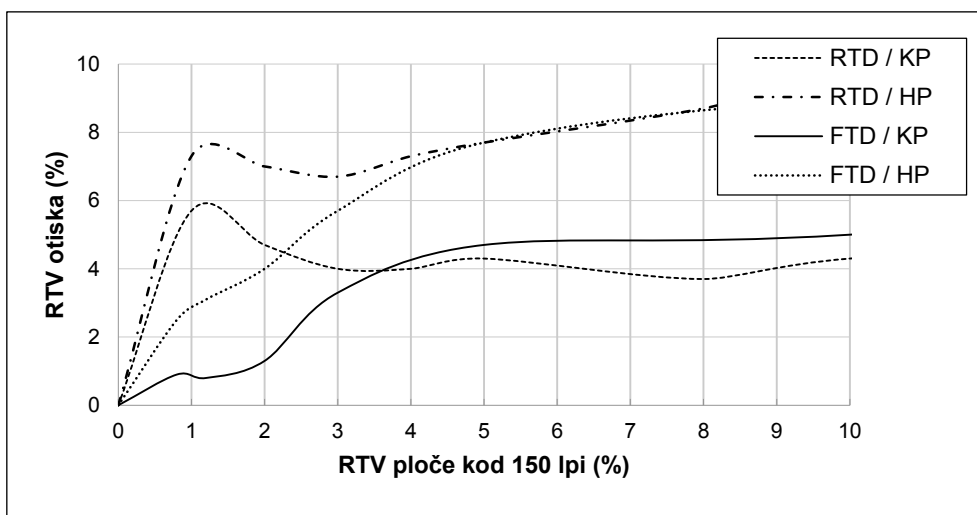
*Slika 3.23 Utjecaj jačine pritiska u tisku i oblika vrha rasterskog elementa na ploči kod linijature 150 lpi na prirast RTV*



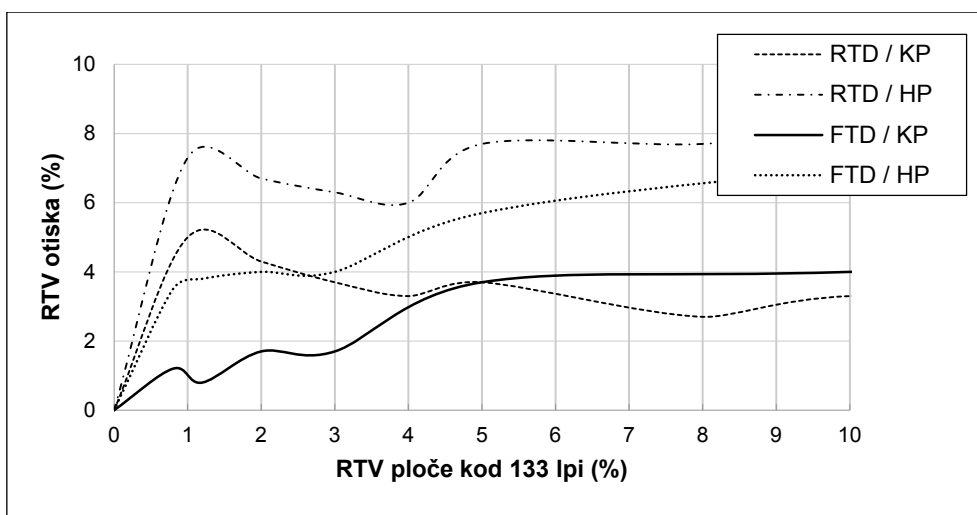
*Slika 3.24 Utjecaj jačine pritiska u tisku i oblika vrha rasterskog elementa na ploči kod 133 lpi na prirast RTV*

Na temelju grafikona na slici 3.23 može se uočiti da su najmanji (7,7 % na 50% RTV) i najveći prirast RTV (19,7 % na 50% RTV) izmjereni kod 150 lpi za RTD sustav, dok su krivulje prirasta RTV za FTD sustav smještene između njih. Kod oba sustava reprodukcije prirast RTV je veći kod većeg pritiska u tisku jer je prelijevanje bojila uslijed jačeg pritiska veće. Bojila za fleksotisak su ujedno i male viskoznosti što dodatno povećava ovu pojavu. Istovjetna je situacija i kod 133 lpi prikazana na slici 3.24. Međutim, u ovom slučaju sve krivulje su spuštene nešto niže, odnosno imaju manju maksimalnu vrijednost. To upućuje na činjenicu da se prirast RTV povećava sa povećanjem linijature. Ova konstatacija nije nova i

već je dokazana u mnogim istraživanjima [89]. Vertikalne linije na grafikonima na slici 3.23 i 3.24 pokazuju promjenu prirast RTV između laganog i većeg pritiska kod pokrivenosti površine od 50% RTV. Ta promjena prirasta RTV kod 150 lpi je puno izraženija kod RTD sustava i iznosi 12% RTV (tablica 3.13), a kod FTD sustava iznosi 4% RTV (tablica 3.17) što se može vidjeti i po dužini linija. Sukladno manjem prirastu RTV kod manje linijature, promjene prirasta RTV kod 133 lpi su nešto manje i iznose 11,4% RTV (tablica 3.11) kod RTD sustava te 3,3% RTV (tablica 3.15) kod FTD sustava.



*Slika 3.25 Utjecaj jačine pritiska u tisku i oblika vrha rasterskog elementa kod 150 lpi na prirast RTV – prikaz svijetlih tonova*



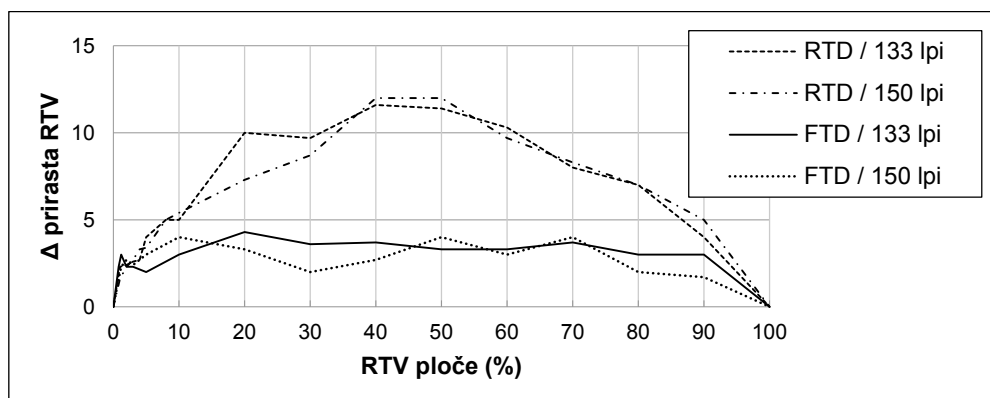
*Slika 3.26 Utjecaj jačine pritiska u tisku i oblika vrha rasterskog elementa na ploči kod 133 lpi na prirast RTV – prikaz svijetlih tonova*

Kroz eksperimentalnu analizu utvrđeno je da u istim uvjetima tiska, sa povećanjem pritiska u tisku, prirast RTV kod RTD sustava je veći nego kod FTD sustava. Međutim, svijetla područja pokrivenosti površine ispod 3% RTV imaju najveći relativni prirast RTV kod RTD sustava što znači da rasterski elementi nisu bili stabilni u tisku. To se može uočiti sa grafikona na slikama 3.25 i 3.26 gdje krivulje prirasta RTV kod tih vrijednosti imaju karakterističnu kvrgu. Ovo značajno odstupanje, rezultat je pokušaja da se fini rasterski elementi sa polimerne ploče održe stabilnim u tisku, ali oni su loše reproducirani. Takvi rasterski elementi uranjaju u čašicu aniloks valjka i preuzimaju previše bojila, a rezultat je pojava veoma prljavog otiska. Mjerenjem je utvrđeno da je promjer rasterskog elementa od 1% RTV (tablica 3.20) manji od širine otvorenog dijela čašice aniloks valjka (22 $\mu$ m za linijaturu od 400 cpcm), stoga je razumljiva loša reprodukcija.

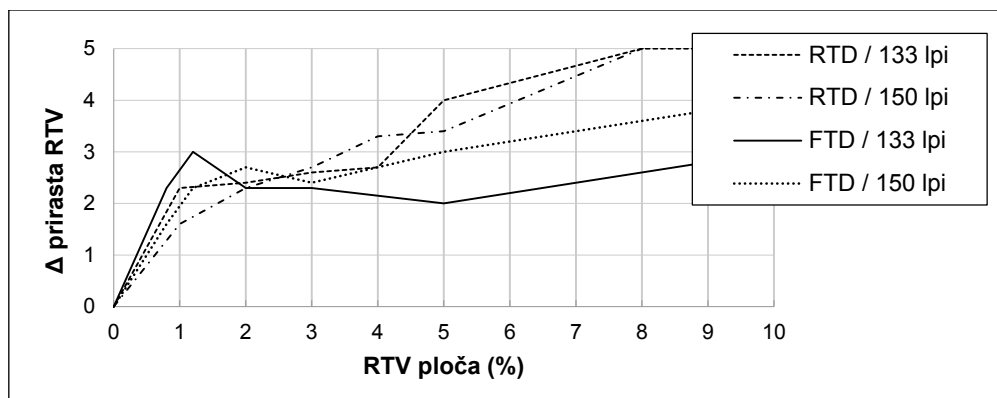
**Tablica 3.20** Stvarni promjer rasterskog elementa ( $\mu$ m) na polimernoj ploči kod RTD sustava sa prikazom relevantne pokrivenosti površine

Linijatura rastera	Promjer ( $\mu$ m) / %RTV			
	1%	2%	3%	5%
133 lpi	17 / 0,7	23 / 1,3	30 / 2,2	42 / 4,2
150 lpi	17 / 0,9	23 / 1,7	29 / 2,7	39 / 4,6

Međutim, rasterski elementi nominalne vrijednosti od 2% i 3% RTV su također loše reproducirani. Pretpostavlja se da, iako je veličina rasterskog elementa kod tih postotaka veća od širine otvorenog dijela čašice aniloks valjka (tablica 3.20), zbog zaobljenog vrha rasterski element djelomično ulazi u čašicu i preuzima previše bojila. Analiza reprodukcije svijetlih tonova (slike 3.25 i 3.26) pokazuje da su rasterski elementi sa ravnim vrhom stabilniji u tisku i da nema nekontroliranog prirasta RTV.



**Slika 3.27** Promjena prirasta RTV primjenom većeg pritiska u odnosu na lagani pritisak u tisku



*Slika 3.28 Promjena prirasta RTV primjenom većeg pritiska u odnosu na lagani pritisak u tisku - prikaz svijetlih tonova*

Rezultati promjene prirasta RTV ( $\Delta$  prirasta RTV) primjenom većeg pritiska, u odnosu na lagani pritisak u tisku, prikazani su pomoću izlomljenih krivulja na slici 3.27 te uvećanim prikazom svjetlijih tonova na slici 3.28. Promjena prirasta RTV je značajno veća kod RTD sustava sa maksimalnim povećanjem od 12% RTV kod pokrivenosti površine od 40% RTV i linijature od 150 lpi. Promjena prirasta RTV, kod FTD sustava, je više ujednačena sa maksimalnim povećanjem od 4% RTV.

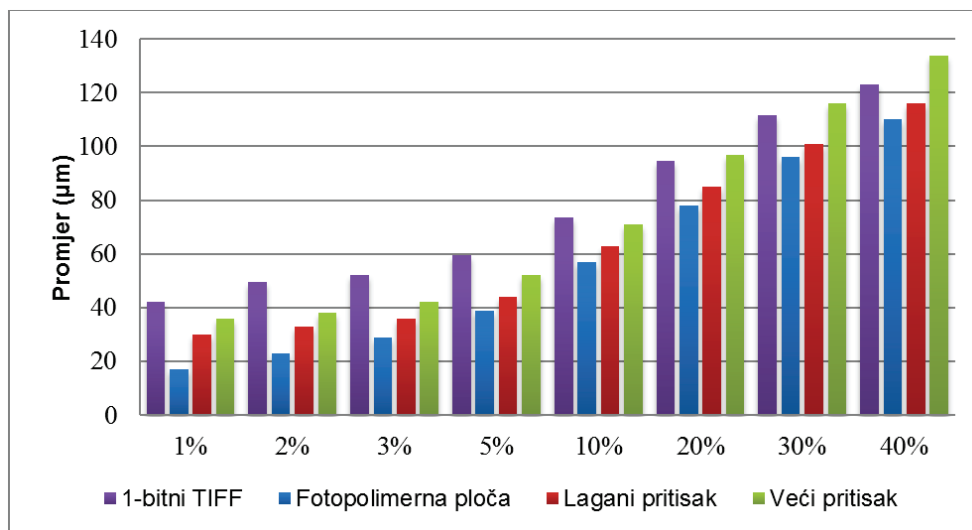
Dobiveni rezultati neosporno pokazuju da pritisak u tisku između polimerne ploče i tiskovne podloge ima značajan utjecaj na reprodukciju tonova i prirast RTV, a razlozi za to mogu biti objašnjeni pojmovima poput prelijevanje bojila, penetracija podloge i mehanička deformacija ploče.

