



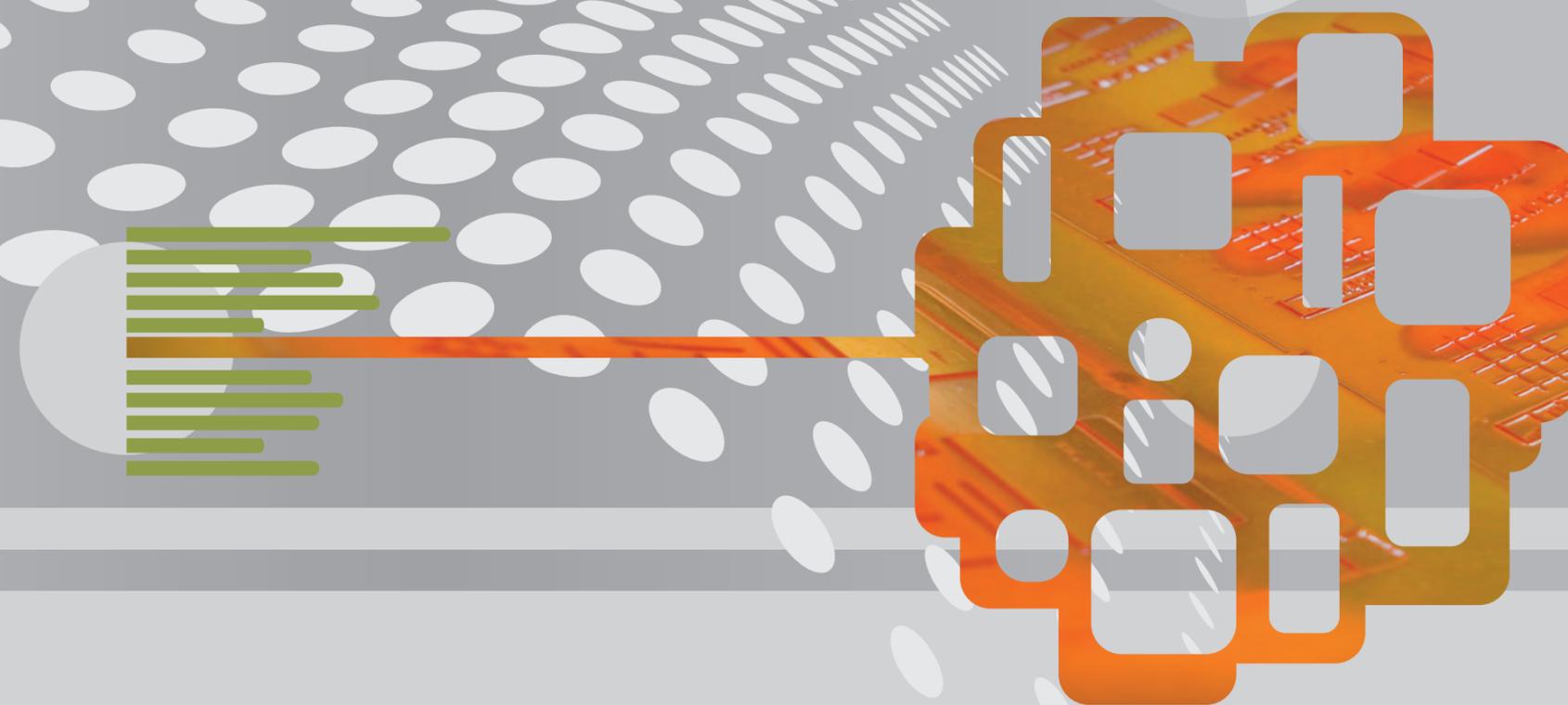
UNIVERZITET U NOVOM SADU
FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA
GRAFIČKO INŽENJERSTVO I DIZAJN



Sandra Dedijer

RAZVOJ MODELA PROCESNE ANALIZE PARAMETARA
IZRADE FLEKSO ŠTAMPARSKE FORME

doktorska disertacija



Novi Sad, 2012.



UNIVERZITET U NOVOM SADU
FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA
GRAFIČKO INŽENJERSTVO I DIZAJN



Sandra Dedijer

**RAZVOJ MODELA PROCESNE ANALIZE
PARAMETARA IZRADA FLEKSO ŠTAMPARSKJE
FORME**

doktorska disertacija

Novi Sad, 2012.

Istraživanja realizovana u okviru disertacije su potpomognuta sredstvima Ministarstva prosvete i nauke republike Srbije u okviru projekta tehnološkog razvoja broj 35027, “Razvoj softverskog modela za unapređenje znanja i proizvodnje u grafičkoj industriji“

Zahvalnost želim da izrazim mentoru rada, profesoru dr Dragoljubu Novakoviću na iskrenoj podršci i ukazanoj pomoći pri izradi ovog rada. Zahvalnost želim izraziti i štampariji Comex (Šabac), Alpak (Subotica) i firmi Systemic (Beograd) za obezbijeđenje velikog broja uzoraka i prijateljskim savjetima i pruženoj podršci. Posebnu zahvalnost dugujem Katedri za tiskovne forme Grafičkog fakulteta u Zagrebu na čelu sa profesorom dr Miroslavom Gojom na pruženoj podršci, savjetima i ustupljenoj mjernoj opremi kao i Centru za elektronsku mikroskopiju Univerziteta u Novom Sadu na SEM snimcima uzoraka. Neizmjernu zahvalnost dugujem kolegama, porodici i prijateljima na bezrezervnoj podršci, savjetima i velikom razumijevanju.

“Honeste vivere, alterum non laedere, suum cuique tribuere.”



КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА

Редни број, РБР:	
Идентификациони број, ИБР:	
Тип документације, ТД:	Монографска публикација
Тип записа, ТЗ:	Текстуални штампани материјал
Врста рада, ВР:	Докторска дисертација
Аутор, АУ:	МСц Сандра Дедијер
Ментор, МН:	Проф. др Драгољуб Новаковић
Наслов рада, НР:	Развој модела процесне анализе параметара израде флексо штампарске форме
Језик публикације, ЈП:	Српски
Језик извода, ЈИ:	Српски
Земља публикавања, ЗП:	Република Србија
Уже географско подручје, УГП:	АП Војводина
Година, ГО:	2012
Издавач, ИЗ:	Ауторски репринт
Место и адреса, МА:	ФТН, Трг Доситеја Обрадовића 6, 21 000 Нови Сад
Физички опис рада, ФО: (поглавља/страница/ цитата/табела/слика/графика/прилога)	7/190/104/48/96
Научна област, НО:	Графичко инжењерство и дизајн
Научна дисциплина, НД:	Графичко инжењерство и дизајн
Предметна одредница/Кључне речи, ПО:	ЦТП флексо штампарска форма, штампајући елементи, процесни параметри израде, површинска храпавост, контактни угао
УДК	
Чува се, ЧУ:	У библиотеци Факултета техничких наука у Новом Саду, Р. Србија
Важна напомена, ВН:	
Извод, ИЗ:	Дисертација даје преглед релевантних и савремених ставова и истраживања у научној заједници на тему дигиталних (ЦТП) флексо штампарских форми и могућности репродукције штампајућих елемената у зависности од процесних фаза израде. У дисертацији је указано на могућност развоја модела процесне анализе параметара израде флексо штампарске форме као једног од неизоставних корака ка униформности и стандардизацији. Дисертација представља прилог новим научним истраживањима у области израде флексо штампарских форми кроз анализу великог броја експерименталних узорака и добијене податке, њихове односе и међусобне зависности.
Датум прихватања теме, ДП:	
Датум одбране, ДО:	
Чланови комисије, КО:	Председник: Др Катарина Герић, редовни професор
	Члан: Др Мирослав Гојо, редовни професор
	Члан: Др Слободан Недељковић, редовни професор
	Члан: Др Бранко Милосављевић, ванредни професор
	Члан, ментор: Др Драгољуб Новаковић, редовни професор
	Потпис ментора



KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number, ANO :	
Identification number, INO :	
Document type, DT :	Monographic Publication
Type of record, TR :	Textual material, printed
Contents code, CC :	PhD Thesis
Author, AU :	MSc Sandra Dedijer
Mentor, MN :	Professor Dragoljub Novaković, PhD
Title, TI :	Development of a model of process analysis of making flexo printing forms
Language of text, LT :	Serbian
Language of abstract, LA :	English
Country of publication, CP :	Serbia
Locality of publication, LP :	Vojvodina
Publication year, PY :	2012
Publisher, PB :	Author's reprint
Publication place, PP :	FTS, Trg Dositeja Obradovića 6, 21 000 Novi Sad
Physical description, PD : <small>(chapters/pages/ref./tables/pictures/graphs/appendixes)</small>	7/190/104/48/96
Scientific field, SF :	Graphic engineering and design
Scientific discipline, SD :	Graphic engineering and design
Subject/Key words, S/KW :	CtP flexo printing form, printing elements, process parameters, surface roughness, contact angle
UC	
Holding data, HD :	The library of FTS, Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6
Note, N :	
Abstract, AB :	Dissertation gives an overview of relevant and contemporary research which subject is digital (CtP) flexo printing plates and reproduction possibilities of printing elements depending on processing parameters. The dissertation points out the possibility to develop a process model for analyzing processing parameters in flexo plate making chain as inevitable step toward process standardization and uniformity. It represents a contribution to contemporary scientific research field in flexo plate making domain through experimental analysis of large number of samples and gained results, their relations and dependences.
Accepted by the Scientific Board on, ASB :	
Defended on, DE :	
Defended Board, DB :	President: Katarina Gerić, PhD, full professor
	Member: Miroslav Gojo, PhD, full professor
	Member: Slobodan Nedeljković, PhD, full professor
	Member: Branko Milosavljević, PhD, associate professor
Member, Mentor:	Dragoljub Novaković, PhD, full professor
	Mentor's sign

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1. Cilj rada i hipoteza istraživanja	3
1.2. Način rešavanja problema	4
2. ISTRAŽIVANJE TEORIJSKIH PRILAZA U REŠAVANJU PROBLEMA	6
2.1. Aktuelna istraživanja u oblasti fleksno tehnike štampe i štamparskih formi	6
2.1.1. Digitalne fleksno štamparske forme	16
2.1.1.1. Postupak izrade digitalne fleksno štamparske forme	19
2.1.1.2. Tvrdoća i debljina digitalnih fleksno štamparskih formi	28
2.2. Polimeri i polimerizacija	29
2.2.1. Monomeri	30
2.2.2. Nomenklatura polimera	30
2.2.3. Klasifikacija polimera	31
2.2.4. Molekulska struktura polimera	34
2.2.5. Osnovna svojstava polimera	34
2.2.6. Reakcije polimerizacije	35
2.2.6.1. Radikalna polimerizacija	36
2.2.7. Polimerne kompozicije (smeše) za izradu fleksno štamparskih formi	39
2.3. Površinske pojave na štamparskoj formi	44
2.3.1. Granična površina	44
2.3.2. Slobodna površinska energija	45
2.3.2.1. Kontaktni ugao	45
2.3.2.2. Određivanje slobodne površinske energije	48
2.4. Površinska hrapavost	49
3. EKSPERIMENTALNI DEO	55
3.1. Uređaji, metode i materijali	58
3.1.1. Karakteristike i proces izrade štamparskih formi, karakteristike uređaja za oslikavanje i razvijanje	58

3.1.2.	Karakteristike boje za štampu	63
3.1.3.	Analiza štampajućih elemenata štamparske forme – SEM analiza, analiza optičkim mikroskopom i analiza opto-elektronskim mernim uređajem sa CCD kamerom	64
3.1.3.1.	Priprema uzoraka za SEM analizu, analizu optičkim mikroskopom i analizu opto-elektronskim mernim uređajem	67
3.1.4.	Uređaj za merenje hrapavosti	72
3.1.4.1.	Priprema uzoraka za merenje hrapavosti	73
3.1.5.	Uređaj za merenje kontaktnog ugla i slobodne površinske energije	74
3.1.5.1.	Priprema uzoraka za merenje kontaktnog ugla i slobodne površinske energije	75
3.1.6.	Merenje tvrdoće, debljine i dubine reljefa	77
3.1.7.	Statističke metode obrade podataka	77
4.	REZULTATI ISTRAŽIVANJA	78
4.1.	Analiza tvrdoće i debljine štamparske forme	78
4.2.	Analiza uticaja procesnih faza predosvetljavanja, glavnog osvetljavanja i razvijanja na dubinu reljefa štamparske forme	81
4.3.	Analiza reprodukcije štampajućih elemenata u zavisnosti od različitih procesnih faza izrade	85
4.3.1.	Analiza reprodukcije linijskih elemenata	85
4.3.2.	Analiza reprodukcije pojedinačnog elementa kružnog oblika (tačke)	92
4.3.3.	Analiza reprodukcije pojedinačne rasterske tačke	100
4.4.	Mikroskopska analiza reprodukcije elemenata na štamparskim formama	106
4.4.1.	Analiza mikroskopskih snimaka reprodukovanih elemenata na štamparskoj formi sa termalnim postupkom razvijanja (A)	106
4.4.2.	Analiza mikroskopskih snimaka reprodukovanih elemenata na štamparskoj formi na sa kovencionalnim postupkom razvijanja (B)	119
4.4.3.	Analiza reprodukovanih elemenata na štamparskim formama A i B – analiza opto – elektronskim uređajem	133
4.5.	Rezultati merenja površinskih karakteristika	136

4.5.1. Rezultati merenja površinskih karakteristika punog tona flekso štamparske forme u zavisnosti od različitih procesnih parametara izrade	137
4.5.2. Rezultati merenja površinskih karakteristika punog tona flekso štamparskih formi (termalni i konvencionalni postupak razvijanja – štamparska forma A i štamparska forma B)	149
4.6. Rezultati merenja kontaktnog ugla i slobodne površinske energije	153
4.6.1. Rezultati merenja kontaktnog ugla referentnih tečnosti	153
4.6.2. Rezultati merenja kontaktnog ugla u funkciji vremena	156
4.6.3. Rezultati proračuna slobodne površinske energije	160
4.6.4. Rezultati merenja kontaktnog ugla štamparske boje	161
5. DISKUSIJA	164
6. ZAKLJUČCI	176
7. LITERATURA	182

1. UVOD

Ubrzan tehnološki razvoj fleksografija je doživela u proteklih 30 godina, zahvaljujući pre svega kontinuiranim tehničkim i tehnološkim inovacijama uz sve veću ekonomičnost samog procesa štampe.