### 3.6.6 Promjer rasterskog elementa

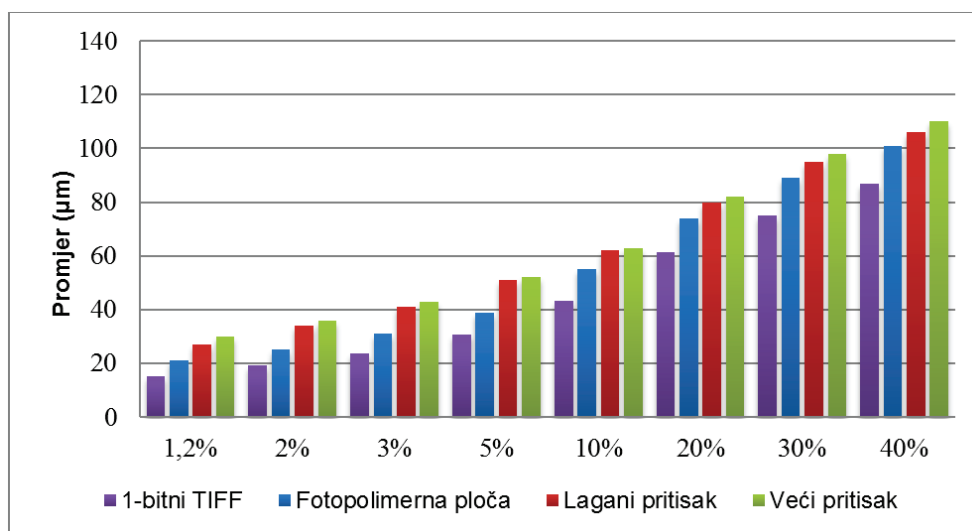
Analiza varijacije promjera rasterskog elementa počevši, od 1-bitnog TIFF dokumenta, preko polimerne ploče do otiska, opisuje promjenu stvarne veličine rasterskog elementa kroz sve tri faze proizvodnje. Mjerenja promjera rasterskog elementa na otisku, pomoću slikovne analize te softvera za analizu PlateQuality Flexo, daju dosljedne rezultate s obzirom da ova metoda eliminira optički prirast RTV.

Shodno povećanju rastertonske vrijednosti povećava se i promjer rasterskog elementa što je prikazano pomoću histograma na slikama 3.29 i 3.30. Nadalje, sa povećanjem linijature rastera smanjuje se promjer što je također razumljivo jer se rasterski elementi smanjuju. Usporedbom promjer kod oba histograma uočava se da promjer kod FTD sustava, kroz sve tri faze, ima trend rasta (slika 3.30) dok se promjer kod RTD sustava prvotno smanjuje, a nakon

toga raste (slika 3.29). Ove promjene kod RTD sustava su razumljive ako se zna da je za izradu polimerne ploče primijenjena „bump-up krivulja.



**Slika 3.29** Promjena promjera rasterskog elementa kroz tri faze proizvodnje kod linijature od 150 lpi za RTD sustav

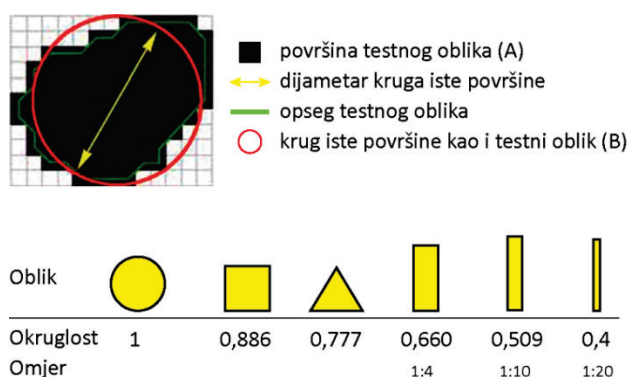


**Slika 3.30** Promjena promjera rasterskog elementa kroz tri faze proizvodnje kod linijature od 150 lpi za FTD sustav

Na primjer, promjer rasterskog elementa koji se prati kroz četiri ključne točke za pokrivenosti površine od 10% za RTD sustav iznosi 73µm/57µm/63µm/71µm (tablica 3.12), a za FTD sustava iznosi 50µm/60µm/66µm/77µm (tablica 3.16). Standardni digitalni način izrade polimerne ploče zahtjeva primjenu određenog broja korekcijskih krivulja („bump-up“ krivulja i krivulja kompenzacije) prilikom izrade što zahtijeva čestu karakterizaciju sustava promjenom bilo kojeg parametra, a mogu se javiti i neke pogreške.

### 3.6.7 Okruglost rasterskog elementa

Okruglost rasterskog elementa (engl. Dot Roundness) je vrlo važan parametar ocjenjivanja vjernosti reprodukcije i predstavlja odstupanje oblika rasterskog elementa u odnosu na savršeni krug. Okruglost se definira kao omjer površine testnog oblika (A) i površine kruga koji ima isti opseg kao i testni oblik (B) [90], slika 3.31. Okruglost se izražava numeričkom vrijednosti u rasponu od 0 do 1. Vrijednost jedan ukazuje na savršeni krug, a kako se vrijednost približava nuli oblik je sve izduženiji.



*Slika 3.31 Odnos okruglosti i različitih testnih oblika*

Na temelju definicije okruglosti i prikaza na slici 3.31 može se postaviti osnovna jednadžba:

$$R = \frac{A}{B} \quad (3.13)$$

Površina kruga se izračunava pomoću jednadžbe  $P = r^2 * \pi$ , a radijus izražen preko opsega kruga ( $O = 2 * r * \pi$ ) se izračunava pomoću jednadžbe  $r = \frac{O}{2 * \pi}$ .

Kada se jednadžba radijusa ubaci u jednadžbu za površinu kruga dobije se:

$$P = \left(\frac{O}{2 * \pi}\right)^2 * \pi \quad \text{iz čega slijedi} \quad P = \frac{O^2}{4\pi} \quad (3.14)$$

Kada ovu jednadžbu ubacimo u početnu jednadžbu slijedi:

$$R = \frac{P}{\frac{O^2}{4\pi}} \quad \text{iz čega slijedi} \quad R = 4\pi * \frac{P}{O^2} \quad (3.15)$$

gdje je: R – okruglost  
P – površina rasterskog elementa  
O – opseg rasterskog elementa

**Tablica 3.21** Srednje vrijednosti okruglosti rasterskog elementa kroz tri faze proizvodnje kod linijature od 150 lpi

Nominalna RTV (%)	RTD sustav				FTD sustav			
	1-bitni TIFF	Polimerna ploča	Lagani pritisak	Veći pritisak	1-bitni TIFF	Polimerna ploča	Lagani pritisak	Veći pritisak
1 / 1,2	0,891	0,948	0,870	0,859	0,876	0,881	0,864	0,851
2	0,780	0,923	0,858	0,857	0,699	0,842	0,830	0,847
5	0,844	0,900	0,850	0,845	0,738	0,824	0,849	0,833
10	0,828	0,894	0,840	0,842	0,750	0,837	0,823	0,809
20	0,836	0,883	0,843	0,844	0,634	0,801	0,788	0,807
30	0,842	0,874	0,830	0,834	0,660	0,838	0,781	0,807
40	0,834	0,880	0,810	0,792	0,674	0,810	0,747	0,767

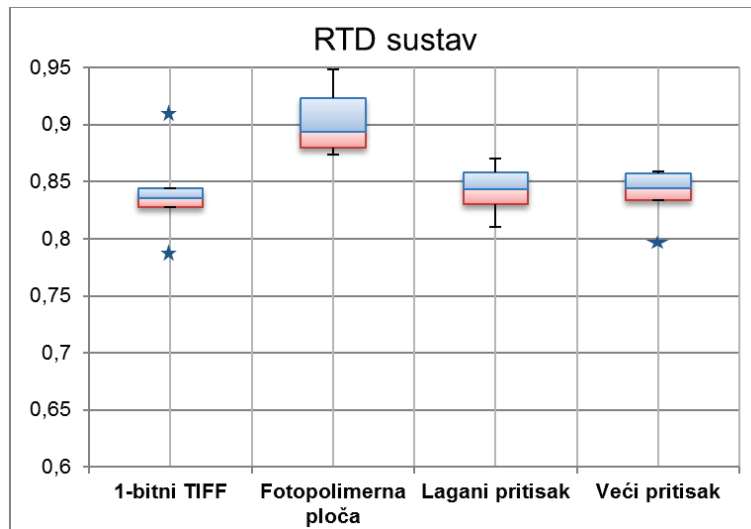
**Tablica 3.22** Rezultati statističke analize okruglosti rasterskog elementa kroz tri faze proizvodnje kod linijature od 150 lpi

	RTD sustav				FTD sustav			
	1-bitni TIFF	Polimerna ploča	Lagani pritisak	Veći pritisak	1-bitni TIFF	Polimerna ploča	Lagani pritisak	Veći pritisak
min	0,828	0,874	0,810	0,834	0,634	0,801	0,747	0,767
Q1	0,828	0,880	0,830	0,834	0,66	0,810	0,781	0,807
med	0,836	0,894	0,843	0,844	0,699	0,837	0,823	0,809
Q3	0,844	0,923	0,858	0,857	0,75	0,842	0,849	0,847
max	0,844	0,948	0,870	0,859	0,876	0,881	0,864	0,851
IQR	0,016	0,043	0,028	0,023	0,09	0,032	0,068	0,040
Q1-1.5*IQR	0,804	0,816	0,788	0,800	0,525	0,762	0,679	0,747
Q3+1.5*IQR	0,868	0,988	0,900	0,892	0,885	0,890	0,951	0,907
outlier 1	0,780			0,792				
outlier 2	0,891							

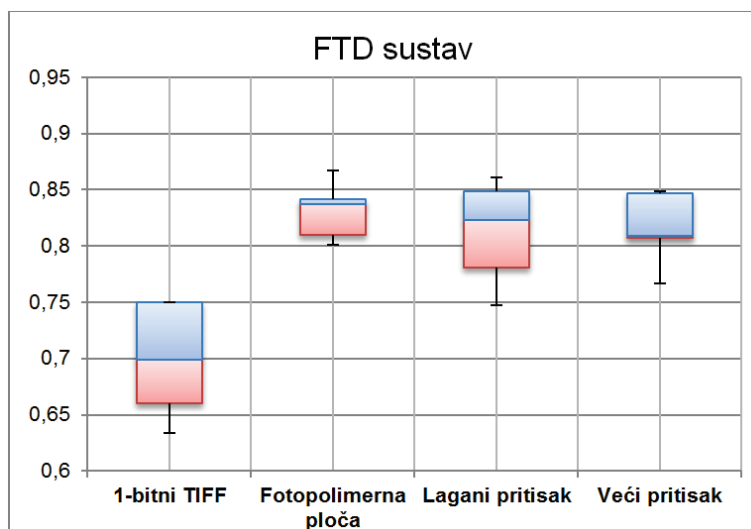
Analiza okruglosti rasterskog elementa usporedbom dva različita sustava reprodukcije izvodi se na temelju rezultata statističke analize iz tablice 3.32, a prema grafičkom prikazu distribucije podataka (box plot) na slikama 3.33 i 3.34. Box plot dijagram sastoji se od pravokutnika (engl. box) i „brkova“ (engl. whisker). Box predstavlja podatke koji se po vrijednosti nalaze u rasponu od 25–75% ukupne veličine. Donja linija predstavlja donji kvartil (Q1) tj. vrijednost koja ima svojstvo da je 25% podataka manje od nje, a gornja linija predstavlja gornji kvartil (Q3) tj. vrijednost koja ima svojstvo da je 25% podataka veće od nje. Linija unutar pravokutnika je medijan (M) tj. vrijednost koja ima svojstvo da je 50% podataka veće od nje, a 50% podataka manje od nje. Interkvartil (IQR) je razlika između gornjeg i



donjeg kvartila, odnosno duljina našeg pravokutnika. Pokazuje nam koliki je raspon središnjih 50% podataka. Outlieri su vrijednosti koje odstupaju od ostalih podataka tj. vrijednosti koje su od gornjeg i donjeg kvartila udaljene za više od  $1,5 \cdot \text{IQR}$ . „Brkovi“ box plota označavaju minimalnu i maksimalnu vrijednost koje nisu outlieri. Izgled box plota ukazuje na stupanj raspršenosti podataka. [91]



*Slika 3.32 Grafički prikaz rezultata statističke analize za okruglost rasterskog elementa pomoću box-plot dijagrama za RTD sustav*



*Slika 3.33 Grafički prikaz rezultata statističke analize za okruglost rasterskog elementa pomoću box-plot dijagrama za FTD sustav*

Veća raspršenost podataka za okruglost rasterskog elementa veća je kroz sve situacije kod FTD sustava, osim kod polimerne ploče. Za manju raspršenost podataka za 1-bitni dokument kod RTD sustava zaslužna je primjena „bump-up“ krivulje koja povećava rastertonske vrijednosti, a time je ujedno bolja formiranost rasterskog elementa. Dva podatka tzv. outlieri, prema statističkoj analizi, odstupaju od ostalih podataka. Raspršenost podataka okruglosti kod 1-bitnog TIFF dokumenta je mala s time da su vrijednosti srednjih 50% podataka koncentrirane oko medijana, vrijednosti 0,836. Veliki interkvartilni rasponi dokazuju veliku raspršenost podataka za okruglost za 1-bitni TIFF dokument kod FTD sustava.


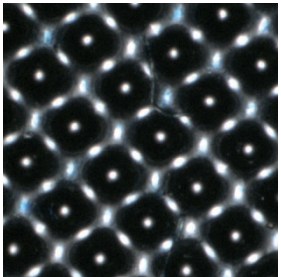
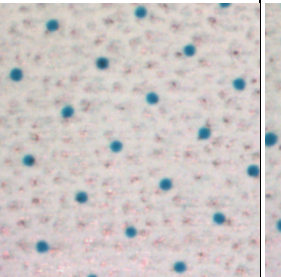
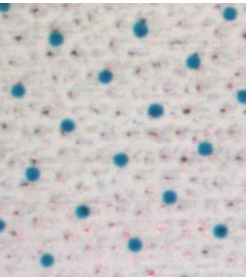

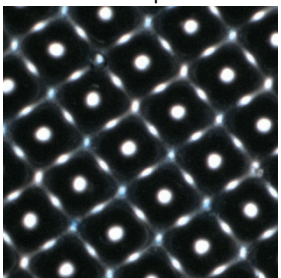
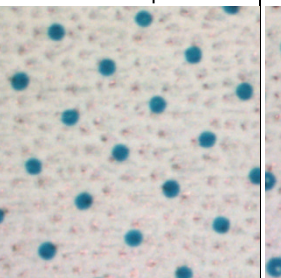
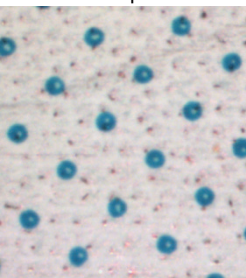

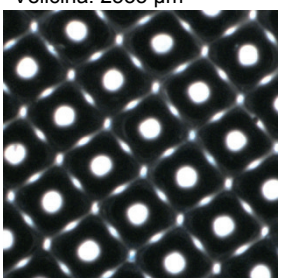
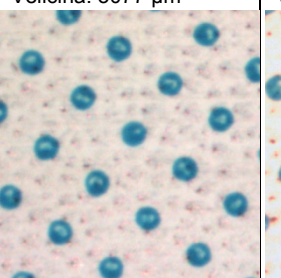
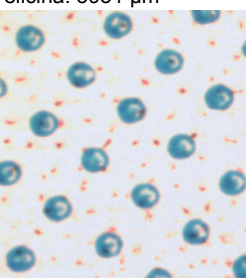
Usporedba i analiza distribucije podataka okruglosti kod polimernih ploča ukazuje na značajno veće vrijednosti kod RTD sustava te ujednačenu disperziju vrijednosti. Za manje vrijednosti okruglosti kod FTD sustava zaslužna je reprodukcija 1:1 što znači da je identična rasterskom 1-bitnom TIFF dokumentu.

Grafički prikaz distribucije podataka okruglosti u ovisnosti o pritisku u tisku, kod RTD sustava, ukazuje na veliku ujednačenost vrijednosti kod oba pritiska što se vidi iz vrijednosti medijana koji iznose 0,843 i 0,844. Disperzija srednjih 50% podataka je ujednačena s time da su svi podaci, izuzev jednog, za okruglost kod većeg pritiska unutar tih 50% vrijednosti.

Iako postoji značajna razlika u okruglosti na polimernim pločama, na otiscima nema značajnog odstupanja između dviju tehnologija izrade. Također i sa povećanjem pritiska u tisku okruglost se značajno ne mijenja. Značajno visoke vrijednosti okruglosti rasterskog elementa na otisku (od 0,75 do 0,87) rezultat su tiska na neupojnoj i lakiranoj tiskovnoj podlozi.

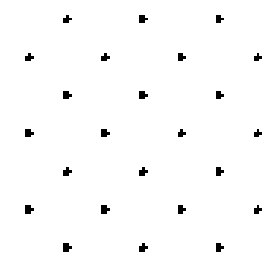
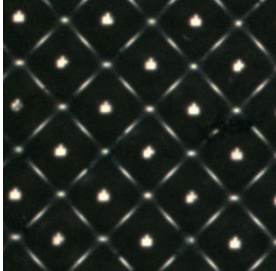
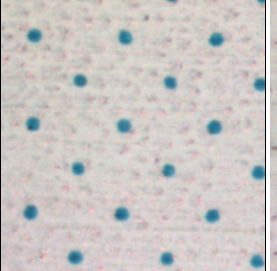
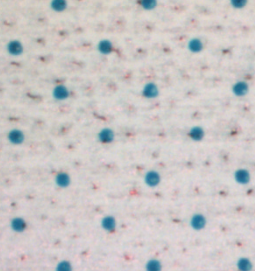
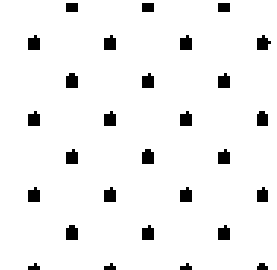
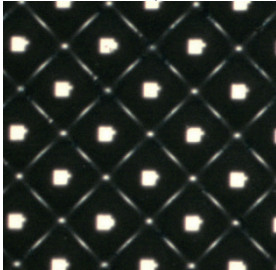
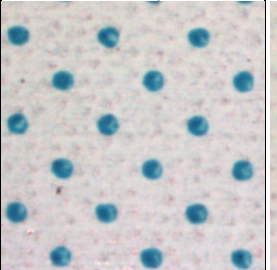
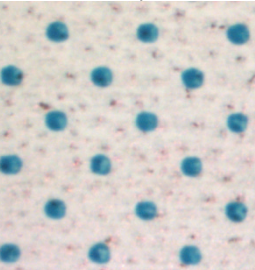
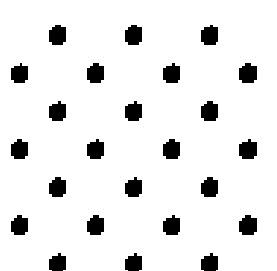
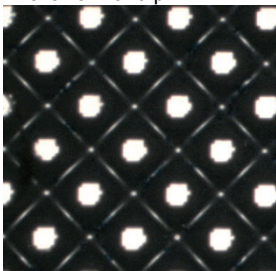
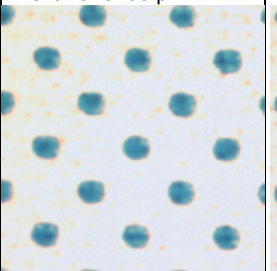
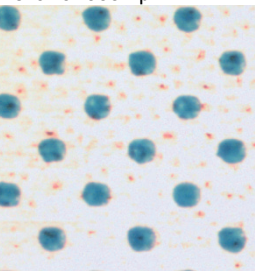
### **3.6.8 Formiranje rasterskog elementa**

U cilju detaljne analize reprodukcije tiskovnih elemenata, u okviru provedenog istraživanja, izvršeno je snimanje reprodukcije rasterskih elemenata, pomoću kamere X-Rite vipFlex 2, na ploči i na otiscima dobivenim primjenom laganog i većeg pritiska kao što je vidljivo na slikama 3.34 i 3.35. Slike koje su prikazane za 1-bitni TIFF su dijelovi originalnih rasterskih dokumenata. Za analizu su odabrani rasterski elementi iz svijetlog područja i to 2%, 5% i 10% RTV kod oba sustava s obzirom na oblik vrha rasterskog elementa. Promjer rasterskog elementa na otisku kod većeg pritiska u odnosu na ploču kod RTD sustava je veći u prosjeku za 14  $\mu\text{m}$ , a kod FTD sustava je veći u prosjeku za 10  $\mu\text{m}$  što također pokazuje manju osjetljivost rasterskog elementa sa ravnim vrhom na povećanje pritiska u tisku.

	1-bitni TIFF	Polimerna ploča	Lagani pritisak	Veći pritisak
2%	Pokriv. površine: 8,6 % Promjer: 49 $\mu$ 	Pokriv. površine: 1,7 % Promjer: 23 $\mu$ Veličina: 418 $\mu\text{m}^2$ 	Pokriv. površine: 3,5 % Promjer: 33 $\mu$ Veličina: 874 $\mu\text{m}^2$ 	Pokriv. površine: 4,7 % Promjer: 38 $\mu$ Veličina: 1154 $\mu\text{m}^2$ 
5%	Pokriv. površine: 12,3 % Promjer: 59 $\mu$ 	Pokriv. površine: 4,6 % Promjer: 39 $\mu$ Veličina: 1175 $\mu\text{m}^2$ 	Pokriv. površine: 5,9 % Promjer: 44 $\mu$ Veličina: 1536 $\mu\text{m}^2$ 	Pokriv. površine: 8,4 % Promjer: 52 $\mu$ Veličina: 2162 $\mu\text{m}^2$ 
10%	Pokriv. površine: 18,8 % Promjer: 73 $\mu$ 	Pokriv. površine: 10 % Promjer: 57 $\mu$ Veličina: 2535 $\mu\text{m}^2$ 	Pokriv. površine: 11,9 % Promjer: 63 $\mu$ Veličina: 3077 $\mu\text{m}^2$ 	Pokriv. površine: 15,1 % Promjer: 71 $\mu$ Veličina: 3931 $\mu\text{m}^2$ 

*Slika 3.34 Usporedba kvalitativnih parametara rasterskih elemenata kroz sve tri faze proizvodnje kod RTD sustava (povećanje 200x)*

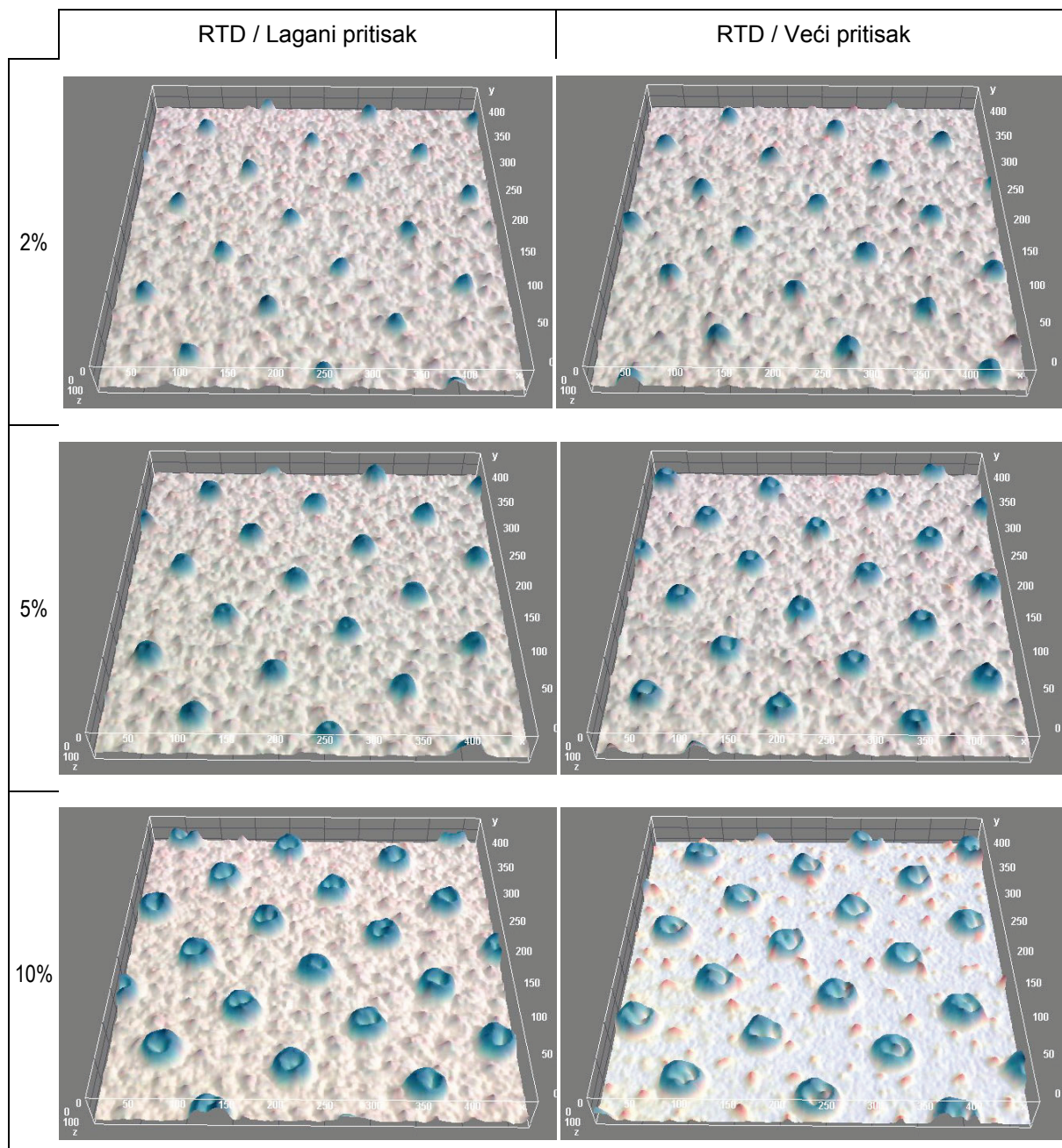
Slika 3.34 prikazuje snimke rasterskih elemenata na temelju kojih se radila slikovna analiza kod RTD sustava, a usporedbom vrijednosti kvalitativnih parametara (pokrivenost površine, promjer i veličina u  $\mu\text{m}^2$ ) kroz sve tri faze proizvodnje može se pratiti njihova promjena. Karakteristika RTD sustava su značajno veći rasterski elementi na 1-bitnom dokumentu u odnosu na ploču (zbog efekta kisika prilikom glavnog izlaganja ploče UV zračenju), a služe za stvaranje negativ maske na karbonskom crnom sloju prilikom osvjetljavanja ploče LAMS tehnologijom. Ukoliko bi negativ maska imala nominalne vrijednosti, u najsvjetlijim tonovima se rasterski elementi na ploči ne bi reproducirali što rezultira gubitkom tonova. Rasterski elementi u obliku digitalnog zapisa na 1-bitnom dokumentu formirani su od piksela određene razlučivosti te stoga rub izgleda nazubljen. Reprodukcija takovih rasterskih elemenata na ploči daje više okrugli oblik, ali to nije u potpunosti pravilan krug.