Tokom poslednje dve decenije fleksografija je od takozvanog procesa za označavanje stigla do visoko produktivnog štamparskog postupka. Razvoj različitih komponenti procesa je dozvolio značajan napredak u dostiznosti visokog kvaliteta. Prognoze rasta za naredni period takođe su pozitivne.

Flekso štampa je dokazala svoju sposobnost da iznedri otisak zadovoljavajućeg kvaliteta na velikom broju različitih podloga. Fleksibilnost i jednostavnost su jedne od glavnih prednosti procesa koji pokazuje brz trend razvoja, kako po pitanju tehnologije, tako i po pitanju udela štampanog materijala na tržištu. Zbog svoje karakteristike da štampa na različitim podlogama flekso štampa danas dominira u području štampe ambalažnih materijala.

Visok kvalitet, zajedno sa velikom brzinom štampe i ekonomičnošću, danas je primat i ono što mora biti ispunjeno. Fleksografija kao jedan od najviše korištenih procesa u industriji ambalaže takođe treba da odgovori na dati izazov kako bi opstala. Nadogradnja i napredak u oblasti fleksografije su toliko velikih razmera i tako brzi da se ovde zaista može govoriti o stvarnoj revoluciji na skali razvoja grafičkog inženjerstva.

No, neosporno je da je još uvek suočena sa dva glavna problema: nepostojanje standarda (na način na koji oni postoje za ofset štampu) i nemogućnost kontrole i merenja kvaliteta sa potpunom objektivnošću. Nedostatak standarda je usporio proces i proizveo da se sve podešava od posla do posla, od plana do plana, kao i nemogućnost predviđanja rezultata bez skupih probnih radova i ponovljenih poslova. Kompjuterizacija je donela revoluciju i u ovu oblast štampe tako da su inovacije omogućile precizna i ponovljiva podešavanja mašina za štampu, direktnu video kontrolu i automatsko podešavanje u toku rada mašine te kompjutersku i lasersku izradu štamparskih formi.

Današnji razvoj u svim oblastima tehnike i tehnologije dozvoljava konstantna tehnička i tehnološka unapređenja koja su svakako značajna i u oblasti grafičke industrije a samim tim i u domenu flekso tehnike štampe. Jedna od značajnih tehnoloških inovacija dolazi iz kompanije DuPont, Cyrel (USA) koja je patentirala proces takozvanog termalnog razvijanja flekso štamparskih formi čime je omogućena eliminacija upotrebe hemijskih supstanci u postupku razvijanja štamparske forme. Ako se uzme u obzir da je razvijanje štamparske forme upotrebom odgovarajućeg hemijskog sredstva jedan od kritičnih faktora koji u mnogome utiču na standardizaciju procesa izrade, onda se može zaključiti da termalni postupak razvijanja svakako treba da omogući veću stabilnost i

ponovljivost postupka izrade. S druge strane, termalni postupak je ekološki prihvatljiviji i omogućava veću produktivnost (približno pet puta) što je svakako značajno za jedan realan proizvodni postupak.

Razvoj flekso tehnologije je sa druge strane suočen sa jednim od osnovnih problema a to je nepostojanje standarda u oblasti izrade flekso štamparskih formi. Nedostatak standarda posledica je upravo različitih tehnologija izrade predstavljenih od strane različitih proizvođača flekso štamparskih formi. Da postoje osnovne smernice i zahtevi izrade flekso štamparske forme u pogledu tonske reprodukcije, debljine i tvrdoće flekso štamparske forme, mogućnosti reprodukcije najmanjeg pojedinačnog elementa, veličine rasterske tačke te mogućnosti korištenja određene linijature rastera i vrste rastriranja (klasični AM raster ili hibridno rastriranje) svakako nije neosporno, ali predviđanje budućih rezultata je uslovljeno potrebom da se izrada flekso štamparske forme prilagodi postojećim proizvodnim uslovima. U najvećem broju slučajeva, izrada flekso štamparske forme podrazumeva definisanje procesa prema prvobitnim smernicama datim od strane proizvođača flekso štamparskih formi koje definišu tehnološke mogućnosti i ograničenja izrade kako bi se postigla optimalna izrada.

Postizanje ponovljivosti izrade u okviru jedne tehnologije uz jasno definisanje potrebnih proizvodnih uslova predstavlja prvi korak ka ponovljivosti i standardizaciji postupka. Iznalaženje optimalnih vremena trajanja svih faza izrade uz postizanje brže izrade flekso štamparske forme kako bi se obezbedila visoka produktivnost s jedne strane te optimalan kvalitet izrade i funkcionalnost s druge strane, takođe predstavljaju jedan od optimalnih ciljeva koje treba realizovati.

Eksperimentalni put koji čine niz testova predviđenih za definisanje procesnih parametara izrade predstavlja jedini način iznalaženja optimalnog procesa koji će kasnije biti ponovljiv na sistemima iste konfiguracije, što će upravo činiti osnovu predmeta istraživanja. Pri tome biće obuhvaćene CtP flekso štamparske forme koje se razvijaju termalnim postupkom i konvencionalnim postupkom (upotrebom odgovarajućeg sredstva za razvijanje). Kroz ispitivanje reprodukcije tonskih vrednosti i ostalih relevantnih štampajućih elemenata na štamparskoj formi (mikroskopskom analizom - SEM analiza, analiza optičkim mikroskopom i analiza primenom metode digitalne obrade i analize slike), površinske hrapavosti štampajućih elemenata na štamparskoj formi (puni tonovi), kontaktnog ugla i površinskog napona (sa standardnim tečnostima kao i uzorcima boje koji se koriste u realnom proizvodnom sistemu), omogućiće se osnove za razvoj ponovljivog modela procesne izrade u okviru jednog celovitog fleksografskog postupka.

1.1. Cilj rada i hipoteza istraživanja

Istraživanje će biti bazirano na karakterizaciji modela procesne analize parametara izrade flekso štamparske forme. Svaka promena površine direktno utiče na štamparsku formu i kasniji postupak otiskivanja. Promene na površini uzorka klasifikuju se kao promene usled izrade štampajućih i neštampajućih elemenata kao i promene nastale usled eksploatacije u toku postupka štampe te međusobne interakcije štamparske boje, podloge za štampu i štamparske forme. Kod tačne i kvalitetne reprodukcije tonskih vrednosti od izuzetne je važnosti definisati odgovarajući korelativni odnos procesnih parametara kako bi se omogućila egzaktna kontrola samog procesa reprodukcije u grafičkom radnom toku.

Karakterizacija procesnih parametara izrade flekso štamparske forme predstavlja kompleksan sistem gde do izražaja dolaze određene karakteristike ne samo štamparske forme već i upotrebljene boje i substrata koji se štampa. Flekso štamparska forma kao kompleksan trodimenzionalni sistem, u interakciji sa bojom i podlogom za štampu, može se opisati sa više kvantitativnih i kvalitativnih metoda. Definisanjem, merenjem i kvantifikovanjem procesnih parametara izrade, topografije površine (površinske hrapavosti), površinske energije u korelaciji sa kontaktnim uglom boje omogućava se postavljanje referentnih veličina za definisanje modela izrade i kasnijeg ponašanja štamparske forme u postupku otiskivanja. Egzaktno definisanje pomenutih veličina stvara se uslov za precizno i tačno određivanje celokupnog seta parametara u pripremi i izradi flekso štamparske forme što u rezultatu definiše i krajni kvalitet dobijenog otiska.

Razvojem modela procesne analize parametara izrade flekso štamparske forme može se značajno unaprediti proces dobijanja kvalitetnog i pouzdanog rešenja štamparske forme iz čega će proizaći kvalitet otiska. Definisanje ponovljivih i tačnih parametara izrade postiže se konstantnost u dobijenom krajnjem kvalitetu predstavlja prvi korak ka neophodnoj optimizaciji i ponovljivosti procesa.

Primarni cilj istraživanja predstavlja definisanje modela procesne analize parametara izrade flekso štamparske forme kroz definisanje optimalnih uslova izrade CtP flekso štamparske forme sa termalnim postupkom razvijanja i konvencionalnim postupkom razvijanja. Pri tome će se koristiti metode digitalne obrade i analize slike u cilju ispitivanja formiranja rasterskog elemenata kao i stabilnog elementa minimalnih dimenzija. Analiza reprodukovanih tekstualnih elemenata, kako u pozitivu tako i u negativu, linijskih elemenata kao i ispitivanje reprodukovane dubine reljefa i površinske hrapavosti punog tona koristeći se profilometrijskom kontaktnom metodom takođe predstavljaju cilj istraživanja. Definsanje kontaktnih uglova kvašenja na štamparskoj formi, definisanje površinskog napona štamparske forme sa standardnim uzorcima tečnosti i definsanje kvaliteta reprodukcije otiska u zavisnosti od reprodukcije

štamarske forme – AM raster (tonska reprodukcija, uticaj na formiranje štamajućih i neštamajućih elmenata) zaokružuju postavljeni cilj istraživanja.

Za potvrdu hipoteze neophodno je realizovati eksperimentalna istraživanja površine štamarske forme i štamajućih elemenata u zavisnosti od promena u procesnim fazama izrade, kao i uporednu analizu primenjenih tehnologija a kao rezultat se očekuje doprinos sadašnjim svetskim istraživanjima u ovoj oblasti. Obradom i analizom dobijenih rezultata primenom adekvatnih statističkih metoda, očekuje se dobijanje parametara za potvrđivanje teorijskih pretpostavki i hipoteze: *moгуće je razviti model praćenja promena štamajućih elemenata štamarske forme u procesnim uslovima koji će značajno unaprediti eksploatacione karakteristike štamarskih formi. Za dokaz hipoteze neophodno je realizovati određen broj ciljeva koji su osnova dokazivanja. Oni obuhvataju sledeće:*

- Definisanje promena štamajućih elemenata u zavisnosti od promena u procesnim parametrima izrade u smislu promena u njihovoj veličini, mogućnosti reprodukcije u zavisnosti od inicijalno definisanih dimenzija stabilnosti na površini štamarske forme. Date promene biće karakterisane odgovarajućim kako kvalitativnim tako i kvantitativnim metodama.
- Karakterizaciju površinske mikrostrukture punog tona (štamajući element) na flekso štamarskoj formi koja će omogućiti detaljnu analizu površinskih mikrostrukture štamarskih formi.
- Definisanje parametara površinske hrapavosti koji su osnova za analizu topografije štamajuće površine i koji omogućavaju definisanje promena u mikrostrukтури površina izazvane različitim procesnim parametrima izrade.
- Definisanje kontaktnog ugla između boje i površine punog tona na štamarskoj formi što ukazuje na promene u interakciji boje i površinskih struktura.

1.2. Način rešavanja problema

Planom rada obuhvaćeno je definisanje svrhe i zadatka istraživanja, pregled ranijih istraživanja, definisanje postupka izrade flekso štamarskih formi, definisanje svojstva štamarskih formi kroz mogućnost reprodukcije štamajućih elemenata, površinsku hrapavost, kontaktni ugao i površinsku energiju, definisanje toka eksperimenta, definisanje načina uzorkovanja, načina i metoda obrade i prezentovanja dobijenih rezultata.

Na osnovu teorijskih istraživanja i rezultata, definisaće se pristup karakterizaciji najvažnijih veličina označenih kao varijabilni faktori u procesu reprodukcije, a koji

direktno utiču na reprodukciju štampajućih elemenata i njihove površinske karakteristike.

Prikazom rezultata istraživanja drugih autora, predstavice se osnovne smernice za teorijsko razmatranje karakteristika koje će biti osnova za diskusiju dobijenih eksperimentalnih istraživanja osobina ponašanja fleksa štamparskih formi u toku izrade.

Kroz pregled dosadašnjih istraživanja u predmetnoj oblasti, ukazaće se na značaj egzaktnog i kontrolisanog definisanja procesnih parametara izrade fleksa štamparske forme, na pojedinačne uticaje svakog od parametara na formiranje štampajućih elemenata. Kroz pregled karakteristika fotopolimernih štamparskih formi i prikaza sa hemijske tačke gledišta (mehanizmi polimerizacije i kompozicija polimera) dobiće se jasnija slika o kasnijim rezultatima istraživanja eksperimentalnog dela. Izložene teorijske osnove o površinskoj hrapavosti, kontaktnom uglu i slobodnoj površinskoj energiji omogućice lakše tumačenje i razumevanje dobijenih rezultata.

Najvažnije eksperimentalne metode koje će biti korištene za rešavanje postavljenog problema istraživanja su metode digitalne obrade i analize slike koje su primenjene za analizu reprodukcije različitih štampajućih elemenata, metode definisanja površinskih karakteristika štamparske forme merenjem specifičnih veličina parametara hrapavosti koje su korištene za kvantifikaciju površinske mikrostrukture fleksa štamparskih formi, metode merenja kontaktnog ugla i površinske energije, koje su primenjene za definisanje kontaktnog ugla kvašenja površine štamparske forme kako standardnim tačnostima tako i bojom koja se koristi u realnom fleksografskom procesu.