	1-bitni TIFF	Polimerna ploča	Lagani pritisak	Veći pritisak
2%	Pokriv. površine: 2 % Promjer: 23 $\mu$ 	Pokriv. površine: 2,2 % Promjer: 28 $\mu$ Veličina: 622 $\mu\text{m}^2$ 	Pokriv. površine: 4,3 % Promjer: 37 $\mu$ Veličina: 1073 $\mu\text{m}^2$ 	Pokriv. površine: 4,6 % Promjer: 38 $\mu$ Veličina: 1137 $\mu\text{m}^2$ 
5%	Pokriv. površine: 5 % Promjer: 36 $\mu$ 	Pokriv. površine: 5 % Promjer: 43 $\mu$ Veličina: 1437 $\mu\text{m}^2$ 	Pokriv. površine: 9,5 % Promjer: 55 $\mu$ Veličina: 2363 $\mu\text{m}^2$ 	Pokriv. površine: 10 % Promjer: 56 $\mu$ Veličina: 2489 $\mu\text{m}^2$ 
10%	Pokriv. površine: 10 % Promjer: 51 $\mu$ 	Pokriv. površine: 10 % Promjer: 60 $\mu$ Veličina: 2870 $\mu\text{m}^2$ 	Pokriv. površine: 13,9 % Promjer: 66 $\mu$ Veličina: 3466 $\mu\text{m}^2$ 	Pokriv. površine: 14,3 % Promjer: 67 $\mu$ Veličina: 3557 $\mu\text{m}^2$ 

*Slika 3.35 Usporedba kvalitativnih parametara rasterskih elemenata kroz sve tri faze proizvodnje kod FTD sustava (povećanje 200x)*

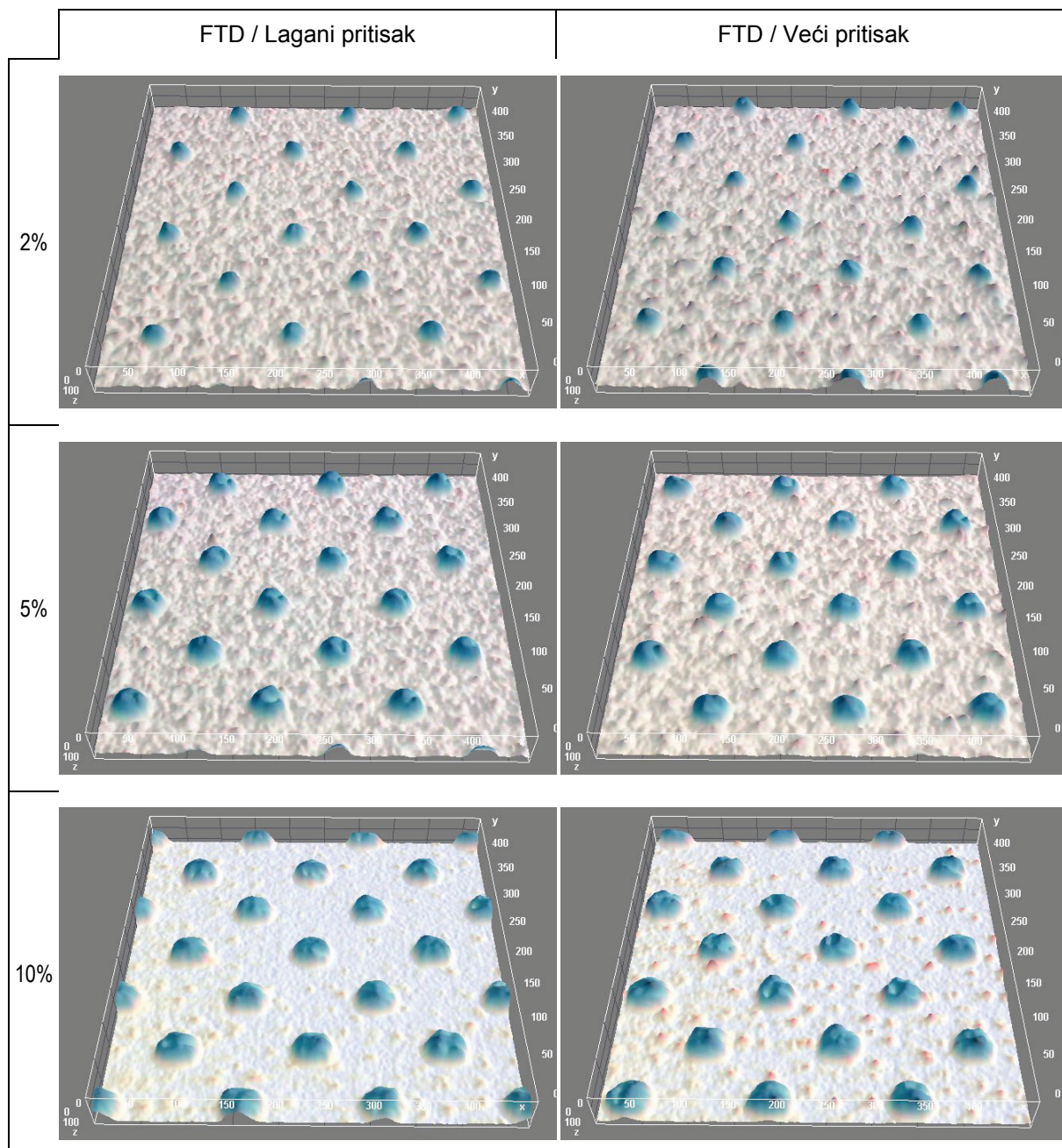
Mikroskopske slike rasterskih elemenata koji se koristile za analizu kod FTD sustava, zajedno sa vrijednostima kvalitativnih parametara, prikazani su na slici 3.35. Značajna razlika u reprodukciji rasterskog elementa na ploči u odnosu na RTD sustav je u okruglosti. Naime, rasterski elementi na ploči kod FTD sustava nisu okrugli već poprimaju oblik rasterskog elementa sa 1-bitnog dokumenta što znači da je reprodukcija približno 1:1. Rasterske elemente kod FTD sustava karakteriziraju jasniji i oštrij rubovi u odnosu na RTD sustav.

Formiranje rasterskog elementa na tiskovnoj podlozi najbolje je vidljivo iz topografskih prikaza (engl. Surface Plot) izrađenih na temelju mikroskopskih slika, a pomoću alata „Interactive 3D Surface Plot“ iz ImageJ softvera za slikovnu analizu [92].



*Slika 3.36 Topografski prikaz gustoće obojenja kod RTD sustava*

Formiranje rasterskog elementa je pojam koji opisuje kvalitetu reprodukcije u smislu oštine rasterskog elementa, mekoće njegovih rubova i uniformiranosti gustoće obojenja uzduž njegove površine, uzrokovano različitim karakteristikama cjelokupnog procesa reprodukcije [93]. Projekcija gustoće obojenja, pomoću proporcionalne visine elementa, u 3D prikazu jasno pokazuje razinu jednakmjernosti rasterskog elementa po cijeloj površini. Slike prikazuju apsolutnu gustoću obojenja koja je direktno povezana sa debljinom filma bojila i karakteristikama tiskovne podloge.



*Slika 3.37 Topografski prikaz gustoće obojenja kod FTD sustava*

Analiza formiranja rasterskog elementa vrši se vizualnom procjenom na temelju topografskih prikaza gustoće obojenja kod laganog i većeg pritiska u tisku.

Rasterski elementi kod RTD sustava (slika 3.36) su manje kompaktni pogotovo kod većeg pritiska u tisku. Iz toga proizlazi da se kod manje gustoće obojenja ( $D=1,2$ ), uzrokovane slabijim pritiskom u tisku, postiže homogeniji rasterski element. Nehomogenost rasterskog elementa više je izražena kod veće pokrivenosti površine što znači da gustoća obojenja nije jednaka u svakom dijelu njegove površine.

Generalno gledajući gustoća obojenja opada od središta rasterskog elementa prema rubu. Kod RTD sustava na rubovima rasterskih elemenata se pojavljuje „aureola“. To je područje oko rasterskog elementa koje je znatno veće gustoće obojenja nego u centru što se vidi po visini vrhova aureole. To je posebno izraženo kod veće pokrivenosti površine gdje je bojilo uslijed pritiska istisnuto prema van što je vidljivo na slici 3.36. Rasterski elementi pokrivenosti površine do 5% RTV nešto su niži od rasterskih elemenata veće pokrivenosti površine, zbog samog procesa izrade polimernih ploča pa je pritisak na njih manji i bojilo se manje istiskuje prema van. Međutim, kod većeg pritiska već i na 5% RTV je vidljiva neravnomjernost obojenja.

Kako se sa slike 3.37 za FTD sustav može vidjeti, rasterski elementi imaju jasnije formiran oblik te je obojenje na površini tiskovne podloge više ujednačeno. Iz topografskih prikaza rasterskih elemenata vidljivo je ravnomjerno smanjenje gustoće obojenja od centra prema rubovima te se može reći da je rasterski element pravilno formiran. Čak ni kod većeg pritiska nema jasno vidljivih „aureola“ oko rasterskog elementa. Kod većeg pritiska uočava se nekoliko karakterističnih vrhova što znači da je na tim mjestima gustoća obojenja veća. Važno je napomenuti da nema značajnije razlike u homogenosti rasterskih elemenata sa ravnim vrhom, unatoč povećanju pritiska u tisku.

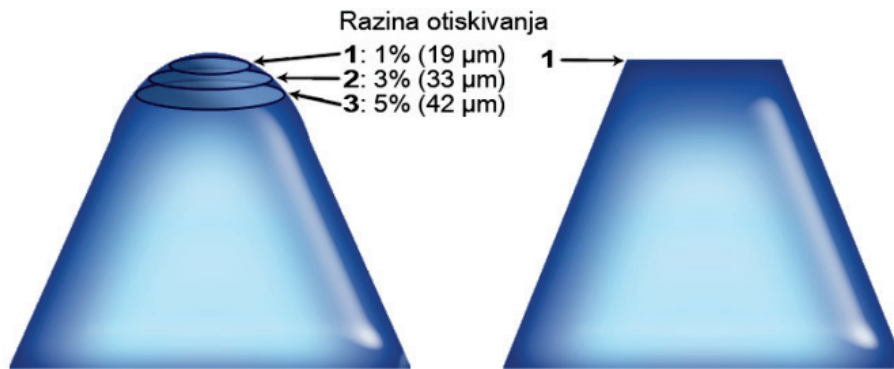
Kod oba sustava, prvenstveno kod većeg pritiska i veće pokrivenosti površine, vidljivi je karakteristični pomak područja sa manjom gustoćom obojenja prema rubu rasterskog elementa što je rezultat deformacije rasterskog elementa sukladno smjeru kretanja trake materijala za vrijeme tiska. Ovaj efekt je puno jače izražen kod RTD sustava.

Manji vrhovi koji se rasprostiru oko rasterskih elemenata karakteristični su za tisak bijele boje koja u potpunosti ne prekriva tiskovnu podlogu. Naime, uslijed nepotpune prekrivenosti površine tiskovne podloge, na otisku se javljaju praznine. Pretpostavlja se da su te praznine zaslužne za djelomično povećanje gustoće obojenja što je na topografskom prikazu vidljivo kao pojedinačni uzdignuti vrhovi.

### **3.6.9 Završna diskusija**

Rasterski element sa ravnim vrhom, odnosno ravnom tiskovnom površinom pojedinačnog elementa na ploči, ima dobro definirani rub koji egzaktno određuje njegovu površinu. Prema tome prilikom tiska postoji samo jedna razina otiskivanja kao što je prikazano na slici 3.38. Stoga se veličina rasterskog elementa vrlo lagano može izmjeriti i biti predvidljiva već u fazi

pripreme. Kod rasterskog elementa sa zaobljenim vrhom u obliku metka, rub rasterskog elementa se ne može egzaktno odrediti te se ne može pouzdano izmjeriti njegova veličina, pogotovo u svijetlim tonovima. Pošto površina tiskovnog elementa nije egzaktno definirana ne može se očekivati da se bojilo ravnomjerno rasprostire po površini. Bojilo ima tendenciju da se nakuplja na rubovima rasterskog elementa. Nadalje, prilikom tiska postoji nekoliko razina otiskivanja, ovisno o jačini pritiska na rasterski element koji onda rezultira većim ili manjim promjerom u tisku kao što je prikazano na slici 3.35. Prema tome, interakcija između vrha i bočnih strana je više izražena kod rasterskih elementa sa zaobljenim vrhom.



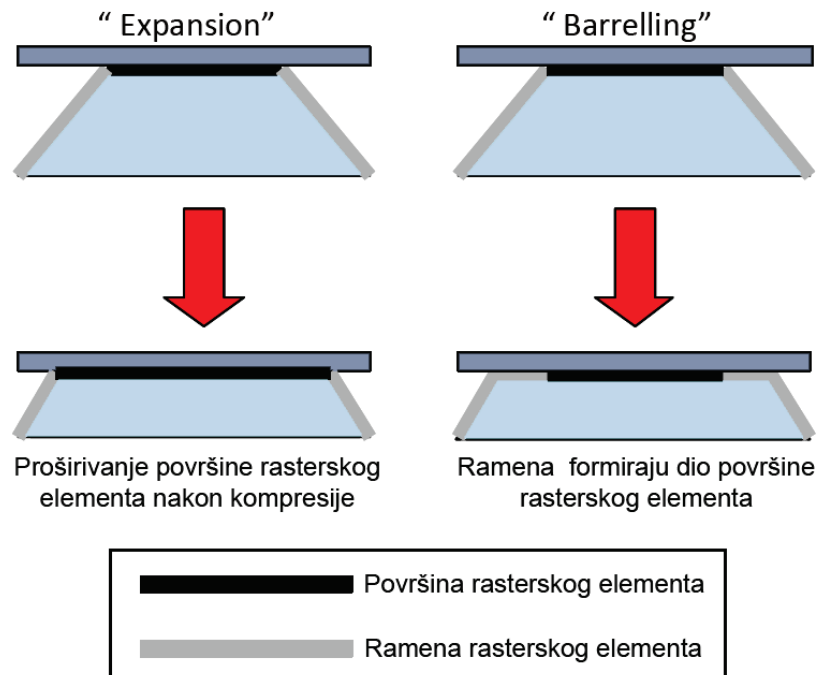
**Slika 3.38** Razine otiskivanja kod ravnog i zaobljenog vrha sa prikazom veličine promjera rasterskog elementa kod linijature od 150 lpi

Pošto je kod ravnog vrha rasterskog elementa na ploči bolje definirana tiskovna površina, bolje je obojenje tiskovnih elemenata i bojilo je ravnomjernije nanoseno iako ima tendenciju nakupljanja na rubovima. Kod elemenata sa zaobljenim vrhom veća je interakcija između vrha i ramena što dodatno doprinosi povećanju prirasta u tisku. Napredni digitalni sustavi izrade ploče, sa ravnim vrhom rasterskog elementa, proizvode visokokvalitetne otiske nadilazeći mnoga ograničenja analognih i standardnih digitalnih tehnologija. Zaobljeni rasterski elementi (u obliku metka) rezultiraju većim prirastom RTV uslijed povećanja pritiska dok su rasterski elementi sa ravnim vrhom manje osjetljiviji na promjene pritiska u tisku. Stoga, prilikom tiska sa pločom sa zaobljenim vrhom rasterskog elementa treba izbjegavati veći pritisak u tisku jer može donijeti samo negativne posljedice.

Dva su razloga prirasta RTV uzrokovana pritiskom u tisku: širenje bojila nakon što je bilo stiješnjeno i mehanička deformacija rasterskog elementa na polimernoj ploči za vrijeme tiska. Uslijed povećanja pritiska bojilo se istiskuje prema rubu rasterskog elementa, a debljina filma bojila se smanjuje. Međutim, ovo smanjenje debljine filma naknadno rezultira povećanjem tonskih vrijednosti nakupljanjem bojila uz rubove rasterskog elementa. Mehanička



deformacija rasterskog elementa na polimernoj ploči može se podijeliti na dva mehanizma: širenje površine rasterskog elementa (engl. expanding) i podizanje bočnih ramena rasterskog elementa u visinu tiskovnih elemenata (engl. barrelling) kao što je prikazano na slici 3.39. Pojava pojedine vrste deformacije ovisi o korištenoj konfiguraciji, svojstvima materijala i primijenjenoj sili.



**Slika 3.39** Dva mehanizma deformacije rasterskog elementa [15]

Prilikom primjene pritiska u tisku, na rasterski element sa ravnim vrhom, sila koja djeluje na površinu ravnomjerno se raspoređi po cijeloj površini pa uslijed kompresije može doći do proširivanja površine što je uzrok prirasta RTV. Značajno veći utjecaj na prirast RTV kod rasterskog elementa sa zaobljenim vrhom ima „barrelling“ mehanizam gdje deformacija rasterskog elementa, s obzirom na pritisak u tisku, dovodi do toga da bočna ramena postaju dijelovi tiskovnih površina. Pritisak koji djeluje na rasterski element sa zaobljenim vrhom stvara najveću silu upravo na centar, a sila se dalje prenosi na rubove rasterskog elementa.

Veći pritisak u tisku uzrokuje veći prirast RTV, međutim, pozitivno djeluje na gustoću obojenja punih tonova tako da otisnuta slika ima bolji kontrast i sjajnije boje dok manji pritisak na ploču daje ploči duži vijek trajanja.

## 4. ZAKLJUČCI

Cilj istraživačkih aktivnosti u okviru predložene teme ovog doktorskog rada bio je proučiti kako različiti procesi izrade polimerne ploče utječu na geometriju rasterskog elementa, individualno i kroz interakciju sa najvažnijim varijabilnim parametrima fleksotiska.

Eksperimentalni dio doktorskog rada podijeljen je u dva dijela. U prvom dijelu definirani su ključni parametri izrade polimerne ploče i procesa tiska kako bi se cijeli eksperiment izvodio u strogo kontroliranim uvjetima što mu osigurava da bude dosljedan i ponovljiv. U drugom dijelu ispitan je utjecaj triju specifičnih varijabli (oblik vrha rasterskog elementa na ploči, linijatura rastera i pritisak u tisku) na reprodukciju tonova s ciljem optimizacije procesa proizvodnje i poboljšanja kvalitete tiska.

Za izradu kvalitetne reprodukcije u procesu tiska neophodno je odrediti optimalan odnos rasterskog elementa i čašice aniloks valjka. Stoga je kreirana jednadžba za izračun promjera rasterskog elementa okruglog oblika kod amplitudno moduliranog rastera. Na temelju promjera minimalnog rasterskog elementa i otvora čašice aniloks valjka definiran je optimalan odnos. Zaključeno je da za reprodukciju raspona tonova koji počinje sa 1% RTV minimalni odnos linijature rastera i linijature aniloks valjka bude 1:8, za 2% RTV taj odnos značajno opada i iznosi 1:6 dok za 3% RTV taj odnos iznosi 1:5. Takav zaključak implicira preporuku da se kod visokih linijatura rastera, preko 175 lpi, za minimalnu veličinu rasterskog elementa odredi 2% RTV, inače će reprodukcija tonova ispod te vrijednosti biti loše kvalitete, a otisak izgledati prljavo. Također se preporuča postavljanje minimalne rastertonske vrijednosti, primjenom „bump-up“ krivulje, koja povećava niže vrijednosti na minimalnu vrijednost kako ne bi došlo do gubitka tonova i efekta odrezanih tonova.

Kvantitativna analiza pokrivenosti površine i promjera rasterskog elementa na obje polimerne ploče ukazala je na zaključak da reprodukcija, primjenom standardnog digitalnog LAMS sustava izrade ploče, stvara značajno manje rastertonske vrijednosti od nominalnih vrijednosti, a sam vrh, odnosno površina rasterskog elementa je zaobljena. Zbog toga je prilikom osvjetljavanja obavezna primjena kompenzacijske krivulje za korekciju tonskih vrijednosti. Reprodukcija tonova primjenom naprednog digitalnog sustava pokazuje približno identične rastertonske vrijednosti sa nominalnim (reprodukcija je u gotovo idealnom odnosu 1:1). Površina ili vrh rasterskog elementa na ploči kod naprednog sustava je ravna.

Na temelju analize minimalne veličine rasterskog elementa zaključeno je da se, kod istih uvjeta reprodukcije, njezina veličina povećava sa povećanjem linijature rastera. Najmanji stabilni rasterski element na ploči kod naprednog sustava ima promjer  $19\mu\text{m}$ , a kod standardnog sustava  $40\text{--}50\mu\text{m}$ . Stoga se kod standardnog sustava koristi „bump–up“ krivulja za postavljanje minimalne veličine rasterskog elementa kako bi se kompenzirao gubitak svijetlih tonova. Kod linijature od 150 lpi minimalna rastertonska vrijednost iznosi 7% i time se raspon tonova komprimira na 7–92% te se ujedno smanjuje kontrast. Napredni sustav reproducira cjelokupni raspon tonova na ploči, odnosno sve razine sive. Kada se jednom definira promjer najmanjeg stabilnog rasterskog elementa u  $\mu\text{m}$ , za određene uvjete izrade ploče, ta veličina se može koristiti kao minimalna i za ostale linijature rastera s time da se sukladno linijaturi mijenja postotak rastertonske vrijednosti.

Pokrivenost površine kao individualni parametar nema nikakvog utjecaja na prirast RTV, ali ima kroz interakciju sa linijaturom rastera i pritiskom u tisku za vrijeme procesa reprodukcije. Kvantitativna analiza utjecaja linijature rastera, kao druge promatrane varijable, na prirast RTV dovodi do zaključka da je sa povećanjem linijature veći prirast RTV. Razlog je taj što je i broj rasterskih elemenata veći što u konačnici daje veći ukupni opseg koji je u funkciji prirasta RTV. Također je zaključeno da veća linijatura daje bolju kvalitetu tiska zbog veće finoće samog rastera, odnosno rasterski elementi su presitni da bi bili uočljivi, ali kvaliteta može biti izgubljena zbog većeg prirasta RTV. Stoga se preporuča da se posebna pozornost obrati na pravilnu primjenu kompenzacijskih krivulja.

Pritisak između tiskarske ploče i tiskovne podloge, kao treća promatrana varijabla, ima značajan utjecaj na mehaničku deformaciju rasterskog elementa na ploči. Na temelju kvalitativne analize topografskih snimaka zaključeno je da zaobljeni vrh rasterskog elementa pokazuje veliku osjetljivost na promjene pritiska u tisku što dovodi do nedosljednog otiska, dok ravni vrh rasterskog elementa daje dosljedniji otisak u skladu s povećanjem pritiska. Međutim, krivulje prirasta RTV posve neočekivano pokazuju da je prirast RTV, kod većeg pritiska za RTD sustav, najbliži vrijednostima ciljane krivulji u srednjim i tamnim tonovima dok je u najsvjetlijim tonovima prekomjerno odstupanje. Pošto su, prilikom izrade tiskarskih ploča kod RTD sustava, primijenjene „bump–up“ krivulje te stoga što u procesu tiska dolazi do prirasta RTV, ovakva reprodukcija u svijetlim tonovima bila je očekivana, ali ne u toj mjeri. Naravno, treba imati na umu negativan utjecaj većeg pritiska u tisku. Stoga je zaključeno da je za kvalitetnu reprodukciju sa RTD sustavom ključan lagani pritisak kako bi se nekontrolirano povećanje rastertonskih vrijednosti u području svijetlih tonova do 3% RTV

izbjeglo. To potvrđuje činjenica da povećanje prirasta RTV s obzirom na lagani pritisak kod RTD sustava iznosi 12% RTV, a kod FTD sustava samo 4% RTV. Iz prethodnog proizlazi jedna praktična prednost FTD sustava, a to je gotovo trenutno podešavanje ploče za početak tiska budući da pritisak ima puno manji utjecaj na prirast RTV.

Prirast rastertonskih vrijednosti u fleksotisku na prvom mjestu zavisi od interakcije triju elemenata: bojila, tiskarske ploče i tiskovne podloge. Stoga, vrijednosti koje su definirane u standardu ISO 12647-6 treba uzeti kao polaznu referencu gdje se za pojedine uvjete proizvodnog procesa treba izvršiti karakterizacija cjelokupnog sustava.

Pritisak u tisku ima značajan utjecaj na prelijevanje bojila. Na temelju topografskih prikaza gustoće obojenja zaključeno je da je to širenje bojila na tiskovnoj podlozi, uslijed pritiska, značajno veće kod zaobljenog vrha. Utvrđeno je da se djelovanjem pritiska na rasterski element u obliku metka bojilo lakše istiskuje prema rubnim dijelovima te stvara obrub ili „aureolu“ koja je veće gustoće obojenja. Također je utvrđeno da rasterski element sa ravnim vrhom ima bolje definirani rub, a time i bolje definiranu tiskovnu površinu. To dovodi do zaključka da se FTD sustav može koristiti kod tiskovnih procesa koji zahtijevaju veće pritiske u tisku, bez značajnih negativnih posljedica na kvalitetu reprodukcije. Kod okruglog vrha rasterskog elementa nemoguće je pouzdano utvrditi nivo otiskivanja pa je iz tog razloga interakcija između gornje tiskovne površine i ramena rasterskog elementa vrlo velika.

Usporedna analiza vrijednosti tiskovnog kontrasta dovodi do zaključka da veći pritisak u tisku i veća linijatura rastera rezultiraju manjim tiskovnim kontrastom. Također je utvrđeno da se tiskovni kontrast značajno smanjuje povećanjem pritiska u tisku: kod RTD sustava iznosi oko 10%, a kod FTD sustava iznosi oko 3%. Utvrđeno je i da su rasterski elementi manji i slabije definirani kod većih linijatura rastera, a to se može povezati sa činjenicom da tiskovni proces kod većih linijatura mora reproducirati manje rasterske elemente za postizanje istog tiskovnog kontrasta.

Analiza okruglosti rasterskih elemenata, kroz tri faze proizvodnje, dovela je do zaključka da su razlike u okruglosti premale da bi mogle značajno utjecati na kvalitetu reprodukcije. To potkrjepljuje činjenica da relativno manja okruglost na ploči, kod RTD sustava, ne rezultira negativnim karakteristikama reprodukcije. Razlike u okruglosti imale bi puno značajniju ulogu primjenom bojila veće viskoznosti i neupojnih tiskovnih podloga.

Daljnja analiza topografskih prikaza, vezana uz formiranje rasterskog elementa, ukazuje na zaključak da su rasterski elementi na otisku kod RTD sustava manje kompaktni, pogotovo

kod većeg pritiska u tisku. Homogenost im je znatno manja od FTD sustava što se vidi po distribuciji gustoće obojenja pojedinačnog rasterskog elementa te pojave “aureole“ oko njegovog ruba.

Na temelju kvantitativne analize reprodukcije bijele boje zaključeno je da sa tradicionalnim načinom tiska nije moguće postići ciljane vrijednosti prema standardu ISO 12647–6 te se preporuča primjena naprednih tehnologija rastriranja u svrhu ravnomjernijeg i većeg prijenosa bojila. Ovo odstupanje opaciteta predotisnute pokrivne bijele boje značajno utječe na reprodukciju procesnih boja što se vidi po odstupanju kolorimetrijskih vrijednosti cijana.

Evaluacija kvalitativnih parametara reprodukcije, pod utjecajem triju promatranih varijabli, iznjedrila je važne pokazatelje koji mogu značajno unaprijediti proizvodni proces i rezultirati povećanjem kvalitete. Na temelju vrijednosti kvalitativnih parametara omogućena je egzaktna kontrola samog procesa reprodukcije u grafičkom radnom tijeku s ciljem postizanja optimizacije i ponovljivosti procesa. Definiranjem ponovljivih i točnih parametara unutar procesa postiže se konstantnost u kvaliteti reprodukcije što predstavlja prvi korak prema standardizaciji. Na temelju dobivenih rezultata istraživanja iz drugog dijela eksperimenta, doneseni su značajni zaključci povezani sa kvalitativnim parametrima reprodukcije, a neki rezultati su dijelom već publicirani kako slijedi:

Valdec, D.; Bates, I.; Golubović, K., Determination of the minimum dot and anilox line screen used for flexography. // 14. International conference on printing, design and graphic communications Blaž Baromić, Senj, 2010., (članak, znanstveni) i

Valdec, D.; Zjakić, I.; Milković, M., The influence of variable parameters of flexographic printing on dot geometry of pre-printed printing substrate. // Tehnički vjesnik, 20 (2013), 4; 659-667, (članak, znanstveni).

Pretpostavljene hipoteze istraživanja su dokazane kroz empirijski dio istraživanja te je ostvaren znanstveni doprinos na temelju potpune komparativne analize rasterske reprodukcije, nastale primjenom različitih oblika vrha rasterskih elemenata na fotopolimernim pločama, u svrhu optimizacije proizvodnog procesa i ukupnog povećanja kvalitete konačnog grafičkog proizvoda. Znanstveni doprinos ovog rada također je temeljen na definiranju kvalitativnih parametara reprodukcije, na predotisnutoj tiskovnoj podlozi, odnosno na aluminijskoj foliji koji se mogu dosljedno i ponovljivo primijeniti u fleksotisku. Na temelju dobivenih znanstvenih spoznaja definirane su smjernice i preporuke potrebne za jednostavnije i lakše korištenje istraživanih tehnologija u proizvodnji.

Definirani ciljevi i zadaci istraživanja su ostvareni te se ovim istraživanjem dolazi do znanstvenih spoznaja o kvalitativnim parametrima koji su glavni čimbenik u ostvarivanju kvalitetne reprodukcije.

Sagledavajući cjelokupni istraživački rad, u sklopu ovog doktorskog rada, postoje jasna saznanja o potrebi daljnjih istraživačkih aktivnosti kojima bi se dodatno elaborirao utjecaj promjenjivih parametara fleksotiska unutar procesa grafičke reprodukcije.