Nakon prikupljenih numeričkih podataka izvešće se njihova analiza primenom adekvatnih metoda statističke obrade podataka. Očekuje se da će rezultati ispitivanja, kroz obradu analiziranih veličina, biti doprinos dosadašnjim istraživanjima koji daju odgovor u kojoj meri promene procesnih parametara izrade utiču na formiranje štampajućih elemenata fleksa štamparske forme kao i u kojoj meri utiču na promene u mikrostrukтури površine, a time i fizičke promene štampajućih površina forme za fleksa štampu. Te promene mogu dati značajna saznanja u pogledu adekvatnog definisanja procesnih faza izrade fleksa štamparske forme kao i predviđanje njenog ponašanja u kasnijoj eksploataciji i time doprineti formiranju osnove za definisanje korelacija koje se mogu koristiti pri proizvodnji štamparskih formi čime se može predvideti budući izgled grafičkih proizvoda.

2. ISTRAŽIVANJE TEORIJSKIH PRILAZA U REŠAVANJU PROBLEMA

2.1. Aktuelna istraživanja u oblasti flekso tehnike štampe i štamparskih formi

Vreme kada je flekso štampa bila sinonim za takozvanu “krompir štampu” pripada istoriji. Danas je flekso štampa tehnika štampe koja je dostigla takav tehnološki i tehnički nivo kojim je pokazala svoju neospornu sposobnost dobijanja otiska visokog kvaliteta na velikom broju različitih podloga. Fleksibilnost i jednostavnost su jedne od glavnih prednosti procesa koji je jedan od konvencionalnih postupaka štampe koji pokazuje pozitivan rast tokom posljednjih godina. Flekso štampa danas ima veoma značajno mesto u grafičkoj industriji. Iako je inicijalno bila fokusirana na štampu neravnih podloga, danas flekso tehnikom štampe se realizuje otisak na svim vrstama papirnih podloga, različitim polimernim podlogama, filmovima i folijama. Štampana amabalažnih proizvoda je domen flekso tehnike štampe ali primenjuje se i u štampi novina, sveski, obrazaca, funkcionalnih elemenata (štampana elektronika).

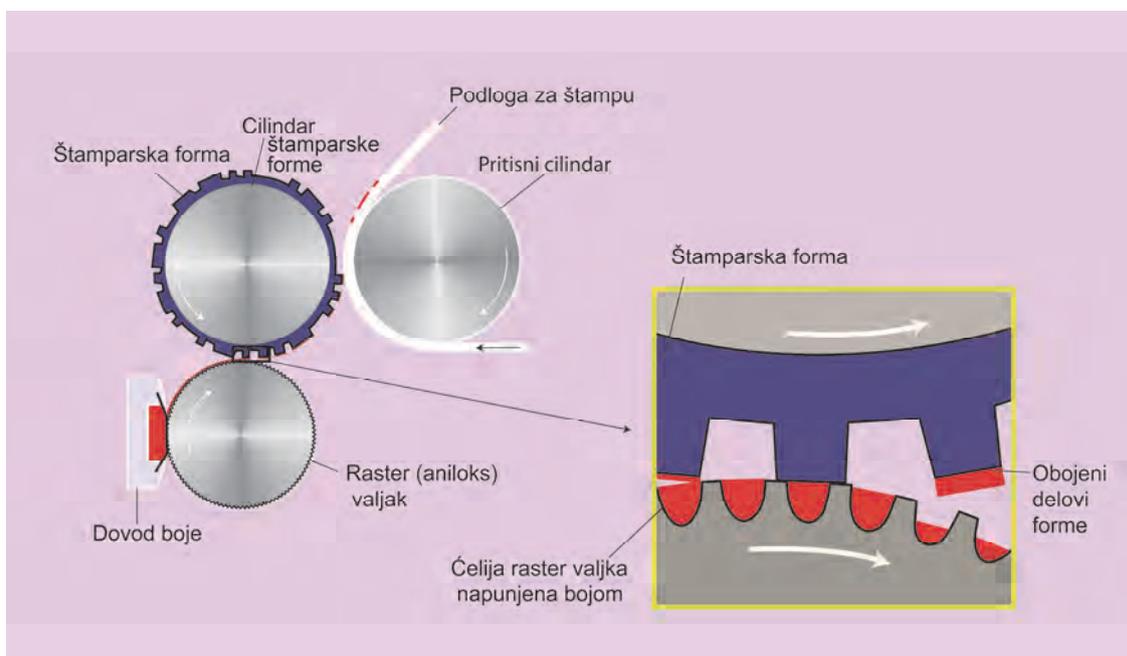
Nagli razvoj flekso tehnike štampe zabeležen je nakon otkrića fotopolimernih štamparskih formi 70-tih godina prošlog veka. Procenat udela flekso štampe u grafičkoj industriji u odnosu na druge vrste štampe, kao i povećanje njene zastupljenosti na svetskom tržištu ilustruje tabela 2.1. (Zelmer, 2006).

Tabela 2.1: Procenat udela fleksografije u grafičkoj industriji u odnosu na druge tehnike štampe

	1950.	1970.	1980.	1990.	2000.
Duboka štampa	30	28	26	26	18
Ofset štampa	55	52	46	45	35
Flekso štampa	10	12	18	28	35
Leterpres štampa	4	8	6	6	6
Sito štampa	1	1	2	2	2
Digitalna štampa	0	0	1	2	2

Visok kvalitet, zajedno sa velikom brzinom štampe i ekonomičnošću, danas je primat i ono što mora biti ispunjeno. Fleksografija kao jedan od procesa štampe takođe treba da dostigne taj izazov da bi opstala. Stoga konstantna tehnološka i tehnička unapređenja u oblasti flekso štampe su neosporna. U poslednjih nekoliko decenija ta unapređenja su bila takvih razmera i tako rapidna da se ovde zaista može govoriti o stvarnoj revoluciji na skali razvoja grafičkog inženjerstva. Fleksografski proces je tokom posljednjih godina od “procesa za označavanje” stigao do “visoko produktivnog procesa štampe”. Razvoj različitih komponenti ovog procesa je dozvolio značajan napredak u dostiznosti visokog kvaliteta štampanog otiska.

Flekso štampa se može definisati kao metod direktne štampe koji koristi štamparske forme od gume ili polimera. Štamparska forma je postavljena na cilindar nosioc štamparske forme i ubojava se sa valjka koji ima ćelijsku strukturu, a može biti sa ili bez rakela, koji nosi boju koja se brzo suši, a koja se može preneti na bilo koju vrstu podloge – upojnu ili neupojnu (DFTA, 2000). Osnovni princip flekso štampe prikazan je na slici 2.1.



Slika 2.1: Šematski prikaz principa flekso štampe

Na slici 2.1. prikazana je jedna štamparska jedinica koja se sastoji od cilindra sa štamparskom formom, pritisknog cilindra koji omogućava pritisak i jedinice za boju (Kipphan, 2001). Boja niskog viskoziteta (visoke tečljivosti) se prenosi na keramički ili hromirani valjak sa ugraviranim udubljenjima – raster valjak (aniloks valjak). Višak boje se skida, a zatim prenosi na cilindar forme na koji je prethodno postavljena fleksibilna štamparska forma. Uzdignuti elementi elastične fleksografske štamparske forme preuzimaju boju i prenose je na podlogu za štampu (najčešće u obliku trake materijala), kojoj protivpritisak daje pritisni cilindar. Elastična štamparska forma je glavna odlika ove tehnike štampe. Upravo zbog njenih osobina flekso štampa je nezamenjiv proces u grafičkoj industriji kada je u pitanju štampa na neupojnim i neravnim podlogama, i to pre svega štampa ambalažnih materijala. Iako je razvijena pre svega za štampu na talasitim kartonima i lepenkama, flekso štampa se svakim danom sve više razvija i unapređuje, tako da polako dostiže kvalitet koji se, sada već može porediti sa kvalitetom ofset štampe. Takav kvalitet joj omogućava i sve veću primenu u štampi najrazličitijih vrsta grafičkih proizvoda.

Anilinska štampa, kako je fleksografija bila poznata do 1952. godine, nastala je iz rotacione leterpres štampe. Naziv je dolazio od vrste boja koja se koristila – anilinske

boje. Kompjuterizacija je donela revoluciju i u ovu oblast štampe. Tako su inovacije omogućile precizna i ponovljiva podešavanja mašina za štampu. Takođe je omogućena direktna video kontrola i automatska podešavanja u toku rada mašine. Mnoge inovacije su za samu konstrukciju mašina značile nove izvedbe i podizanje kvaliteta, ali i povećanje broja boja koje se mogu štampati. Došlo je od zamene aniloks valjka od hroma, istim valjkom koji se sada pravio od keramike i koji je imao mnoge prednosti.

Sledio je početak upotrebe polimernih štamparskih formi u svim domenima fleksografije, pa čak i u novinskoj fleksografiji. Počekom 90-ih godina prošlog veka su se još uvijek koristile ručne tehnike izrade i postavljanja forme na cilindre nosioce štamparske forme, da bi do kraja 1997. godine došlo do promena i na tom polju. Bila je omogućena kompjuterska i laserska izrada štamparskih formi. Kompjuterska izrada ili CtP (Computer to Plate) se koristila za izradu polimernih formi, dok su se gumene tzv. Sleeve štamparske forme izrađivale laserskim graviranjem, gdje je računar upravljao radom lasera (metod poznat i kao CtS (Computer to Sleeve)).

Flekso tehnika štampe kao i sve ostale tehnike ima svoje prednosti i nedostatke. Jedna od velikih prednosti flekso štamparskog postupka jeste “promenljivo ponavljanje” odnosno promena veličine cilindra nosioca štamparske forme, samim tim površine za štampu odnosno veličine štamparske forme. Time se omogućava gotovo stoprocentno iskorišćenje trake materijala koji se štampa odabirom odgovarajućeg prečnika cilindra nosioca štamparske forme shodno proizvodu koji se realizuje. Pri tome je svakako omogućena adekvatna promena položaja raster valjka (prema i od cilindra nosioca štamparske forme). Potrebno je naglasiti da ovu mogućnost nemaju mašine koje štampaju direktno na talasasti karton za pakovanje i tabačne mašine koje štampaju kovertu. Ovakva podešavanja flekso štamparskih mašina dozvoljavaju optimizaciju proizvodnje za specifične poslove i čine fleksografiju konkurentnom pred ofset štampom u mnogim sferama tržišta (Page Crouch, 1998).

Druga važna prednost flekso tehnike štampe jeste sama štamparska forma. Zahvaljujući elastičnim štampajućim elementima ovom tehnikom štampe moguće je štampati na najrazličitijim upojnim i neupojnim podlogama, kao što su: tanki filmovi, fleksibilne i čvrste folije, gotovo svi papiri, kartoni najrazličitijih debljina i gramatura, materijal za pakovanje sa hrapavom površinom i sl. (Kipphan, 2001).

Štamparske forme za flekso štampu se proizvode u asortimanu željenih tvrdoća i debljina, u zavisnosti od primene. U načelu, ako podloga koja se štampa ima neujednačenu talasastu ili izražajno hrapavu strukturu površine, poželjno je koristiti štamparsku formu koja će biti dovoljno meka da omogući adekvatan prenos slike na podlogu, primenom malog pritiska koji neće dovesti do deformacije površine materijala koji se štampa (npr. štampanje na talasastom kartonu) (Page Crouch, 1998).

Aniloks sistem ubojavanja odnosno prenos boje na štamparsku formu putem raster valjka se može navesti kao karakteristika a ujedno i prednost flekso tehnike štampe. Da

flekso štamparska forma biva obojena direktno preko raster valjka čini ovaj sistem jednostavnim i jedinstvenim. Raster valjak, gravirani cilindar sa velikim brojem rasterskih ćelija ispunjenih bojom, ima zadatak da kontroliše količinu boje koja dolazi na štamparsku formu i biva prenešena na podlogu za štampu.

Na mekan, absorbujući papir, relativno velika količina boje će biti potrebna da se postigne adekvatan nanos boje. Kod neupojnog filma ili folije sva boja će ostati na površini i ovakvo nanošenje zahteva raster valjak sa manjim ćelijama tako da se relativno malo boje nanese na podlogu (Page Crouch, 1998). Sam oblik i veličina rasterskih ćelija zavisi od zahteva vrste štampanja. Poslednjih godina u samom sistemu obojavanja raster valjka došlo je do izmena. Jedinica boje sa potopljenim valjkom je prvobitni, jednostavniji i po ceni povoljniji sistem koji se danas veoma retko primenjuje. Dobro ubojavanje sa ovim sistemom bilo je samo uslovno moguće. Prilikom duže proizvodnje boja se prenosila više od potrebnog, što je dovodilo do zatvaranja međuprostora između raster tačaka na štamparskoj formi i do razmazivanja slike ili je, u suprotnom, prenos boje bio nedovoljan, štamparska forma nije bivala kompletno obojena, a rezultat toga su bila mesta sa greškom u štamparskoj slici (Kipphan, 2001). Iz ovih razloga, kao i sa porastom zahteva kvaliteta štampe, jedinice boje sa raster valjkom i zatvorenim kamel rakel sistemom danas su standard svih kvalitetnih flekso štamparskih mašina.