Među smjericama budućih istraživanja treba izdvojiti determinaciju utjecaja naprednih tehnologija i pigmentacije bojila na opacitet pokrivne bijele boje te utjecaj pokrivne bijele boje na kolorimetrijska svojstva procesnih boja. Također potpuna karakterizacija deformacije rasterskog elementa na polimernoj ploči zahtijeva daljnja istraživanja. Istraživanja se mogu povezati sa oblikom vrha rasterskog elementa te tiskovnim podlogama koje su osjetljive na pritisak, poput valovitog kartona radi smanjenja „fluting“ efekta.

## **Kratice**

FTD – zaobljeni vrh rasterskog elementa na ploči (engl. Flat Top Dots)

RTD – ravni vrh rasterskog elementa na ploči (engl. Round Top Dots)

KP – lagani pritisak u tisku (engl. Kiss, Light Pressure)

HP – veći pritisak u tisku (engl. Higher Pressure)

CtF – postupak iscrtavanja slike na grafičkom filmu (engl. Computer to Film)

CtP – postupak iscrtavanja slike direktno na ploči (engl. Computer to Plate)

LAMS – izrada maske na ploči laserskom ablacijom (engl. Laser Ablative Mask System)

UV – ultraljubičasto zračenje (engl. ultraviolet)

RTV – rastertonska vrijednost (engl. tonal value)

AM – amplitudno modulirani raster (engl. Amplitude Modulated Screening)

FM – frekventno modulirani raster (engl. Frequency Modulated Screening)

XM – križno modulirano rastriranje (engl. Cross Modulated Screening)

HD – tehnologija rastera visoke razlučivosti (engl. High Definition Flexo)

## 5. LITERATURA

- [1] White A., High Quality Flexography, Second Edition., Leatherhead: Pira International, 1998.
- [2] Girard Leloup L., »Measurement and Prediction Procedures for Printability in Flexography (MP3 Flexo) Doctoral Dissertation«, Royal Institute of Technology, Department of Numerical Analysis and Computer Science, Media Technology and Graphic Arts, Stockholm, 2002.
- [3] Bin D., »Dot Gain in the Digital Flexographic Process by Varying Screening Techniques and Pressures«, Institute of Printing and Packaging Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an, China, 2009.
- [4] Dedijer S., »Razvoj modela procesne analize parametara izrade flekso štamparske forme - doktorska disertacija«, Univerzite u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Grafičko inženjerstvo i dizajn, Novi Sad, 2012.
- [5] Miller S.; Zmetana S., »Advanced prepress technologies for flexographic printing«, Creo Inc., Burnaby, 2005.
- [6] Flexographic Technical Association (FTA), Flexography: Principles & Practices, New York: Foundation of Flexographic Technical Association, Inc., 1999.
- [7] Harris D., »HD Flexo: Quality on Qualified Plates«, EskoArtwork, Gent, 2009.
- [8] ISO 2012, »International standard ISO 12647-6 , Graphic technology — Process control for the production of half-tone colour separations, proofs and production prints — Part 6: Flexographic printing«, ISO, Geneva, 2012.
- [9] Rong X.; Keif M., »A Study of PLA Printability with Flexography«, *TAGA Proceedings*, Rochester, 2007.
- [10] Kičinbaći J; Mrvac N.; Bertić I., »Trendovi razvoja fleksografskog tiska«, *Tehnički glasnik*, svez. 1, br. 1-2, pp. 48-50, 2007.
- [11] Kipphan H., Handbook of Print Media: Technologies and Production Methods, New



York: Springer, 2001.

- [12] James A., »Correlating anilox-roll specifications to flexographic print targets and tolerances«, *Converting Quarterly*, svez. 2, br. 3, pp. 52-57, 2011.
- [13] Zelmer H., »Flexography«, Hohshule fur Technik, Wirtschaft und Cultur, Leipzig, 2006.
- [14] Page Crouch J., »Flexography primer«, GAFT Press, Pittsburgh, 1998.
- [15] Bould D. C.; Claypole T. C.; Bohan M. F. J., »An experimental investigation into flexographic printing plates«, *Journal of Graphic Technology*, svez. 3, br. 1, pp. 1-8, 2004.
- [16] Teachout P., »Standardizing Variation«, *Label and Labeling*, svez. 33, br. 2, pp. 70-72, 2011.
- [17] Teachout P., »Process Standardization«, *Flexo*, pp. 28-32, ožujak 2009.
- [18] Patel S., Determining the Effect of Printing Ink Sequence for Process Colors on Color Gamut and Print Quality in Flexography, Rochester, New York: School of Print Media, Rochester Institute of Technology, 2009.
- [19] DFTA, »Flexo Printing Technology, 4th new and revised edition«, COATING Fachbucher u kooperaciji sa Meyer, K., St Gallen, 2000.
- [20] Liu X., Guthrie J. T., »A review of flexographic printing plate development«, *Surface Coatings International Part B: Coatings Transactions*, svez. 86, br. B2, pp. 91-168, 2003.
- [21] Gooran S., »Hybrid halftoning, a useful method for flexography«, *Journal of imaging science and technology*, svez. 49, br. 1, pp. 85-95, 2005.
- [22] Streefland W., »The flexo paradox«, *Flexo Gravure Global*, svez. 18, br. 2, pp. 14-17, 2012.
- [23] Valdec D.; Vusić D.; Tomiša M., »Advanced prepress technologies for flexographic printing«, u *12. International conference on printing, design and graphic communications Blaž Baromić*, Split, 2008.

- [24] Esko, »Screening on the Esko-Graphics FlexRip«, Esko-Graphics, Gent, 2004.
- [25] Valdec D.; Vusić D.; Tomiša M., »XM screening technology«, *11. International conference on printing, design and graphic communications Blaž Baromić*, Zadar, 2007.
- [26] Hsieh Y.C.; Cheng H.W.; Cheng Y.H.; Chen, S.Y.; Ng, V.S., »Flexible hybrid Screening solution for flexography«, u *International conference on computer science and software engineering*, Washington, 2008.
- [27] Zecher, »Anilox basics«, <http://www.zecher.com/en/knowledge/basics/aniloxbasics.html>, (srpanj 2013.).
- [28] Lindström P., »Hybrid screens – the best of two worlds?«, Digital Dots Ltd, Spring Lane, 2006.
- [29] AG Heidelberger Druckmaschinen, »An introduction to screening technology«, Heidelberger Druckmaschinen AG, Heidelberg, 2007.
- [30] AgfaGevaert, »XM (Cross Modulated) Screening Technology: Increasing print quality in a computer-to-plate (Ctp) workflow«, Agfa Corporation, 2003.
- [31] Lindström P., »The best of two worlds: Part 2«, Digital Dot Ltd, Spring Lane, 2006.
- [32] ECRM, »DM Screening«, ECRM imaging systems, Tewksbury, 2013.
- [33] Deshpande S. D.; Deshpande S. M., »Analysis of expore parameter of flexography sheet photopolymer plates«, *International Journal of Advanced in Engineering & Technology*, svez. 5, br. 2, pp. 231-237, 2013.
- [34] Laurila A., »Thin plate technology becomes prevalent in flexographic printing«, *Pakkaus*, svez. 21, br. 3, pp. 24-25, 1997.
- [35] Vanover M., »Flexo platesetting: past, present and future, Flexible Packaging«, 2005. [http://www.flexpackmag.com/Archives\\_Davinci?article=225](http://www.flexpackmag.com/Archives_Davinci?article=225). (svibanj 2013.)
- [36] Koleske J. V., Free Radical radiation Curing, Blue Bell: Federation of Societies on Coatings Technology, 1997.
- [37] Hamilton A., »Prepress primer«, *Converting Magazine*, 9 2005.

- [38] Polischuk T., »Flexo CTP«, *Package Printing*, svez. 51, br. 3, p. 24, 2004.
- [39] Guidoni G., »Digital dawn: digital flexography touted as the next great leap forward for label converters«, *Canadian Packaging*, svez. 55, br. 6, p. 44, 2002.
- [40] Schueneman N., »Highlight Dot Shoulder Angle Using Bank Source Exposure & Exposure in Digital Platemaking for Flexography«, Cal Poly, San Luis, 2009.
- [41] Kodak, »Hot new digital flexo technology«, Eastman Kodak Company, Rochester, 2008.
- [42] Gallus, »HD screens from EskoArtwork and Kodak Flexcel NX«, 24 prosinac 2010. [http://www.gallus-group.com/it/desktopdefault.aspx/tabid-327/488\\_read-1023/](http://www.gallus-group.com/it/desktopdefault.aspx/tabid-327/488_read-1023/). (srpanj 2013.)
- [43] Hershey J., »Dots Do It Right, Package printing«, 2010. [http://printing.macdermid.com/pdf/Dots\\_Do\\_It\\_Right\\_Nov2010\\_PackagePrinting.pdf](http://printing.macdermid.com/pdf/Dots_Do_It_Right_Nov2010_PackagePrinting.pdf). (svibanj 2013.)
- [44] Emmerling R., »New Innovations in Plates and Sleeves«, Flint Group, Luksemburg, 2011.
- [45] Frenkel M., »Inkjet technology revolutionises flexo Ctp«, *Flexo & Gravure Global*, svez. 18, br. 3, pp. 16-17, 2012.
- [46] Esko, »Digital Inline UV: Main expose for CDIs«, Esko-Graphics, Gent, 2013.
- [47] d'Andrea S., »Kodak Flexcel NX Digital Flexographic System«, Eastman Kodak Company, Rochester, 2009.
- [48] Keif M., »Computer to Plate – Digital Plates. Presentation notes. «, California Polytechnic State University, 2006.
- [49] Galton D., »A study of the effects of the process parameters on the flexographic printing problem "dot bridging" - Part II: experimental design and print contrast/density«, *Pigment & Resin Technology*, svez. 34, br. 2, pp. 94-100, 2005.
- [50] Warfford M. J., »Shoulder Angle Determination with Flexographic Photopolymer Plate Material«, u *TAGA Proceedings*, Rochester, 1997.

- [51] Stebani U., »New UV expose technology for photopolymer plates«, *Flexo & Gravure Global*, svez. 18, br. 3, pp. 14-15, 2012.
- [52] Anderson J.; Schlotthauer E., »Kodak's Flat Top Dots: The effect of flexo dot shape on plate stress and wear«, Eastman Kodak Company, Rochester, New York, 2010.
- [53] Anon, »New special adhesive tape for multilayer plates«, *Flexo Gravure Int.*, svez. 2, br. 3, pp. 62-63, 1996.
- [54] 3M, »Selection Guide: Balancing solids and dots for customer satisfaction«, Anderson & Vreeland, Inc. Corporate Headquarters, Bryan, 2012.
- [55] Huey M., »Anilox Rolls: "The Aorta of the Printing Process"«, *Flexo Global*, svez. 1, br. 4, pp. 32-35, 2008.
- [56] HARPER, »Anilox & Coating Division«, <http://www.harperimage.com/AniloxRolls/>. (svibanj 2013.)
- [57] Harper C., »Do you know what ink film thickness is transferred?«, *Flexo and Gravure Asia*, svez. 4, br. 1, pp. 14-15, 2005.
- [58] Harper C., »Anilox Volumes: Should it be ... Ink Film Thickness Transferred«, *Flexo Plus Magazine - Russia*, pp. 1-4, 2004.
- [59] Capatch, »Available strips«, [http://www.capatch.com/en/en\\_02.htm](http://www.capatch.com/en/en_02.htm). (srpanj 2013.)
- [60] Rogers A., »Choosing the right anilox-roll engraving for the application«, *Converting Quarterly*, svez. 2, br. 4, pp. 37-41, 2011.
- [61] Gallus, »Key factors influencing flexographic printing«, [http://www.gallus-group.com/desktopdefault.aspx/tabid-367/533\\_read-1509/](http://www.gallus-group.com/desktopdefault.aspx/tabid-367/533_read-1509/). (srpanj 2013.)
- [62] Galton D., »A study of the effects of the process parameters on the flexographic printing problem "dot bridging" - Part I: experimental design and linear run length«, *Pigment & Resin Technology*, svez. 33, br. 5, pp. 293-301, 2004.
- [63] Harper C., »How much really transfers?«, *Flexo & Gravure Asia*, svez. 5, br. 1, pp. 18-20, 2006.

- [64] Donato T., »Specifying an Anilox Roller«, *Corrugated Today*, svez. 3, br. 4, pp. 76-81, 2008.
- [65] Lanska D.; Cellramic S., »Stork Sheds Light on UV Inks«, *Converting Magazine*, svez. 15, br. 6, 1997.
- [66] Miller C. W., »Perspectives in chemistry: Searching for the cure«, *RadTech Report*, br. 4, p. 52–58, 2005.
- [67] Rames-Langlade G., »Gas Sealed UV Dryer for Optimizing UV Applications«, *RadTech Europe: Conference & Exhibition*, Barcelona, 2005.
- [68] Schilstra D., »EB curing – a promising radiation technology«, *Flexo and Gravure Int'l*, svez. 13, br. 2, pp. 6-8, 2007.
- [69] Reisig S., »Today's solutions for tomorrow's demands«, *Flexo and Gravure Int'l*, svez. 16, br. 2, pp. 50-51, 2010.
- [70] James A., »Maximizing opacity in flexo whites«, *Labels & Labeling*, br. 1, pp. 78-79, 2011.
- [71] Harper, »Is white right?«, *Flexo & Gravure International*, br. 4, pp. 10-11, 2000.
- [72] Lajić B.; Babić, D.; Jurečić, D., »Probojna čvrstoća valovitog kartona u ovisnosti o vlazi«, u *Tiskarstvo 08*, Stubičke Toplice, 2008.
- [73] Ray A. J., »Is in-line corona treating necessary?«, *Flexo*, svez. 21, br. 10, pp. 56-58, 1996.
- [74] Javor H., »Sintetski materijali u tisku«, *Croprint*, svez. 2, br. 3, 2007.
- [75] Streefland W., »Minimum printed dot size as a print capability measurement«, *Pira Conference "Ink on Paper"*, Dublin, 2006.
- [76] Valdec D.; Bates I.; Golubović K., »Determination of the minimum dot and anilox screen used for flexography«, *14. International conference on printing, design and graphic communications Blaž Baromić*, Senj, 2010.
- [77] Harper C., »Aniloks line screen – stabilizer of the ink film«, *Flexo and Gravure Asia*,

svez. 4, br. 3, pp. 14-15, 2005.

- [78] Niggemeier G., »Around the Anilox Roller«, Zecher, Paderborn, 2002.
- [79] Flint Group, »Nyloflex® NExT Exposure F III, data sheet«, [http://www.flintgrp.com/en/documents/Printing-Plates/nyloflex/nyloflex\\_equipment\\_EN.pdf](http://www.flintgrp.com/en/documents/Printing-Plates/nyloflex/nyloflex_equipment_EN.pdf). (svibanj 2012.)
- [80] X-Rite, »PlateQuality Flexo«, X-Rite Inc., Regensburg, 2006.
- [81] Bohan M. F. J.; Townsend P.; Hamblyn S. M.; Claypole T. C.; T., Gethin D., »Evaluation of Pressures in Flexographic Printing pp. 311-320. «, *Proceedings of the TAGA 55th International Annual Technical Conference*, TAGA, 2003.
- [82] Fetsko J. M.; Walker W. C., »Measurements of Ink Transfer in Printing Coated Paper«, *Am. Ink Maker*, svez. XI, br. 33, pp. 38-44, 1955.
- [83] Bould D. C.; Claypole T. C.; Bohan M. F. J.; Gethin D. T., »Deformation of Flexographic Printing Plates«, u *56th TAGA Technical Conference*, TAGA, 2004.
- [84] Flexographic Technical Association (FTA), Flexographic Image Reproduction Specifications and Tolerances (FIRST) Book (3rd ed.), Ronkonkoma, New York: Foundation of Flexographic Technical Association, Inc., 2003.
- [85] Milković M.; Zjakić I., Vusić D., Kolorimetrija u multimedijским komunikacijama, Varaždin: Veleučilište u Varaždinu, 2010.
- [86] Valdec D., Sustavi vrednovanja boje, Varaždin: Veleučilište u Varaždinu, 2011.
- [87] Utter B., »Color & Quality«, Heidelberger Druckmaschinen AG, Heidelberg, 2012.
- [88] Gilbert E. D.; Lee F., »Flexographic Plate Technology: Conventional Solvent Plates versus Digital Solvent Plates«, *Journal of Industrial Technology*, svez. 24, br. 3, pp. 1-7, 2008.
- [89] Valdec D.; Zjakić I., Klopotan I., »Utjecaj linijature rastera na prirast rastertonskih vrijednosti u fleksotisku«, *Tehnički glasnik*, svez. IV, br. 1-2, pp. 48-51, 2010.
- [90] Jacobson J.; Keif M.; Rong X.; Singh J.; Vorst K., »Flexography Printing Performance of PLA Film«, *Journal of Applied Packaging Research*, svez. 3, br. 2, pp. 91-104, 2009.

- [91] Vlašić J.; Zjakić I.; Zlatić S., »DETERMINING OF SMALLEST USEFULL FONT SIZE IN PRODUCT LABELING«, *Tehnički glasnik*, svez. 7, br. 2, pp. 154-161, 2013.
- [92] Ferreira T.; Rasband W., »ImageJ User Guide«, National Institutes of Health, Washington, 2011.
- [93] Boonprasit W., A Study of Producing Smoother Gradients in the Flexographic Process on Oriented Polypropylene with UV Ink by Varying Screening Techniques, Gradient Lengths and the Surrounding - thesis, Rochester, New York: College of Imaging Arts and Sciences of the Rochester, Institute of Technology, 2006.

## POPIS SLIKA

Slika 2.1	Mjesta za podešavanje pritiska kod sustava za obojenje.....	8
Slika 2.2	Usporedba rastriranja sa razlučivosti od 2540 ppi i 4000 ppi .....	14
Slika 2.3	Ponašanje bojila na površini polimerne ploče sa teksturom i bez nje .....	16
Slika 2.4	Prikaz punog tona i rastera na 1-bitnom dokumentu sa primjenom „Microcell“ uzorka .....	17
Slika 2.5	Prikaz „DigiCap“ teksture na polimernoj ploči kod pokrivenosti površine od 70%, povećano 250 puta [5].....	17
Slika 2.6	Primjena „Groovy Screens“ tehnologije u tamnijim tonovima, prikaz rastriranog DGC dokumenta [24].....	18
Slika 2.7	Kodak HyperFlex rasterska tehnologija .....	18
Slika 2.8	Izgled malih rasterskih elemenata na polimernoj ploči sa i bez primjene „HyperFlex“ tehnologije .....	19
Slika 2.9	Metoda ispuštanja rasterskih elemenata sa pravokutne mreže [30] .....	24
Slika 2.10	Prijelazna točka od 21 mikron kod nekih linijatura XM rastera .....	25
Slika 2.11	Usporedba četiri osnovna načina rastriranja .....	28
Slika 2.12	Prikaz „efekta distorzije“ fotopolimerne ploče .....	29
Slika 2.13	Izgled kalkulatora za proračun faktora distorzije sa uvrštenim vrijednostima iz navedenog primjera .....	30
Slika 2.14	Struktura jednoslojne digitalne CtP flekso tiskarske ploče .....	31
Slika 2.15	Sastavni elementi obrađene polimerne ploče [6] .....	31
Slika 2.16	Utjecaj tvrdoće tiskarske ploče na mehaničku deformaciju rasterskog elementa prilikom djelovanja pritiska u tisku .....	33
Slika 2.17	Različiti tehnološki pristup rješavanju problema sa zaobljenim vrhom rasterskog elementa .....	36
Slika 2.18	Usporedba faza rada analognog i digitalnog procesa izrade fotopolimerne ploče .....	38
Slika 2.19	Kodak Flexcel NX tehnologija izrade polimerne ploče [42] .....	39
Slika 2.20	UV tehnologija osvjetljavanja polimernih ploča pomoću dva eksponiranja [44].	40
Slika 2.21	DigiFlex sustav za inkjet ispis na polimerne ploče [45] .....	41
Slika 2.22	UV LED diode za glavnu ekspoziciju unutar CtP uređaja [46] .....	42
Slika 2.23	Različiti pristupi svladavanja ograničenja u fleksotisku, za postizanje reprodukcije slične ofsetnom tisku [47] .....	43



Slika 2.24	Shematski prikaz geometrije ploče sa naznačenim kutom ramena (bočne strane) rasterskog elementa [49].....	44
Slika 2.25	Usporedba analogne i digitalnih tehnologija osvjetljavanja ploča sa vidljivim utjecajem na presjek ramena i promjer rasterskog elementa [44] .....	45
Slika 2.26	Utjecaj različitih tehnologija osvjetljavanja na geometriju rasterskog elementa [51] .....	46
Slika 2.27	Kompjuterska simulacija naprezanja tijekom tiska [52] .....	46
Slika 2.28	Odabir tvrdoće montažne trake za polimerne ploče s obzirom na karakteristike posla [54] .....	48
Slika 2.29	Utjecaj tvrdoće samoljepive montažne trake na mehaničku deformaciju rasterskog elementa prilikom djelovanja pritiska u tisku .....	49
Slika 2.30	Specifikacija čašice aniloks valjka .....	49
Slika 2.31	Linijaturu aniloks valjka određuje broj čašica po inču.....	50
Slika 2.32	Utjecaj linijature, a samim time i volumena aniloks valjka na gustoću obojenja punog tona .....	51
Slika 2.33	Utjecaj debljine filma bojila na prirast RTV .....	54
Slika 2.34	Optimalan odnos veličine otvora i dubine čašice.....	55
Slika 2.35	Različiti omjeri širine otvorenog dijela i dubine čašice aniloks valjka.....	56
Slika 2.36	Capatch mjerna traka za aniloks valjke velikog volumena [59] .....	57
Slika 2.37	Geometrija heksagon uzorka graviranja pod kutom od 60° je identična izgledu pčelinjih saća [61] .....	58
Slika 2.38	Heksagon uzorak graviranja pod kutom od 60° .....	58
Slika 2.39	Heksagon uzorak graviranja pod kutom od 30° .....	60
Slika 2.40	Kvadratni uzorak graviranja pod kutom od 45° .....	60
Slika 2.41	Graviranje s uzorkom trostruke uzvojnice pod kutom od 45°.....	61
Slika 2.42	Prijenos debljine filma bojila od aniloks valjka do tiskovne podloge.....	62
Slika 2.43	Prikaz fenomena razdvajanja ljepila između dva prsta može se povezati sa prijenosom bojila između dviju površina tijekom tiskovnog procesa [57] .....	63
Slika 2.44	Tipično razdvajanje bojila prilikom prijenosa između aniloks valjka i tiskarske ploče .....	64
Slika 2.45	Prijenos bojila kod prljavih čašica aniloks valjka .....	65
Slika 2.46	Kut oštrice odstranjivača bojila prema aniloks valjku kod dva različita sustava za obojenje.....	66
Slika 2.47	Sustav za obojenje s klasičnim rakelom.....	66

Slika 2.48	Sustav za obojenje s komornim rakelom.....	67
Slika 2.49	Općeniti prikaz procesa stvrdnjavanja energijom zračenja [66] .....	70
Slika 2.50	Fokusiranje energije svjetla kod stvrdnjavanja UV bojila .....	72
Slika 2.51	Shematski prikaz principa EB stvrdnjavanja [68].....	73
Slika 2.52	Utjecaj vrste polimera i ljepljive trake na pojavu praznina na otisku .....	76
Slika 2.53	Primjena prerađene aluminijske folije u nekim područjima .....	85
Slika 3.1	Okvir za istraživanje.....	86
Slika 3.2	Detaljna shema plana istraživanja .....	88
Slika 3.3	Tri specifične situacije odnosa između rasterskog elementa i linijature aniloks valjka .....	90
Slika 3.4	Odnos veličine rasterskog elementa i čašice aniloks valjka linijature 500 cpi (otvor čašice 46,8 $\mu\text{m}$ , zid čašice 4 $\mu\text{m}$ ) [77].....	90
Slika 3.5	Odnos veličine rasterskog elementa i čašice aniloks valjka linijature 1000 cpi (otvor čašice 23,0 $\mu\text{m}$ , zid čašice 2,4 $\mu\text{m}$ ) [77].....	91
Slika 3.6	Struktura rasterske rešetke kod amplitudno–moduliranog (AM) rastera .....	92
Slika 3.7	Situacija kod tiska svijetlih tonova kada je rasterski element manji od veličine čašice aniloks valjka .....	97
Slika 3.8	Neke od mogućih varijacija "bump-up" krivulje .....	100
Slika 3.9	Original i slika sa primjenom "bump-up" krivulje 3 .....	100
Slika 3.10	Promjena minimalne veličine rasterskog elementa utjecajem različite linijature rastera .....	101
Slika 3.11	Testna slika korištena u eksperimentu.....	103
Slika 3.12	Sustav za mjerenje ploča i otisaka: kamera visoke razlučivosti vipFLEX2 i softver PlateQuality Flexo.....	105
Slika 3.13	Shema tiskovnog eksperimenta .....	107
Slika 3.14	Minimalna veličina rasterskog elementa koja se reproducira na polimernoj ploči kod standardne i napredne digitalne tehnologije kod 150 lpi.....	113
Slika 3.15	Grafički prikaz krivulja reprodukcije polimernih ploča kod obje linijature rastera i oba procesa izrade ploče.....	114
Slika 3.16	Grafički prikaz krivulja reprodukcije polimernih ploča kod oba procesa izrade ploče, prikaz svijetlih tonova od 0 – 10% RTV .....	114
Slika 3.17	Prikaz krivulja reprodukcije tonova na polimernoj ploči kod RTD sustav i njihovih relevantnih krivulja kompenzacije .....	115

Slika 3.18	Grafički prikaz utjecaja linijature rastera na veličinu rasterskog elementa na polimernoj ploči (u $\mu\text{m}^2$ ) u rasponu od 0–40% RTV .....	116
Slika 3.19	Višestruka usporedba reprodukcije tonova pomoću Jonesovog dijagrama kod linijature 150 lpi za RTD sustav i oba pritiska u tisku .....	119
Slika 3.20	Višestruka usporedba reprodukcije tonova pomoću Jonesovog dijagrama kod linijature 150 lpi za FTD sustav i oba pritiska u tisku.....	120
Slika 3.21	Utjecaj linijature rastera i pritiska u tisku na gustoću obojenja cijana kod RTD sustava .....	122
Slika 3.22	Utjecaj linijature rastera i pritiska u tisku na gustoću obojenja cijana kod FTD sustava .....	122
Slika 3.23	Utjecaj jačine pritisaka u tisku i oblika vrha rasterskog elementa na ploči kod linijature 150 lpi na prirast RTV .....	126
Slika 3.24	Utjecaj jačine pritisaka u tisku i oblika vrha rasterskog elementa na ploči kod 133 lpi na prirast RTV .....	126
Slika 3.25	Utjecaj jačine pritisaka u tisku i oblika vrha rasterskog elementa kod 150 lpi na prirast RTV – prikaz svijetlih tonova .....	127
Slika 3.26	Utjecaj jačine pritisaka u tisku i oblika vrha rasterskog elementa na ploči kod 133 lpi na prirast RTV – prikaz svijetlih tonova .....	127
Slika 3.27	Promjena prirasta RTV primjenom većeg pritiska u odnosu na lagani pritisak u tisku .....	128
Slika 3.28	Promjena prirasta RTV primjenom većeg pritiska u odnosu na lagani pritisak u tisku - prikaz svijetlih tonova .....	129
Slika 3.29	Promjena promjera rasterskog elementa kroz tri faze proizvodnje kod linijature od 150 lpi za RTD sustav.....	130
Slika 3.30	Promjena promjera rasterskog elementa kroz tri faze proizvodnje kod linijature od 150 lpi za FTD sustav.....	130
Slika 3.31	Odnos okruglosti i različitih testnih oblika .....	131
Slika 3.32	Grafički prikaz rezultata statističke analize za okruglost rasterskog elementa pomoću box-plot dijagrama za RTD sustav .....	133
Slika 3.33	Grafički prikaz rezultata statističke analize za okruglost rasterskog elementa pomoću box-plot dijagrama za FTD sustav .....	133
Slika 3.34	Usporedba kvalitativnih parametara rasterskih elemenata kroz sve tri faze proizvodnje kod RTD sustava (povećanje 200x) .....	135