Još jedna od velikih prednosti flekso štamparskog procesa jesu i boje koje se koriste u procesu štampe. U procesu flekso štampe koriste se tečne boje koje se suše vrlo brzo, omogućavajući velike brzine proizvodnje. Kada se iskombinuje sa rasterskim ubojavanjem, proces je u mogućnosti da da izvrsnu postojanost kroz tok proizvodnje i dobru ponovljivost na ponovnim narudžbama istog posla. Flekso boje mogu biti na bazi organskog rastvarača, vode ili UV boje (Kipphan, 2001).

Takođe, mogućnost završne grafičke obrade u liniji je jedna od bitnih karakteristika flekso štamparskog procesa koji ga čini konkurentnim u odnosu na druge tehnike štampe. Proizvodnja kesa, kutija, povezivanje knjiga, voskiranje, lakiranje, laminiranje, savijanje, lepljenje, isecanje itd. se smatraju postupcima završne grafičke obrade. Koverta se prave iz rolni čistog papira, sečenjem, štampanjem, sklapanjem i slaganjem na gomilu, sve u jednoj proizvodnoj liniji. Ovo znači da mnoge od fleksografskih mašina čine deo završne grafičke obrade u liniji. Iste ove mašine su u mogućnosti da oblikuju široku paletu proizvoda, što nije slučaj sa ostalim vrstama štampe. Stoga je flekso štampanje postalo favorisan metod, jer je obrada u liniji produktivna (Page Crouch, 1998).

Prednosti flekso štampe nad drugim vrstama štamparskih postupaka su takođe i velika brzina štampe (od 300 m/min i više), veliki broj otisaka, čak do nekoliko miliona (Zelmer, 2006).

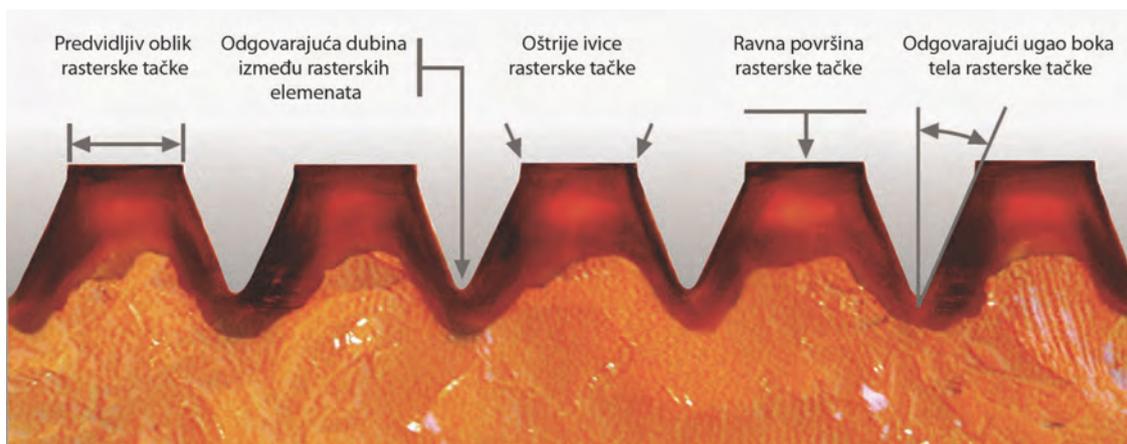
Zasluge za veliki napredak flekso štampe u protekle dve decenije imaju i brojne inovacije u ovoj sferi grafičke industrije, od kojih su najbitnije digitalne štamparske forme za flekso štampu i CtP sistemi za osvetljavanje, primena FM rastriranja, poboljšana tehnologija montaže štamparske forme na cilindre forme, sleeve tehnologija i novi sistemi upravljanja bojama.

Zahvaljujući svemu ovome flekso štampa je danas veoma bitan deo grafičke industrije, o kome vredi govoriti i u koji vredi ulagati.

Ako je reč o nedostacima flekso štamparskog procesa onda se tu na prvom mestu izdvaja visoka cena flekso štamparskih formi, pogotovo kada je reč o CtP tehnologiji izrade, kao i veliki porast tonskih vrednosti na otisku. CtP tehnologija omogućila je veliku preciznost izrade flekso štamparske forme te mogućnost primene različitih vrsta rastriranja (AM - klasičan raster, hibridni ili FM raster). U poređenju sa kvalitetom izrade štamparske forme i posledično širokim mogućnostima u pogledu kvaliteta kranjeg otiska, troškovi investiranja u nove tehnološke CtP sisteme su svakako opravdani. Investiranje u CtP tehnologiju je neosporno opravdano s obzirom da omogućava ponovljivost, visoku preciznost izrade, štampu poslova visoke linijature (i do 70 l/cm). Kompatibilnost raster valjka, odnosno linijature raster valjka i njegovih dimenzija shodno poslu koji se štampa je svako jedan od ograničavajućih faktora. Njihova visoka cena može se smatrati jednom od mana flekso štamparskog postupka. Uskotračni 25 cm raster valjak košta prosečno 700 – 1800 \$, a valjak od 100 cm dužine može koštati od 4000 do 7000 \$ (FlintGroup, 2002). U slučaju jako velikih mašina za štampu talasastog kartona, cena raster valjka dostiže 8000- 20.000\$ (FlintGroup, 2002). Takođe, promenljivo ponavljanje kao definitivna prednost flekso štampe, takođe je i jednim delom nedostatak s obzirom na potrebu postojanja zaliha cilindara kako bi se pokrio širok spektar poslova. No, svakako da su navedeni nedostaci rešivi ograničenjem asortimana proizvodnje na razuman i prihvatljiv nivo, te primena sleeve tehnologije izrade cilindara kao jednog od rešenja.

Shodno rapidnom razvoju novih tehnologija, neophodno je razviti savremeni pristup flekso štamparskom procesu koji podrazumeva potpuno razumevanje i kontrolu svakog elementa i faze procesa. To podrazumeva ne samo kontrolu otiska i procesa štampe već svih prethodnih faza i varijabli u okviru njih počevši od kontrole ulaznog materijala pa sve do završne kontrole gotovog proizvoda.

Ispitivanja na flekso štamparskim formama obuhvataju ispitivanja koja se odnose na pojedinačni rasterski element: tačnost reprodukcije tonskih vrednosti, oštine reprodukcije rasterskog elementa, odnosno rasterske tačke, oblika tačke, ugla boka tela tačke, međudubina rasterskih elemenata, površine reprodukovane rasterske tačke (slika 2.2).



Slika 2.2: Šematski prikaz elemenata kontrole pojedinačnog rasterskog elementa

Pored kontrole pojedinačnog rasterskog elementa, ispitivanja flekso štamparskih formi obuhvataju i ispitivanja dubine reprodukovanog reljefa, oštine reprodukcije linijskih elemenata, kako u pozitivu tako i u negativu, mogućnosti reprodukcije linijskog elementa najmanje širine te reprodukciju tekstualnih elemenata (u pozitivu i negativu) te definisanje najmanje veličine tipografskog znaka koji može biti jasno reprodukovan na formi i kasnije prenet na podlogu za štampu. U pogledu ispitivanja površinskih karakteristika, ispitivanja se odnose na definisanje površinske hrapavosti i kontaktnog ugla tečnosti na površini flekso štamparske forme, te hemijskog sastava površinske strukture. Takođe, interakcija štamparske forme u korelaciji sa otiskom, raster valjkom i primenjenim pritiskom tokom štampe predstavljaju predmet istraživanja većeg broja istraživača u svetu.

Pa tako u istraživanju sprovedenom od strane Johnson et al. (2008) vršena su ispitivanja površinske hrapavosti punog tona i tonskih vrednosti od 30%, 50% i 70% (pri linijaturi raster od 28 l/cm) beskontaktnom metodom (MicroProf Chromatic Aberration Sensor) na digitalnoj štamparskoj formi Nyloflex FAHD-II (Flint Group, Nemačka) debljine 1.70 mm i tvrdoće 69° Shore A. Srednje aritmetičko odstupanje profila korišteno je kao mera mikrohrapavosti na površini rasterskih tačaka i polja punog tona. Pri tome, ispitivani uzorci bili su varirani u vremenu naknadnog UVA i UVC osvetljavanja, u odnosu na nominalni uzorak (dvostruko vreme UVA osvetljavanja i trostruko vreme UVC osvetljavanja). Određeni uzorci bili su podvrgnuti ubrzanom starenju (naizmeničnom dejstvu UV zračenja i vlage). Rezultati su pokazali da je najmanja vrednost mikrohrapavosti zabeležena za uzorke koji su vremenski najduže bili izloženi ubrzanom starenju, dok su najveće vrednosti mikrohrapavosti zabeležene kod uzoraka koji su vremenski najkraće bili izloženi ubrzanom starenju i koji su bili najduže osvetljavani sa UVC svetlom. Ostali uzorci su imali mikrohrapavost sličnu nominalnom uzorku (uzorku koji nije bio podvrgnut starenju i osvetljen je prema standardnim preporukama). Time je pokazano da duže vreme naknadnog UVC

osvetljavanja direktno utiče na povećanje mikrohrapavosti na flekso štamparskoj formi, odnosno na formiranje mikropukotina u površinskoj strukturi polimera.

U radu autora Dedijer i Novaković (2010) pokazan je uticaj vremena glavnog osvetljavanja (različita vremenska izloženost UVA zračenju tokom glavnog osvetljavanja) na promenu hrapavosti površine flekso štamparske forme. Istraživanjem su bile obuhvaćene dve vrste digitalnih štamparskih formi: štamparska forma koja se razvija termalnim postupkom i štamparska forma koja se razvija u prisustvu organskog razvijaa. Istraživanje je pokazalo da su zabeležene manje promene u površinskoj hrapavosti sa promenom vremena glavnog osvetljavanja, odnosno izloženosti UVA zračenju, u slučaju štamparske forme koja se razvija termalnim postupkom. Duža izloženost UVA zračenju rezultovala je većom vrednosti hrapavosti površine u slučaju štamparske forme koja se razvija u prisustvu organskog razvijaa, gledano preko parametra R_a . Takođe, istraživanje je pokazalo da štamparska forma namenjena termalnom razvijanju pokazuje veće vrednosti hrapavosti, nezavisno od vremena glavnog osvetljavanja. Time je pokazano da promene u vremenu glavnog osvetljavanja će izazvati promene u mikrostrukturi flekso štamparske forme uz naznaku da se može očekivati manji uticaj na štamparske forme koje se podvrgavaju termalnom postupku razvijanja, što se može objasniti fotopolimernom kompozicijom i posledično brzinom procesa polimerizacije kao i specifičnim fazama procesne obrade.

Kada je reč o površinskoj hrapavosti digitalnih flekso štamparskih formi koje se razvijaju termalnim postupkom, pokazano je da ekscesivno izlaganje UVA zračenju u toku glavnog osvetljavanja utiče na smanjanje površinske hrapavosti (vrednost površinske hrapavosti opala je za 20.97%, odnosno 23.27% pri povećanju vremena glavnog osvetljavanja za 3 puta (10 i 30 minuta)) (Choi i O'Brate, 2010). Takođe, pokazano je da u slučaju termalnog postupka razvijanja na površinsku hrapavost utiče i temperatura toplotnog zračenja pri razvijanju gde povećanje temperature s jedne strane smanjuje površinsku hrapavost ali isto tako omogućava nastajanje dubljeg reljefa omogućavajući bolje omekšavanje i topljenje neosvetljenog polimera i samim tim njegovo lakše uklanjanje sa mesta budućih neštampajućih elemenata (Choi i O'Brate, 2010).

Da na površinsku hrapavost flekso štamparskih formi veliki uticaj ima i površinska struktura tkanine koja se koristi u procesu uklanjanja neosvetljenog polimera pokazalo je istraživanje sprovedeno od strane Choi i O'Brate (2010). Tkanina koju čine grublja vlakna i koja ima izraženiju strukturu površine utiče da se u procesu razvijanja data struktura preslika na površinu punog tona flekso štamparske forme u vidu mikroneravnina koje kasnije rezultuju nejednakim i smanjenim prenosom boje na polju punog tona na otisak dovodeći do neujednačeno odštampane površine punog tona. Stoga je utvrđeno da se temperatura toplotnog zračenja, vreme glavnog osvetljavanja, tip tkanine i vrsta fotopolimerne kompozicije izdvajaju kao četiri najvažnija uticajna parametra na konačnu hrapavost površine štampajućeg elemenata u slučaju termalnog

procesa razvijanja. Neophodno je naglasiti da niži porast u površinskoj hrapavosti može pozitivno uticati na prenos boje na podlogu za štampu i stoga povećanje optičke gustine, ekscesivna povećanja u površinskoj hrapavosti rezultovaće lošijim prenosom boje na podlogu za štampu (Choi i O'Brate, 2010).

Da i uslovi merenja površinske hrapavosti flekso štamparskih formi, te podešavanja mernog uređaja i obrada izmerenih vrednosti mikrostrukture štampajućih elemenata može značajno uticati na vrednosti izmerenih parametara hrapavosti i tumačenje istih u slučaju kontaktne profilometrijske metode pokazalo se u radu sprovedenom od strane Dedijer et al (2010). Osnovni cilj ovog istraživanja je bio utvrditi zavisnost vrednosti parametara hrapavosti punog tona u odnosu na merne uslove i obradu izmerenih podataka. Sprovedena merenja su pokazala da veće vrednosti dužine merenja uzorka rezultuju većim vrednostima svakog od analiziranih amplitudnih parametara, nezavisno od profilnog filtera. Takođe, sa profilnim filterom DC zabeležene su najveće vrednosti parametara hrapavosti Ra, Rq, Rp i Rz, za sve tri dužine merenja uzorka. Dato istraživanje ukazuje da različite merne metode, kao i različita podešavanja samog uređaja u okviru jedne metode mogu rezultovati različitim vrednostima mikrohrapavosti merene površine flekso štamparske forme što može dovesti do pogrešnih zaključaka ako se prilikom poređenja različitih merenja istih površina ne uzmu u obzir i merni uslovi.

Kako izloženost ekscesivnom UVA zračenju i dejstvu vlage utiče na promenu hemijske strukture površine pokazano je u istraživanju sprovedenom od strane Johnson et al. (2008). Analiza hemijske strukture površine polimera vršena je ECSA analizom (Electron Spectroscopy for Chemical Analysis - Elektronska spektroskopija za hemijske analize) koja daje kvantitativne podatke kako o elementarnom sastavu posmatrane površine tako i o prisustvu različitih funkcionalnih grupa hemijskih veza, oksidacionog stanja i sl. Na uzorcima je detektovano prisustvo svih hemijskih elemenata kao što su C, O, N, Si, Na i S izuzev vodonika i helijuma. Na uzorcima koji su bili izloženi ubrzanom starenju (izloženost UVA zračenju i dejstvu vlage) detektovano je prisustvo veće količine kiseonika i azota nego na uzorcima koji nisu bili izloženi datom tretmanu. Za iste uzorke određene su vrednosti površinske energije. Rezultati su pokazali da niže vrednosti površinske energije, sličnije vrednosti uzorku koji nije bio izložen ubrzanom starenju, imaju uzorci koji su bili kraći vremenski period izloženi ubrzanom starenju. Dati rezultati nisu bili očekivani s obzirom da je ECSA analiza pokazala da je površina više oksidirala što je uzorak bio vremenski duže izložen ubrzanom starenju. Kao posledica ovog rezultata autori su naveli da usled izloženosti ubrzanom starenju, prljavština sa površine posmatranih uzoraka nije bila uklonjena sem u slučaju uzorka koji je bio najduže isložen dejstvu UV zračenja i vlage.

Istraživanje sprovedeno od strane Johnson et al. (2008) pokazalo je da duža izloženost flekso štamparskih formi UV zračenju također dovodi i do povećanja tvrdoće flekso štamparske forme. Naime, povećanje UVA zračenja rezultuje većom disperzijom

svetlosti i samim tim dovodi do većeg umrežavanja polimera i povećanja molekularne mase uzrokujući očvršćavanje i povećanje tvrdoće.

Ispitivanja uzoraka koji su bili izloženi ubrzanom starenju (Johnson et al., 2008), a samim tim i dejstvu UVA zračenja, pokazala su negativan uticaj UVA zračenja na rasterske elemente, odnosno rasterske tačke, smanjujući njihovu površinu, neovisno od posmatrane tonske vrednosti. Dati efekat je u literaturi poznat kao inhibicija kiseonikom (St. Clair et al., 2007, Schueneman i Obispo, 2009). S jedne strane, ovaj efekat se može smatrati pozitivnim s obzirom da rezultuje manjim i oštrijim rasterskim elementima. Ipak, istraživanja su pokazala da preveliko dejstvo UVA zračenja u krajnjoj liniji mogu dovesti do krтости i krutosti materijala niske osetljivosti (Seymour and Carraher, 1992) što posledično može dovesti do formiranja mikropukotina na površini štamparske forme i smanjenja tela rasterskog elementa (Johnson, 2008). U radu Johnson et al. Pokazano je takođe da duža izloženost UVC zracima dovodi do povećanja površine rasterskog elementa.

Deformacije štampajućih elemenata nastaju i u toku procesa štampe i to u zoni kontakta štamparske forme i raster valjka kao i u liniji kontakta štamparske forme i pritiskog cilindra. Kako je navedeno u radu Johnson et al. (2008), istraživanja koja su sprovedena od strane Bould et al. (2007) pokazala su kako pritisak u zoni kontakta između štamparske forme i raster valjka pri prenosu štamparske boje na štampajuće elemente utiče na njihovu deformaciju. Pomenuti autori razvili su numerički model za opisivanje pojava u zoni kontakta između aniloks valjka i štamparske forme. Dati model opisuje način na koji dolazi do deformacija rasterskog elementa u odnosu na njegov položaj prema ćelijama na raster valjku u zoni kontakta. Pokazano je da je deformacija rasterskog elementa uzrokovana položajem raster ćelije aniloks valjka najveća kada je raster ćelija centrirana direktno iznad ivice površine rasterske tačke.

U radu autora Novaković et al. (2010) pokazano je kako adekvatno definisanje vremena trajanja procesnih faza izrade termalne CtP flekso štamparske forme može doprineti podizanju procesa izrade flekso forme na viši nivo. Sprovedno istraživanje je pokazalo da je moguće redukovati vreme izrade primenom termalnog procesa razvijanja a da se pri tome obezbedi izrada štamparske forme visokog kvaliteta. SEM analiza mikroskopskih snimaka potvrdila je da je moguća reprodukcija tonskih vrednosti u opsegu od 1% do 98% sa jasno definisanim, oštirim štampajućim elementima.

Jedno od ispitivanja koja se vezuju za osobine štamparske forme, a u korelaciji su sa otiskom prikazano je u radu Johnson et al. (2003) gde je praćena optička gustina punog tona i polja tonske vrednosti od 50% (linijatura raster a 28 l/cm) i porast tonskih vrednosti. Ispitivanje je sprovedeno sa dve konvencionalne jednoslojne fotopolimerne štamparske forme, označene kao "meka" štamparska forma (ACE (FlintGroup, Germany) debljine 1.14 mm i tvrdoće 64°Sh A (prema DIN 53505)) i "tvrda" štamparska forma (NOW (DuPont Cyrel, Germany) debljine 1.14 mm, i tvrdoće 75° Sh A. Štampanje

vršena na petoslojnom neoslojenom kartonu, varirana je brzina štampe i pritisak prilikom otiskivanja (brzine štampe - 50, 100 and 150 m/min i pritisak –promene u pritisku definisane su preko promene u odstojanju spregnutih elemenata (cilindara) - 100, 200 i 300 μm). Istraživanje je pokazalo da mekša štamparska forma rezultuje u većoj vrednosti optičke gustine mereno na polju punog tona što je objašnjeno činjenicom da mekša štamparska forma poseduje veću fleksibilnost korespondirajući bolje sa podlogom koja se štampa i time omogućava prenos veće količine boje na podlogu. Merenja optičke gustine na polju tonske vrednosti od 50% pokazala su suprotno: veća optička gustina zabeležena je u slučaju štampe sa tvrdom štamparskom formom što je objašnjeno većim porastom tonskih vrednosti u slučaju tvrde štamparske forme. Da veća tvrdoća štamparske forme uzrokuje veći porast tonskih vrednosti pokazano je i istraživanjem sprovedenim od strane Girarda Leloupa (2002). Nadalje, istraživanje je pokazalo da povećanje brzine štampe dovodi do nižih vrednosti optičke gustine kao i manjeg porasta tonskih vrednosti u slučaju štampe sa obe štamparske forme. Kako je navedeno u radu Johnson et al. (2003), istraživanje sprovedeno od strane Megat Ahmed et al. (1997) je pokazalo da pored brzine štampe na porast tonskih vrednosti utiče debljina filma boje, odnosno zapremina raster ćelija korištenog raster valjka, viskozitet boje i pritisak u štampi na način da veći porast tonskih vrednosti se može očekivati u slučaju štampe sa većim pritiskom i većim nanosom boje, dok niža vrednost viskoziteta boje utiče na smanjenje tonskih vrednosti. Johnson et al. (2003) su također pokazali da sa porastom pritiska u štampi dolazi do povećanja tonskih vrednosti, nezavisno da li se štampa sa mekšom ili tvrdom štamparskom formom sa naznakom da u slučaju tvrde štamparske forme je zabeležen veći porast tonskih vrednosti.

U pogledu mikrohrapavosti površine i njenog uticaja na prenos tonskih vrednosti na otisak vršena su istraživanja na štamparskim formama gde je alternacija u površinskoj strukturi izazvana izlaganjem štamparske forme različitim vrednostima trajanja naknadnog UVC zračenja i različitim vremenima dejstva UVA zračenja i vlage u komori namenjenoj simulaciji ubrzanog starenja materijala (Johnson et al., 2008). Rezultati istraživanja su pokazali da veća mikrohrapavost površine štamparske forme rezultuje većim vrednostima optičke gustine merenog tonskog polja na otisku. Istraživanje je također pokazalo da što je veća vrednost merenog tonskog polja to su beležene i veće vrednosti optičke gustine (Johnson et al., 2008).

U pogledu promene vrednosti kontaktnog ugla boje na štamparskoj formi u radu Dedijer et al. (2011), pokazano je da se kontaktni ugao boje smanjuje sa povećanjem viskoziteta boje doprinoseći boljem vlaženju.

Shodno predstavljenim rezultatima istraživanja može se zaključiti da promene u procesnim parametrima izrade fleksio štamparske forme, te promene u mikrohrapavosti, površinskoj energiji u korelaciji sa kontaktnim uglom i promene u tvrdoći štamparske forme značajno utiču na prenos tonskih vrednosti na otisak imajući time direktan uticaj na krajnji kvalitet odštampanog uzorka. Rezultati predstavljenih istraživanja ukazuju na

visok nivo značajnosti poznavanja i razumevanja pravilnog rukovanja te izrade flekso štamparskih formi s ciljem podizanja kvaliteta štampe i dobijenog otiska na viši nivo.

2.1.1. Digitalne flekso štamparske forme

U protekle dve decenije može se govoriti o istinskoj revoluciji u oblasti proizvodnje flekso štamparskih formi. Od ručno sečene i oblikovane gumene štamparske forme, čija izrada je bila vremenski zahtevna i neprecizna, danas standard u oblasti flekso štamparskih formi predstavljaju čvrste fotopolimerne štamparske forme, dimenziono stabilne sa mogućnošću ponovljive i konstantne izrade. Tehnologija koja je usvojena iz domena ofset i duboke štampe omogućava izradu flekso štamparskih formi velikog formata (1200 x 900 mm), sa mogućnošću brzog i preciznog pozicioniranja na cilindar nosilac štamparske forme (sistemom igala ili preko mikro video registracionog sistema). Sa pojavom dimenziono stabilnih fotopolimernih kompozicija sa poliestarskom osnovom, uz primenu kompenzacije distorzije slike u okviru grafičke pripreme te mogućnošću oslikavanja velike površine digitalnim putem obezbeđen je predvidljiv i dosledan kvalitet izrade flekso štamparskih formi. Softverska rešenja, koja su primenljiva kako u tehnologiji koja uključuje upotrebu filma tako i direktnom oslikavanju štamparske forme (CtP tehnologija) i direktnom graviranju štamparske forme, omogućavaju primenu kompenzije porasta tonskih vrednosti te primenu različitih vrsta rastriranja i oblika rasterske tačke s ciljem dobijanja otiska visokog kvaliteta (DFTA, 2000, BarcoGraphic, 2002).

Danas su velikim delom u upotrebi jednodelne, čvrste, fotopolimerne štamparske forme namenjene CtP oslikavanju (DFTA, 2000, Liu i Guthrie 2003).

Digitalna tehnologija je neminovno obuhvatila sve aspekte u oblasti grafičke industrije. Computer to Plate (CtP) tehnologija (od računara do ploče) je tehnologija koja je postala dominantna u oblasti ofset i duboke štampe, a sada je zastupljena i u oblasti izrade flekso štamparskih formi. CtP tehnologija predstavlja postupak direktnog, kompjuterski kontrolisanog osvetljavanja, odnosno oslikavanja štamparske forme koja eliminiše deo procesa koji se odnosi na izradu filma (osvetljavanje i razvijanje filma). CtP postupak izrade štamparskih formi rezultat je upotrebe štamparskih formi koje su prilagođene laserskom oslikavanju, razvoja laserske tehnologije, fotopolimernih materijala, hemije i stonog izdavaštva (Gemeinhardt, 2001, Kipphan, 2001, Holland, 2002). Ono što se sa sigurnošću može tvrditi je da CtP tehnologija olakšava proces štampe jer daje bolju reprodukciju tonskih vrednosti na štamparskim formama, omogućava veći nivo automatizacije izrade štampajućih elemenata, pozicioniranja štamparske forme i oslikavanja.

Ova tehnologija u oblasti ofset štampe zasigurno omogućava bržu izradu štamparskih formi, smanjuje troškove, izostavljajući tradicionalne korake u grafičkoj pripremi (Adams i Romano, 1996). Istraživanja su pokazala: operacije u proizvodnji, primenom CtP tehnologije, smanjuju troškove za 50%, u poređenju sa CtF tehnologijom, i da je

primenom CtP tehnologije za povratak investicija pri ulaganju u ovaj sistem potrebno manje od godinu dana (Baker, 1997).

Međutim, u okviru flekso industrije, digitalna tehnologija direktnog oslikavanja štamparske forme nije bila u tolikoj meri inicijalno prihvaćena s obzirom da nisu velike uštede u ekonomskom i vremenskom smislu u poređenju sa konvencionalnim postupkom koji podrazumeva upotrebu filma (Gilbert i Leej, 2008). Do 2005. godine samo 20% flekso štamparija širom sveta usvojila je digitalni sistem oslikavanja štamparskih formi (Vanover, 2005). Takođe, digitalne štamparske forme su u poređenju sa konvencionalnim štamparskim formama dosta skuplje (Hersey, 2006). Upravo su minimalna ušteda u vremenu izrade te visoka cena opreme i samih štamparskih formi dovela u pitanje uvođenje CtP tehnologije u okviru flekso štamparskog procesa koja nije obećavala povećanje produktivnosti niti smanjanje proizvodnih troškova (Hamilton, 2005). Ipak, unapređenje tehnoloških rešenja, smanjanje cene opreme i štamparskih formi te neminovna potreba za stabilnim, ponovljivim i unapređenim procesom i konstantna potreba za dobijanjem otiska takvog kvaliteta da može da parira otisku ofset ili duboke štampe dovela je do implementacije i prihvatanja CtP sistema u okviru flekso štampe.