Slika 3.35	Usporedba kvalitativnih parametara rasterskih elemenata kroz sve tri faze proizvodnje kod FTD sustava (povećanje 200x).....	136
Slika 3.36	Topografski prikaz gustoće obojenja kod RTD sustava.....	137
Slika 3.37	Topografski prikaz gustoće obojenja kod FTD sustava .....	138
Slika 3.38	Razine otiskivanja kod ravnog i zaobljenog vrha sa prikazom veličine promjera rasterskog elementa kod linijature od 150 lpi .....	140
Slika 3.39	Dva mehanizma deformacije rasterskog elementa [15] .....	141

## POPIS TABLICA

Tablica 2.1	Neki parametri koji utječu na prijenos bojila u fleksotisku podijeljeni prema logičkim skupinama.....	8
Tablica 2.2	Broj nijansi sive na osnovu različitih kombinacija izlazne razlučivosti i linijature rastera .....	13
Tablica 2.3	Prednosti i nedostaci AM, FM i XM rasterskih tehnologija.....	26
Tablica 2.4	Grubi prikaz linijature i volumena aniloks valjka usklađen sa odgovarajućom primjenom u tisku [56] .....	50
Tablica 2.5	Stvarni prijenos debljine filma bojila u ovisnosti o volumenu [58] .....	53
Tablica 2.6	Tipični sastav tiskarskog bojila na bazi vode i otapala.....	70
Tablica 2.7	Tipični sastav UV tiskarskih bojila .....	71
Tablica 3.1	Teoretske vrijednosti promjera rasterskog elementa u mikronima za neke linijature rastera kod osvjetljavanja ploče sa razlučivosti od 2540 dpi .....	94
Tablica 3.2	Teoretske vrijednosti promjera rasterskog elementa u mikronima za neke linijature rastera kod osvjetljavanja ploče sa razlučivosti od 2400 dpi .....	94
Tablica 3.3	Najčešće korištene linijature aniloks valjka sa prikazom veličine zida i otvora čašice [78].....	95
Tablica 3.4	Minimalna linijatura aniloks valjka (cpi) prema linijaturi rastera na ploči (razlučivost 2540 dpi) .....	97
Tablica 3.5	Minimalne i maksimalne vrijednosti volumena aniloks valjka u odnosu prema linijaturi aniloks valjka .....	98
Tablica 3.6	Minimalna veličina rasterskog elementa od 24, 29 i 34 mikrona prikazana kao postotak pokrivenosti površine za različite linijature rastera.....	99

Tablica 3.7	Odabir linijature aniloks valjka s obzirom na minimalnu veličinu rasterskog elementa .....	102
Tablica 3.8	Specifikacija izrade polimerne ploče.....	104
Tablica 3.9	Specifikacija kamere vipFLEX2 .....	106
Tablica 3.10	Srednje vrijednosti rezultata slikovne analize rasterskih elemenata za sve tri faze procesa (RTD sustav, linijatura 133 lpi).....	109
Tablica 3.11	Srednje vrijednosti rezultata denzitometrijskog mjerenja na otiscima sa laganim i većim pritiskom u tisku (RTD sustav, linijatura 133 lpi) .....	109
Tablica 3.12	Srednje vrijednosti rezultata slikovne analize rasterskih elemenata za sve tri faze procesa (RTD sustav, linijatura 150 lpi).....	110
Tablica 3.13	Srednje vrijednosti rezultata denzitometrijskog mjerenja na otiscima sa laganim i većim pritiskom u tisku (RTD sustav, 150 lpi).....	110
Tablica 3.14	Srednje vrijednosti rezultata slikovne analize rasterskih elemenata za sve tri faze procesa (FTD sustav, linijatura 133 lpi).....	111
Tablica 3.15	Srednje vrijednosti rezultata denzitometrijskog mjerenja na otiscima sa laganim i većim pritiskom u tisku (FTD sustav, 133 lpi).....	111
Tablica 3.16	Srednje vrijednosti rezultata slikovne analize rasterskih elemenata za sve tri faze procesa (FTD sustav, linijatura 150 lpi).....	112
Tablica 3.17	Srednje vrijednosti rezultata denzitometrijskog mjerenja na otiscima sa laganim i većim pritiskom u tisku (FTD sustav, 150 lpi).....	112
Tablica 3.18	Ciljane i izmjerene kolorimetrijske vrijednosti za cijan i bijelu boju.....	117
Tablica 3.19	Vrijednosti tiskovnog kontrasta u ovisnosti o linijaturi rastera i jačini pritiska u tisku.....	124
Tablica 3.20	Stvarni promjer rasterskog elementa ( $\mu\text{m}$ ) na polimernoj ploči kod RTD sustava sa prikazom relevantne pokrivenosti površine.....	128
Tablica 3.21	Srednje vrijednosti okruglosti rasterskog elementa kroz tri faze proizvodnje kod linijature od 150 lpi.....	132
Tablica 3.22	Rezultati statističke analize okruglosti rasterskog elementa kroz tri faze proizvodnje kod linijature od 150 lpi.....	132

# ŽIVOTOPIS S POPISOM OBJAVLJENIH RADOVA

## 1. Osobni podaci

Dean Valdec je rođen 22. travnja 1972. u Varaždinu. Oženjen je i ima dvoje djece.

## 2. Podaci o obrazovanju

Završio je Osnovnu školu u Martijancu. Završio je srednju Grafičku školu u Zagrebu 1990. godine s općim uspjehom odličan. Diplomirao je na Grafičkom fakultetu u Zagrebu 1996. godine s diplomskim radom "Integracija teksta i slike u PageMakeru", te je stekao visoku stručnu spremu i akademski naziv diplomirani inženjer grafičke tehnologije.

## 3. Podaci o zaposlenju i radnom iskustvu

### **1996. – 1997. Piramida 256 d.o.o., Zagreb**

Tijekom tog razdoblja radio je na poslovima grafičke pripreme i dizajna, digitalnog tiska Xeikon te je bio uključen u projekt digitalizacije topografskih karata Hrvatske.

### **1997. – 2005. Grafičar d.d., Ludbreg**

Kao rukovoditelj DTP pripreme radio je na poslovima grafičke pripreme i dizajna, digitalne montaže te izrade filma i tiskovne forme za tisak. Zajedno sa timom stručnjaka radio je na projektu razvoja ambalaže i proizvoda koji se do tada nisu izrađivali u Hrvatskoj (kutije za tekućine, etikete iz role, lutrijske srećke). Godine 2002. (15.04.–03.05.) pohađa obuku za rukovoditelja pripreme tiska u Training Centre for Graphic Arts u Chemnitzu, Njemačka.

### **2005. - danas Veleučilištu u Varaždinu, Varaždin**

Radi kao nastavnik na studiju Multimedija, oblikovanje i primjena. U srpnju 2012. izabran je u nastavno zvanje „viši predavač“ za područje tehničkih znanosti, polje grafička tehnologija, grana procesi grafičke reprodukcije te sudjeluje u izvođenju nastave na stručnim kolegijima. U tom razdoblju izrađuje vizualni identitet Veleučilišta u Varaždinu, radi na razvoju laboratorija za kolorimetriju te izradi materijala za laboratorijske vježbe.

Aktivni je sudionik na znanstvenim i stručnim skupovima. Objavio je 6 znanstvenih i 11 stručnih radova, a autor je priručnika za vježbe iz kolorimetrije. Područje njegova interesa vezano je uz primjenu naprednih tehnologija u području fleksotiska te upravljanje bojama u procesima grafičke reprodukcije.

#### 4. Popis objavljenih radova

##### Udžbenici i skripta

1. Valdec D.  
**Sustavi vrednovanja boje**, Varaždin : Veleučilište u Varaždinu, 2011.

##### Znanstveni radovi u drugim časopisima

1. Valdec D, Zjakić I, Milković M.  
**The influence of variable parameters of flexographic printing on dot geometry of pre-printed printing substrate**, // Tehnički vjesnik : znanstveno-stručni časopis tehničkih fakulteta Sveučilišta u Osijeku, 20 (2013) , 4; 659-667 (članak, znanstveni).

##### Ostali radovi u drugim časopisima

1. Petrović V., Milković M., Valdec D.  
**Komparacija karakteristika inl-jet otisaka dobivenih vodenim, solventnim i UV bojilima**, // Tehnički glasnik, 7 (2013) , 2; 191-197 (članak, stručni).
2. Zdelar A., Milković M., Valdec D.  
**Usporedba fleksografskog i digitalnog tiska etiketa iz role**, // Tehnički glasnik, 6 (2013) , 2; 233-239 (članak, stručni).
3. Janković M., Tomiša M., Valdec D.  
**Izrada predložaka pomoću WordPressa, sustava za uređivanje web sadržaja**, // Tehnički glasnik, 5 (2011.) , 2; 76-79 (članak, stručni).
4. Kuzmić A., Tomiša M., Valdec D.  
**Analiza doživljaja osnovnih tipografskih elemenata**, // Tehnički glasnik, 5 (2011.) , 1; 44-47 (članak, stručni).
5. Valdec D., Zjakić I., Klopotan I.  
**Utjecaj linijature rastera na prirast rastertonskih vrijednosti u fleksotisku**, // Tehnički glasnik, 4 (2010) , 1-2; 48-51 (članak, stručni).
6. Ivančić S., Valdec D.  
**Utjecaj pokreta i boje na uočljivost teksta**, // Tehnički glasnik, 3 (2009) , 1-2; 16-19 (članak, stručni).
7. Valdec D., Ivančić S., Vusić D.  
**Kalibracija i karakterizacija reprodukcijuskog procesa na osnovu ISO specifikacija**, // Tehnički glasnik, 3 (2009) , 1-2; 20-24 (članak, stručni).
8. Vusić D., Valdec D.  
**Vrhunske tehnologije digitalnog tiska**, // Tehnički glasnik, 1 (2007.) , 1-2; 44-46 (članak, stručni).

##### Znanstveni radovi u zbornicima skupova s međunarodnom recenzijom

1. Valdec D., Bates D., Golubović K.  
**Determination of the minimum dot and anilox line screen used for flexography** // ZBORNIK RADOVA 14. međunarodnog savjetovanja tiskarstva, dizajna i grafičkih komunikacija Blaž Baromić / Mikota, Miroslav (ur.).  
Senj, 2010. 399-403 (poster, međunarodna recenzija, objavljeni rad, znanstveni).

2. Valdec D., Vusić D., Tomiša M.  
**Advanced prepress technologies for flexographic printing** // Proceeding 12th International conference of printing, design and graphic communication Blaž Baromić / Bolanča, Zdenka (ur.). Zagreb : University of Zagreb, Faculty of Graphic Arts ; University of Ljubljana, Faculty of Natural Science and Engineering, Slovenia ; Ogranak Matice hrvatske Senj ; Pulp and Paper Institute, Ljubljana - Slovenia, 2008. 197-199 (predavanje, međunarodna recenzija, objavljeni rad, znanstveni).
3. Valdec D., Vusić D., Tomiša M.  
**XM Screening Technology** // Proceeding 11th International conference of printing, design and graphic communication Blaž Baromić / Bolanča, Zdenka (ur.). Zagreb : Faculty of Graphic Arts - University of Zagreb, Ogranak Matice hrvatske Senj, Pulp and Paper Institute, Ljubljana - Slovenia, 2007. 145-148 (predavanje, međunarodna recenzija, objavljeni rad, znanstveni).
4. Zdelar J., Banić D., Valdec D.  
**Characteristics and models of flexo printed "shrink sleeve" packaging** // 11th International conference on printing, design and graphic communications (Blaž Baromić 07) : proceedings / Bolanča, Zdenko (ur.). Zagreb ; Ljubljana ; Senj : Faculty of Graphic Arts ; Pulp and Paper Institut ; Matica hrvatska, Ogranak, 2007. 159-161 (predavanje, međunarodna recenzija, objavljeni rad, znanstveni).

#### **Drugi radovi u zbornicima skupova s recenzijom**

1. Klopotan I., Ivančić S., Valdec D.  
**New media in the marketing and market communication** // Proceeding 14th International conference of printing, design and graphic communication Blaž Baromić / Mikota, Miroslav (ur.). Zagreb : University of Zagreb, Faculty of graphic arts ; Ogranak Matice hrvatske Senj ; Pulp and paper institute, Ljubljana, Slovenia ; University of Ljubljana, Faculty of natural sciences and engineering, Ljubljana, Slovenia, 2010. 229-236 (poster, međunarodna recenzija, objavljeni rad, stručni).
2. Klopotan I., Vusić D., Valdec D.  
**Influence of the screen ruling and the printing substrate characteristics on the quality of screen prints** // Proceeding 13th International conference of printing, design and graphic communication Blaž Baromić / Bolanča, Zdenka (ur.). Zagreb : University of Zagreb, Faculty of Graphic Arts ; University of Ljubljana, Faculty of Natural Science and Engineering, Slovenia ; Ogranak Matice hrvatske Senj ; Pulp and Paper Institute, Ljubljana - Slovenia, 2009. 83-87 (poster, međunarodna recenzija, objavljeni rad, stručni).
3. Periša M., Valdec D., Hrženjak N.  
**Utjecaj AWB-a na kvalitetu reprodukcije pri različitim izvorima svjetla u digitalnoj fotografiji** // International conference of printing, design and graphic communication Blaž Baromić 2009 / Prof. dr. sc. Zdenka Bolanča (ur.). Zagreb : Grafički fakultet Zagreb, 2009. 135-138 (poster, međunarodna recenzija, objavljeni rad, stručni).

#### **Sažeci u zbornicima skupova**

1. Ivančić Valenko S., Bolčević N., Valdec D.  
**Analiza pogrešaka nastalih konverzijom datoteka kod izrade grafičke pripreme za tisak publikacija** // TISKARSTVO & DIZAJN 2013 / Doc. dr. sc. Jana Žiljak Vujić (ur.). Tuheljske toplice : FS, FotoSoft, 2013. 18-18 (predavanje, međunarodna recenzija, sažetak, znanstveni).