Odsustvo negativ filma iz procesa izrade štamparske forme svakako čini izradu štamparske forme bržom jer eliminiše vreme potrebno za izadu filma, stoga, osim vremena za oslikavanje, nije potrebno vreme za montažu ili retuširanje filma (DFTA, 2000). Iako je prvim CtP sistemima za oslikavanje flekso štamparskih formi bilo potrebno 80 do 90 minuta da bi se oslikala štamparska forma sa zahtevnim rasterskim elementima dok je vreme koje je bilo potrebno za osvetljavanje iste štamparske forme konvencionalnim putem uz upotrebu filma bilo mnogo manje (Dalton, 2006), danas tehnološki razvoj CtP sistema je svakako omogućio brže i efikasnije oslikavanje štamparskih formi velikog formata. Pa tako, u zavisnosti od primenjenog optičkog sistema, oslikavanje štamparske forme formata 1200 x 900mm (2540 ppi, Optics 40 (4m²/h)) na osvetljivaču CDI Spark 4835 može biti gotovo za 16 minuta (EskoGraphic, 2012).

Neosporno je da stvarna prednost primene CtP sistema proizilazi iz poboljšanog kvaliteta samog otiska i širih mogućnosti koje se otvaraju primenom CtP tehnologije (oslikavanje velikih formata, primena različitih vrsta rastriranja kao i veće linijature rastera). Digitalno oslikavanje štamparske forme omogućava oštriju reprodukciju linijskih elemenata, otvorenije rasterske tačke i oštriju reprodukciju pojedinačnih rasterskih tačaka, širi spektar tonskih vrednosti i veći kontrast štampanog otiska (DFTA, 2000, Gilbert i Leej, 2008).

Istraživanje koje je sprovedeno od strane Gilberta i Leeja (2008) na otiscima dobijenim sa konvencioncionalnom i digitalnom flekso štamparskom formom iste debljine pokazalo je da je u slučaju digitalne flekso štamparske forme porast tonskih vrednosti

manji, postignut je veći kontrast na otisku (srednja vrednost za otiske sa konvencionalnom štamparskom formom – 42.6, srednja vrednost za otiske dobijene sa digitalnom štamparskom formom – 48.8) kao i širi opseg reprodukovanih tonskih vrednosti (srednja vrednost za otiske sa konvencionalnom štamparskom formom – 91.4%, srednja vrednost za otiske dobijene sa digitalnom štamparskom formom – 95.7%). Time je pokazano da otisci dobijeni sa digitalnom flekso štamparskom formom će imati bolju reprodukciju detalja u oblasti senke. Veći reprodukovani tonki opseg na otisku u slučaju štampe sa digitalnom flekso štamparskom formom omogućava reprodukciju rasterskih elemenata sa boljim kontrastom što dovodi do unapređenja kvaliteta dobijenog otiska.

Distorzija svetlosti, koja se javlja prilikom osvetljavanja fotopolimerne štamparske forme kroz negativ film, dovela je do promene dubine reljefa i spajanja rasterskih tačaka. U slučaju digitalne štamparske forme, sloj za lasersku obradu je još u toku izrade forme nanešen na fotopolimerni sloj usled čega se dobijaju precizno definisane, oštre rasterske tačke što za posledicu ima manji porast tonskih vrednosti u štampi, mogućnost upotrebu veće linijature rastera (do 200 lpi), reprodukciju oštrijih linija i manjih tačaka, a samim tim i reprodukciju šireg spektra tonskih vrednosti, jači kontrast slike i reprodukciju tonskih vrednosti od 1 - 99%, što je u slučaju konvencionalnih štamparskih formi bilo gotovo nemoguće (DFTA, 2000, Karstedt, 2002, Schueneman, 2009).

Upotrebom CtP tehnologije problemi koji su nastajali kao posledica upotrebe vakuuma prilikom osvetljavanja sa filmom, te problemi usled dimenzione promene filma, neadekvatno izrađenog filma u smislu nejednake optičke gustine ili ogrebotina na filmu su eliminisani čime se postiže precizan registar, a time se i kvalitet štampe dovodi na mnogo viši nivo (Schueneman, 2009). CtP sistem je zasigurno jedan od nepohodnih koraka ako se teži ponovljivim i standardizovanim uslovima izrade štamparske forme.

CtP flekso štamparske forme podvrgavaju se kasnijim istim procesnim fazama izrade kao i konvencionalne štamparske forme. S te tačke gledišta trebalo bi napomenuti da uprkos preciznosti digitalne tehnologije veliku važnost u krajnjem kvalitetu izrade CtP flekso štamparske forme imaju upravo naknadni konvencionalni koraci izrade. Izrada finih elemenata je jedino osigurana određivanjem tačnog vremena predosvetljavanja i vremena razvijanja u preliminarnom testu i razmatranja preporučenih vremena sušenja (ako je reč o procesu razvijanja u prisustvu razvijачa).

Jedan od bitnih faktora koje treba spomenuti je efekat kiseonika na formiranje štampajućih elemenata na CTP flekso štamparskoj formi. Naime, prisustvo kiseonika u toku osvetljavanja digitalne flekso ploče može dovesti do terminacije polimerizacije na način da onemogućuje funkciju fotoinicijatora ili da dovede do usporavanja radikalne polimerizacije (Schueneman i Obispo, 2009). Time je moguće proizvesti efekat smanjene rasterske tačke na štamparskoj formi što u ekstremnim slučajevima može

dovesti do toga da niske tonske vrednosti (1 – 10%) ne budu apsolutno reprodukovane. Ovaj problem nije postojao prilikom osvetljavanja konvencionalnih štamparskih formi s obzirom da se proces osvetljavanja odvija primenom vakuuma.

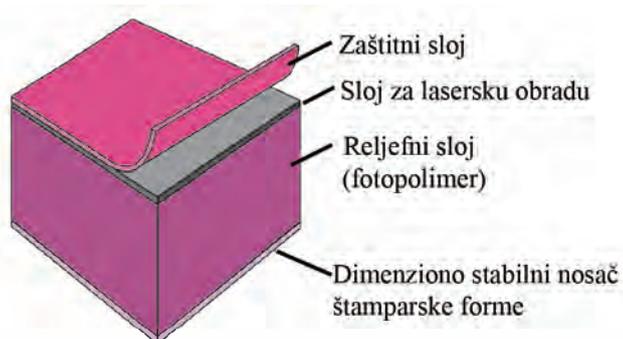
Delimična polimerizacija rasterske tačke utiče na formiranje boka tela rasterske tačke formirajući stepenast ugao boka, što se smatra poželjnim efektom (Hershey, 2010). S druge strane, delimična polimerizacija rezultuje da površina rasterske tačke nije ravna, već zaobljena, što može predstavljati prepreku prilikom štampe podloga sa izražajnom strukturom površine, odnosno podloga koje imaju talasastu strukturu površine kao što je talasasta lepenka, što zahteva primenu većeg pritiska prilikom štampe i time rezultuje neujednačenim, tamijim otiskom u odnosu na pravac prostiranja talasa (fluting efekat) i porastom tonskih vrednosti (Hershey, 2010). Efekat kiseonika može biti eliminisan primenom UVA lampi visokog intenziteta čime se ubrzava proces polimerizacije i omogućava brzo površinsko očvršćavanje čime se onemogućava dejstvovanje kiseonika sa neosvetljenim polimernim slojem (Dupont Cyrel, 2012, Flint Group, 2012). Kao drugo rešenje problema ponudila je kompanija MacDermid kroz svoj takozvani LUX sistem izrade flekso štamparskih formi koji podrazumeva laminaciju tankog membranskog filma na površinu štamparske forme nakon ablacije koja sprečava dejstvo kiseonika sa fotopolimerom (budućim štampajućim površinama) u toku glavnog osvetljavanja (UVA) omogućavajući formiranje rasterske tačke potpuno ravne površine (Hershey, 2010). Prednosti ovog sistema su širi opseg boja koji se može reprodukovati, oštrija reprodukcija detalja, veći kontrast slike, eliminisanje fluting efekta, duži životni vek štamparske forme, veće dubine između štampajućih elemenata, ravna površina rasterske tačke odgovarajućeg ugla tela tačke, oštre ivice rasterske tačke. Slična tehnološka rešenja ponuđena su od strane kompanije Kodak (FLEXCEL NX) i DuPont (DigiCorr) (Hershey, 2010) .

2.1.1.1. Postupak izrade digitalne flekso štamparske forme

Konzistentnost u izradi flekso štamparskih formi istaknuta je od strane mnogobrojnih autora kao ključni faktor za dobijanje štamparske forme odgovarajućeg kvaliteta koja će obezbediti adekvatan otisak (Johnson, 2008). Adekvatno proceiranje štamparske forme, čišćenje i čuvanje se navode kao ključni elementi za postizanje i održavanje kvaliteta štampe zavidnog nivoa. Znanja o uticaju dnevne svetlosti, UV zračenja, temperature, vlage, sredstva za pranje štamparskih formi i elektriciteta na samu štamparsku formu su od velikog značaja (Seckel, 2003). Pa tako prilikom pranja štamparskih formi koje će se upotrebljavati ponovno bitno je adekvatno sprovesti dati proces, upotrebom odgovarajućeg sredstva, jer u suprotnom može doći do skupljanja štamparske forme, formiranja pukotina i otvrdnjavanja (Johnson, 2008). Koliko je važno poznavanje uticaja faktora okoline kao i načina rukovanja na štamparsku formu, isto toliko, ako ne i mnogo značajnije jeste poznavanje procesnih koraka u izradi jedne štamparske forme s obzirom da upravo njihovo adekvatno sprovođenje rezultuje flekso štamparskom formom koja će u procesu štampe ostvariti postavljene zahteve u pogledu kvaliteta štampe. Stoga su u

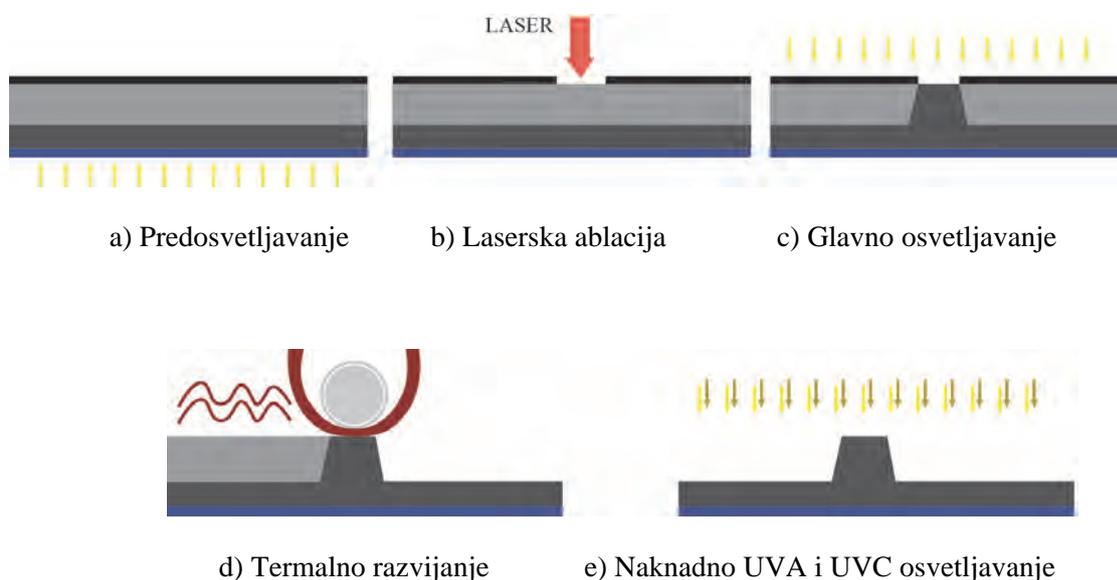
okviru ovog poglavlja objašnjeni procesni koraci izrade digitalnih flekso štamparskih formi i akcentovani bitni elementi u okviru svakog od njih.

Struktura čvrste, jednoslojne CTP flekso štamparske forme predstavljena je na slici 2.3. Čine je zaštitni sloj odnosno zaštitna folija, potom sloj za lasersku obradu (crni ablativni sloj ili crna maska), sloj fotopolimera (reljefni sloj) i noseći sloj odnosno dimenziono stabilni nosač štamparske forme.



Slika 2.3: Šematski prikaz strukture digitalne (CtP) flekso štamparske forme

Postupak izrade digitalne (CtP) flekso štamparske forme sastoji se iz niza sukcesivnih, međusobno zavisnih koraka koji zavise od toga da li je reč o digitalnoj štamparskoj formi koja se razvija termalnom postupkom ili je pak u pitanju postupak razvijanja štamparske forme primenom organskog rastvarača (najčešće na bazi organskih alkohola).

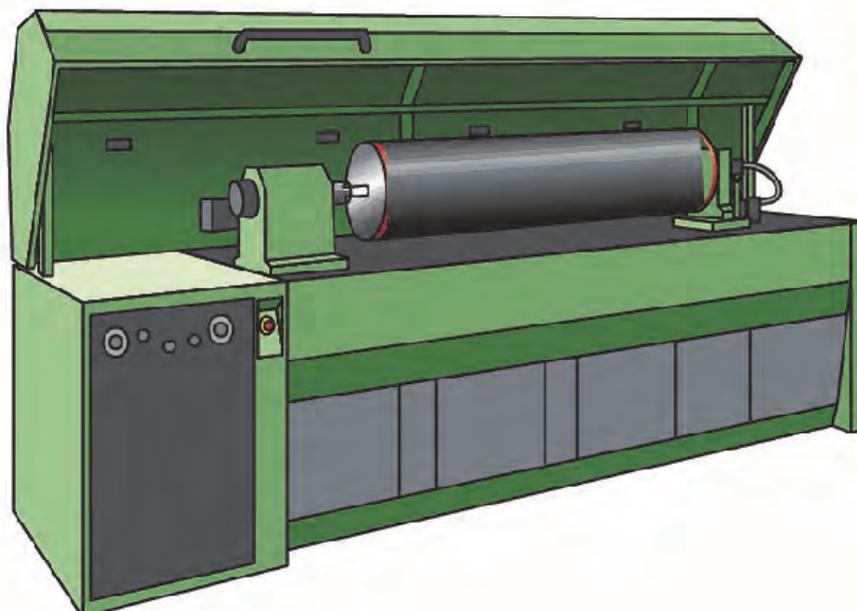


Slika 2.4: Šematski prikaz faza izrade digitalne (CtP) flekso štamparske forme koja se razvija termalnim postupkom

Ako je reč o CtP štamparskoj formi koja se razvija termalnim postupkom onda su faze u njoj izradi sledeće: predosvetljavanje, lasersko oslikavanje, glavno osvetljavanje, razvijanje i naknadno osvetljavanje (UVA i UVC) (slika 2.4.).

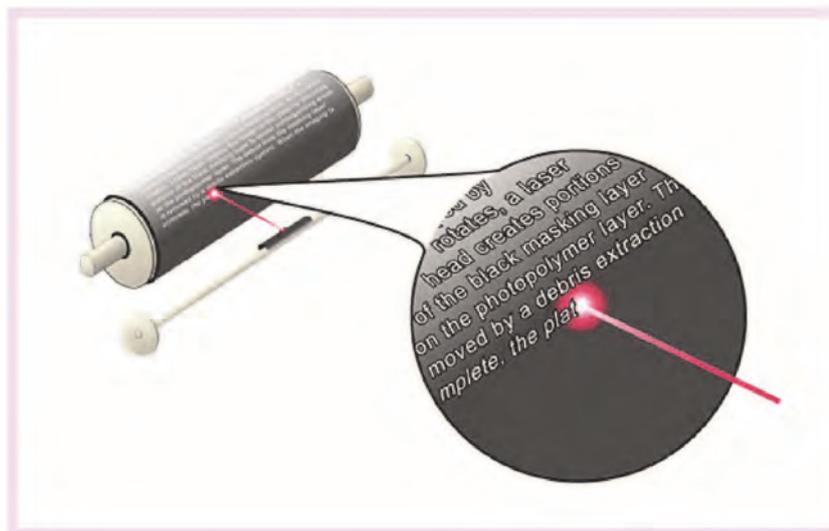
U fazi predosvetljavanja vrši se osvetljavanje štamparske forme kroz poliestarsku noseću foliju izlaganjem dejstvu UVA zračenja u odgovarajućem vremenskom intervalu što za cilj ima formiranje dubine reljefa umrežavanjem osnove forme. Osvetljavanje se vrši u uređajima namenjenim datom postupku koji su opremljeni UVA lampama (365 nm) odgovarajućeg intenziteta gde se definisanje vremena osvetljavanja vrši preko digitalnog displeja uređaja.

Lasersko oslikavanje, odnosno otklanjanje ablacionog sloja, takozvane crne maske, laserom odgovarajućeg intenziteta sa mesta budućih štampajućih elemenata sa štamparske forme sledi po uklanjanju zaštitne folije i vrši se sa gornje strane štamparske forme. Uređaj za oslikavanje digitalnih fotopolimernih formi povezan je sa računarom od koga se preuzimaju podaci u digitalnoj formi o sadržaju koji treba biti prenet na štamparsku formu. Prilikom oslikavanja, štamparska forma se montira po spoljašnjem obodu cilindra CtP uređaja gde je posredstvom vakuuma obezbeđeno čvrsto i precizno pozicioniranje štamparske forme (slika 2.5).



Slika 2.5: Šematski prikaz CtP uređaja za oslikavanje digitalnih fleksa štamparskih formi

U toku procesa osvetljavanja cilindar, sa fotopolimernom štamparskom formom na sebi, se okreće dok laserski zrak (Nd YAG ili fiber lasera) ablacijom uklanja sloj za lasersku obradu i to na onim mestima koja odgovaraju budućim štampajućim elementima (slika 2.6).



Slika 2.6: Uklanjanje sloja za lasersku obradu sa površine CtP flekso štamparske forme

Nakon digitalnog oslikavanja sledi termalno razvijanje, gdje se vrši uklanjanje neosvetljenog dela štamparske forme, a potom sledi naknadno UVA i UVC osvetljavanje s ciljem otklanjanja lepljivosti površine i potpunog umrežavanja polimera.

Termalna tehnologija izrade flekso štamparskih formi, odnosno termalni postupak razvijanja fotopolimerne štamparske forme predstavlja jednu od najmlađih tehnologija u oblasti fleksografije. Osnovna prednost pomenute tehnologije ogleda se u samom termalnom postupku razvijanja štamparskih formi koji je isključivo zasnovan na mehaničkom postupku te tako omogućava eliminaciju faze ispiranja i sušenja doprinoseći time većoj produktivnosti. Pokazano je da uvođenje termalnog sistema za razvijanje smanjuje vreme dobijanja gotovih flekso formi gotovo 5 puta (Cyrel DuPont, 2008b).

Fotopolimerna štamparska forma, koja je predhodno prošla fazu predosvetljavanja, oslikavanja i glavnog osvetljavanja, postavlja se u uređaj za termalno razvijanje na cilindar nosilac štamparske forme. Ovaj cilindar na sebi ima sloj kompresibilne podloge koja je lepljiva, što omogućava da se fotopolimerna štamparska forma u toku procesa razvijanja ne pomera i čvrsto leži na cilindru. Cilindar nosilac štamparske forme se tokom procesa razvijanja hladi vodom, da ne bi došlo do njegovog pregrevanja i pregrevanja same fotopolimerne forme. Štamparska forma se najpre tretira dejstvom IR (infracrvenog) zračenja, čiji je zadatak da fotopolimer, neosvetljen u toku procesa glavnog osvetljavanja, zagreje i omekša. Neosvetljeni polimer se sa površine forme uklanja u zoni kontakta između cilindra nosioca štamparske forme i cilindra nosioca tkanine na koju se prenosi neosvetljeni polimer. U zavisnosti od dubine reljefa i debljine štamparske forme, u toku 10-12 obrtaja se izvrši potpuno uklanjanje neosvetljenog polimera (slika 2.7.) (Cyrel DuPont, 2008b). U okviru termalog procesa

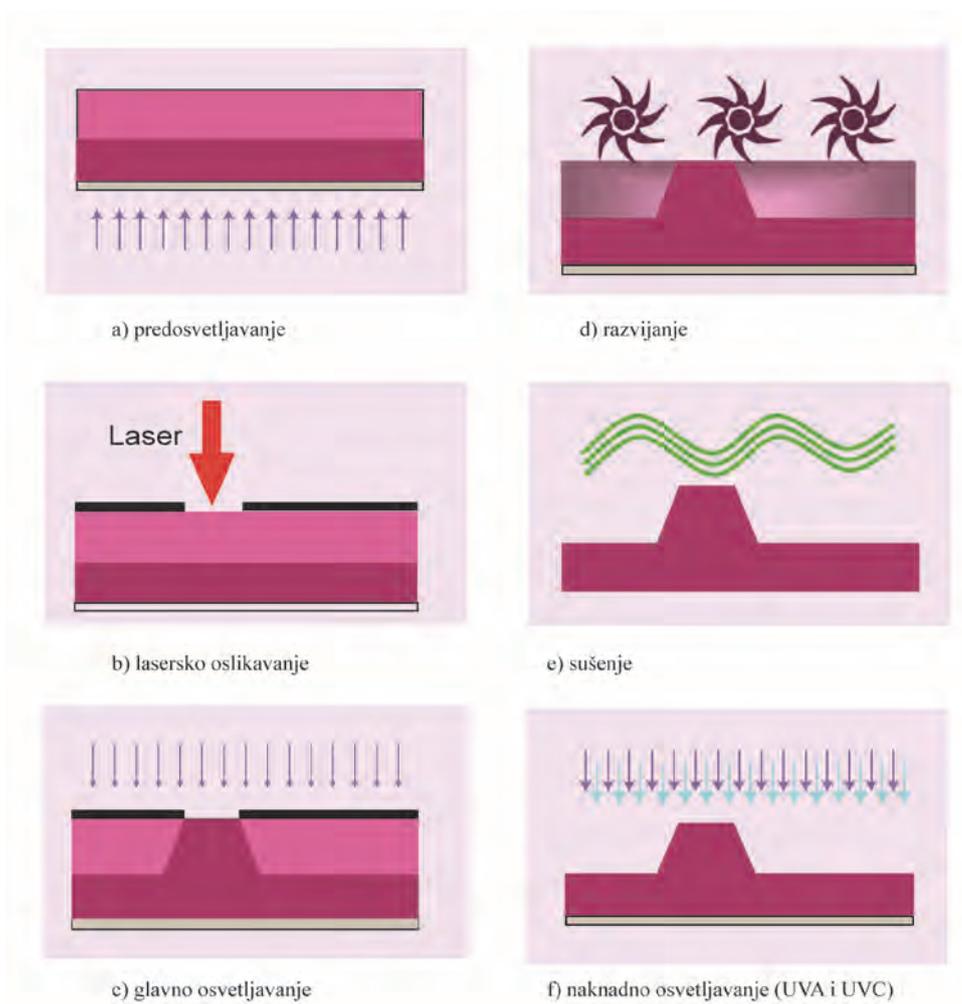
razvijanja, neosvetljeni fotopolimer se izlaže dejstvu toplotnog zračenja teperature ne manje od 70° C. Temperatura zračenja zavisna je od same fotopolimerne kompozicije, tačnije od temperature topljenja neosvetljenog fotopolimera i temperature topljenja osvetljenog fotopolimera (Choi i O'Brate, 2010). Temperatura toplotnog zračenja se najčešće definiše tako da bude između donje granice topljenja neosvetljenog fotopolimera i gornje granice topljenja osvetljenog fotopolimera što treba da omogući adekvatno omekšavanje i topljenje te potom uklanjanje neosvetljenog fotopolimera a da pritom se ne utiče na formirane štampajuće elemente. Što je temperatura IR zračenja veća to je brži proces uklanjanja neosvetljenog fotopolimera uz naznaku da ne sme preći granicu topljenja osvetljenog fotopolimera što bi dovelo do degradacije štampajućih (osvetljenih) elemenata (Choi i O'Brate, 2010). Tkanina na koju se prenosi neosvetljeni polimer odlikuje se visokom absorbcionom moći te je to načešće tkani (ili netkani) materijal na bazi papirnih vlakana, pamuka ili polimernih vlakana. Površinska truktura tkanine zavisi od strukture samih vlakana (ravnih ili oblih vlakana). Tkanina koja ima ravnija vlakna pokazuje lošije uklanjanje neosvetljenog fotopolimera rezultujući plićim reljefom, dok s druge strane tkanina sa izraženijom strukturom površine i oblijim vlaknima utiče da krajnja dubina reljefa bude veća, ali s druge strane rezultuje većom površinskom hrapavosti štampajućih elemenata (Choi i O'Brate, 2010).

Termalni postupak razvijanja je specifičan postupak kod koga se razvijanje definiše brojem obrtaja cilindra na koji je montirana štamparska forma u procesu razvijanja. Broj obrtaja nije izražen u korelaciji sa vremenskom jedinicom iz razloga što brzina obrtanja samog cilindra je nepromjenljiva veličina i definisana od strane samog proizvođača, za jedan pun obrtaj cilindra potrebno je 1.12 min (Cyrel DuPont, 2008b).



Slika 2.7: Šematski prikaz principa termalnog razvijanja digitalne (CtP) fleksne štamparske forme

Faze u izradi digitalne (CtP) flekso štamparske forme koja se razvija konvencionalnim postupkom, odnosno u prisustvu organskog razvijaača su sledeće: predosvetljavanje, lasersko oslikavanje, glavno osvetljavanje, razvijanje (najčešće u organskom razvijaaču), sušenje i naknadno osvetljavanje (UVA i UVC) (slika 2.8). Sredstvo za razvijanje je najčešće mešavina alifatskih i cikličkih ugljikovodika i alkohola dugog lanca. Razvijanje je pomognuto dejstvom četki (sa tankim čekinjama najčešće izrađenim od plastičnih materijala) koje svojim kretnjama po površini forme mehaničkim dejstvom olakšavaju uklanjanje neosvetljinog polimera.

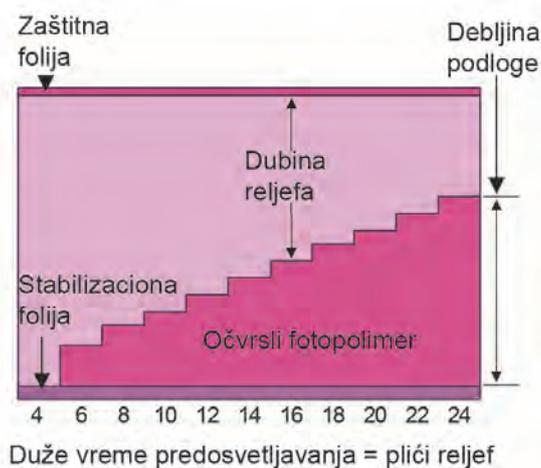


Slika 2.8: Šematski prikaz faza izrade digitalne (CtP) flekso štamparske forme koja se razvija u prisustvu organskog rastvarača

Kako se može videti, razlika između procesnih faza izrade štamparske forme sa termalnim postupkom razvijanja i štamparske forme koja se razvija u organskom rastvaraču je isključivo u procesu razvijanja i posledično zahtevanoj fazi sušenja. Nakon razvijanja neophodno je sušenje štamparske forme toplim vazduhom u odgovarajućem vremenskom intervalu kako bi se uklonio absorbovani razvijaač te postigla predviđena debljina i dimenziona stabilnost štamparske forme.

Ono što karakteriše postupak izrade jedne CtP flekso štamparske forme, nezavisno o postupku razvijanja, jeste serija testova koje treba sprovesti kako bi se utvrdilo adekvatno vremensko trajanje svake od faza a s ciljem adekvatne reprodukcije štamapajućih elemenata. Dati testovi podrazumevaju utvrđivanje vremena predosvetljavanja, glavnog osvetljavanja, naknadnog osvetljavanja i brzine razvijanja odnosno broja obrtaja prilikom razvijanja i utvrđivanja optimalnog vremena sušenja. Proizvođačka specifikacija za korištenu štamparsku formu predstavlja vodilju na osnovu koje se definišu potrebni vremenski okviri za sprovođenje serije pomenutih testova.

Prvi korak u obradi CtP fotopolimernih štamparskih formi za flekso štampu jeste osvetljavanje poleđine štamparske forme čime se definiše dubina reljefa i očvršćuje poleđina forme. Od dužine vremena osvetljavanja, zavisice dubina reljefa dobijene podloge - što je vreme trajanja predosvetljavanja duže, deblji sloj fotopolimera biva učvršćen čime se postiže plići reljef (slika 2.9). Adekvatno vreme predosvetljavanja garantuje buduću stabilnost stranica tačaka i adekvatno pripajanje gornjeg polimernog sloja za sloj fotopolimerne štamparske forme koji je predosvetljen (Meyer, 2000).



Slika 2.9: Šematski prikaz zavisnosti dubine reljefa od vremena trajanja predosvetljavanja

Debljina podloge, odnosno dubina reljefa se određuje testom predosvetljavanja i zavisi od osetljivosti izabranog fotopolimera, jačine korišćenih UV lampi i uređaja za osvetljavanje. Test ekspozicija se vrši na uzorku fotopolimerne štamparske forme koji se osvetljava test serijom različitih vremena trajanja predosvetljavanja, tako da se na istoj fotopolimernoj formi dobiju uzastopna polja sa različitim vremenima predosvetljavanja. Cilj testa je da se odredi najbolja dubina reljefa koja odgovara zahtevima štampe odgovarajućeg proizvoda. Rezultat testova predosvetljavanja se mora shvatiti kao pokušaj da se utvrdi adekvatno vreme predosvetljavanja. Dubina reljefa zavisi i od mnogobrojnih spoljašnjih faktora koji vladaju za vreme osvetljavanja kao

što su temperatura prostorije koja bitno utiče na fotoosetljivost polimerne štamparske forme, kao i refleksija svetlosti u samom uređaju za osvetljavanje (Meyer, 2000).

Dubina reljefa je najbitniji faktor od kog zavisi kvalitet kopiranja slike na štamparsku formu. Kopiranje finijih detalja zahteva plitak reljef tj. veliku debljinu podloge. Kvalitet otiska je takođe bolji kada je reljef na štamparskoj formi plitak, i jedini slučaj kada je poželjno da je reljef na štamparskoj formi dublji jeste kada se štampaju izuzetno jednostavni crteži. Poslovi visokog kvaliteta se uvek rade sa štamparskim formama plitkog reljefa (DFTA, 2000).

Glavno osvetljavanje je treća faza u procesu obrade digitalne fotopolimerne štamparske forme. Sledi nakon procesa laserskog oslikavanja štamparske forme odnosno nakon uklanjanja ablativnog sloja odnosno crne maske sa mesta budućih štampajućih elemenata. Od dužine trajanja glavnog osvetljavanja zavisi kakvo će biti pripajanje štamparskih elemenata za formiranu osnovu, kakav će biti ugao boka stranica štampajućih elemenata kao i formirane međudubine (DFTA, 2000).

Da bi se utvrdila odgovarajuća dužina trajanja glavnog osvetljavanja potrebno je uraditi testove glavnog osvetljavanja. Prilikom izvođenja testa, štamparska forma se osvetljava u više koraka sa različitom dužinom trajanja glavnog osvetljavanja. Nakon razvijanja i sušenja u slučaju razvijanja sa razvijlačem, te naknadnog UVA i UVC osvetljavanja vrši se analiza štamparske forme na način da se prati reprodukovana dubina reljefa te reprodukcija tonских vrednosti, linijskih i tekstualnih elemenata.

Za adekvatno vreme glavnog osvetljavanja usvaja se ono vreme pri kome su reprodukovane niske tonske vrednosti, sa stabilno formiranim rasterskim tačkama, te visoke tonske vrednosti kod kojih nije došlo do zatvaranja rastera. Reprodukcijski linijskih i tekstualnih elemenata treba biti takva da su elementi jasno i pravilno obrazovani i vezani za prethodno formiranu osnovu (DFTA, 2000).

Prilikom prekratkog vremena glavnog osvetljavanja na gornjoj površini forme, nakon ispiranja i sušenja, mogu se javiti neravne površine, tzv. "narandžina kora", koje su vidljive golim okom i koje mogu dovesti do problema u toku procesa štampe.

Nakon procesa glavnog osvetljavanja sledi proces razvijanja koji takođe treba biti adekvatno definisan. U slučaju termalnog razvijanja, broj obrtaja cilindra koji je dovoljan da se ukloni neosvetljeni polimer zavisiće od dubine reljefa koja se želi postići kao i od debljine štamparske forme. Deblja štamparska forma i dublji reljef zahtevaju veći broj obrtaja cilindra i obrnuto (Cyrel DuPont, 2008b). U slučaju razvijanja u prisustvu organskog razvijlača brzina razvijanja treba da je što veća, odnosno vreme razvijanja treba da je što je moguće kraće, jer ako štamparska forma ostane duže u kontaktu sa sredstvom za ispiranje (razvijanje), može se dogoditi da reljef na formi nabubri. Takođe, ako se koristi neodgovarajući rastvarač, moguća je pojava fenomena separacije ili oštećenja reljefa.

Pri prekratkom vremenu ispiranja sirovi polimer ostaje na formi i utiče na dubinu reljefa tako što će ga smanjiti. Ovu grešku je kasnije nemoguće ispraviti, jer sirovi polimer biva učvršćen tokom naknadnog osvetljavanja. Posledice predugog vremena ispiranja mogu biti tragovi četki na podlozi forme, kao i otkidanje štamparskih elemenata, naročito sitnijih detalja. Optimalno vreme ispiranja određuje se testovima čiji je cilj pronaći potrebno vreme za uklanjanje neosvetljenih delova fotopolimera sa štamparske forme. Princip testa je da se vrši razvijanje različitih uzoraka štamparskih formi sa različitim dužinama trajanja ispiranja. Dva parametra koja imaju uticaj na ispiranje su pritisak četki i vreme ili brzina ispiranja. Pošto je dubina koju četke postižu određena debljinom reljefnog dela štamparske forme i ostaje konstantna, jedini parametar koji se menja je vreme ili brzina ispiranja. Testovi se vrše na neosvetljenom uzorku polimera, a rezultati ovih testova se moraju povezati sa rezultatima testa ekspozicije poledine forme, jer su u međusobnoj zavisnosti.

U slučaju termalnog razvijanja, štamparska forma se odmah podvrgava procesu UVA i UVC osvetljavanja, dok kod razvijanja u prisustvu organskog razvijача neophodno je izvršiti sušenje forme toplim vazduhom na odgovarajućoj temperaturi (oko 65°C). Prilikom sušenja sredstvo za ispiranje koje je penetriralo u reljefni sloj će tokom ovog procesa ispariti. Vreme sušenja je proporcionalno vremenu ispiranja. To znači da što se duže štamparska forma zadrži u rastvaraču, više vremena će joj biti potrebno da se osuši. Vreme sušenja je uobičajeno određeno vrstom korišćenog rastvarača i debljinom štamparske forme. Prilikom sušenja temperatura mora biti ujednačena po celoj površini štamparske forme.

Sušenje toplim vazduhom nije dovoljno da bi se štamparska forma u potpunosti osušila i bila spremna za narednu fazu obrade. Potreban je još jedan korak koji se naziva stajanje ili vreme stabilizacije štamparske forme. Neophodno je štamparsku formu ostaviti minimum 8h na sobnoj temperaturi. Ako se period stabilizacije skрати i naknadno osvetljavanje se uradi prerano, mogu se pojaviti poremećaji u debljini štamparske forme i njen rok trajanja smanjiti (DFTA, 2000).

Upravo zbog faze sušenja, termalni postupak razvijanja, iako ekološki nije u prednosti u odnosu na postupak sa razvijачem (Grosse-Sommer et al., 2008), svakako da u velikoj meri skraćuje postupak izrade flekso štamparske forme.

Kao završna faza u izradi flekso štamparske forme jeste naknadno UVA i UVC osvetljavanje.

Naknadno osvetljavanje UVA svetlom je poslednje kratko osvetljavanje UV lampama koje su se koristile i u predhodnim fazama samo manje snage - od 40 do 60W. Prilikom ovog procesa učvršćuje se struktura štamparske forme i povećava se njena čvrstoća, otpornost i krutost neophodna za proces štampe.

Prekratko UVA naknadno osvetljavanje može biti razlog za slabu otpornost štamparske forme na rastvarače i ozon, a takođe i za kraći rok upotrebe. Predugo dodatno UVA osvetljavanje za rezultat ima veliku krutost tj. slabu savitljivost štamparske forme.

Takođe, zahtevana tvrdoća štamparske forme se dobija samo dovoljnim naknadnim osvetljavanjem. Nakon UVA dodatnog osvetljavanja fotopolimerna forma je tehnički spremna za primenu u procesu štampe, ali je još uvek lepljiva što može predstavljati problem.

Osvetljavanje štamparske forme kratkotalasnim UVC svetlom čini štamparsku formu nelepljivom. Tokom ovog procesa površina štamparske forme ostaje sjajna, pa se rezultat ovog osvetljavanja ne može vizuelno proveriti i dodirom.

Predugo osvetljavanje fotopolimerne štamparske forme UVC svetlom dovodi do pucanja i stvaranja pukotina na površini, a štamparska forma postaje veoma krta. Takođe, pukotine na formi mogu nastati i ako se UVA i UVC osvetljavanje izvode istovremeno, pri čemu temperatura u uređaju postaje previsoka. UVC dodatno osvetljavanje se izvodi sa germicidnim lampama koje emituju svetlost talasne dužine 255 nm.

2.1.1.2. Tvrdoća i debljina digitalnih flekso štamparskih formi

Tvrdoća i debljina štamparske forme ima veliki uticaj na karakteristike same štamparske forme a samim tim i na rezultat krajnjeg otiska stoga su to dva bitna kvantitativna faktora koja se moraju kontrolisati.

Jednodelne štamparske forme isporučuju se njačešće u debljinama od 1.14 mm do 6.35 mm, u zavisnosti od oblasti primene. Tanje štamparske forme namenjene su štampi visoko zahtevnih rasterskih elemenata na papirnim ili polimernim podlogama, dok su deblje štamparske forme namenjene štampi neravnih podloga kao što je valovita lepenka. Kada je reč o debljini štamparske forme, onda definisane vrednosti tolerancije su +/- 0.010 to 0.015 mm u okviru jedne štamparske forme kao i u okviru štamparskih formi jedne isporuke, dok je tolerancija u debljini između dve isporuke +/- 0.025 mm (Girard Leloup, 2002).

Kako razlika u debljini štamparske forme utiče na otisak, praćeno preko porasta tonske vrednosti pokazano je istraživanjem sprovedenim od strane Girarda Leloupa (Girard Leloup, 2002). Istraživanje je obuhvatilo set štamparskih formi istog proizvođača i istog tipa gde su izdvojene dve štamparske forme iste tvrdoće ali različitih debljina: 2.825 mm i 2.840 mm, respektivno. Razlika u debljini datih štamparskih formi je 0.015 mm, što je na granici tolerancije s obzirom da su date štamparske forme bile u okviru jedne isporuke. Štampa sa datim štamparskim formama vršena je pod istim uslovima i štamparske forme su bile montirane na cilindar istog prečnika kako bi se obezbedio identičan pritisak. Promena, odnosno porast tonske vrednosti računat je preko Murray-

Davies formule dobijenim na otiscima sa obe štampraskе forme. Pokazano je da se u slučaju druge štampraskе forme, veće debljine, beleži i veći porast tonskih vrednosti, naročito u oblasti tonskih vrednosti od 20% do 60%. Razlika između izmerenog porasta tonskih vrednosti iznosila u proseku 4.7 %.

Tvrdoća fotopolimernih štampraskih formi za flekso štampu meri se u šor-ima (eng. Shore) i merenja se izražavaju kao $^{\circ}\text{Sh A}$ ili $^{\circ}\text{Sh D}$, u zavisnosti od tvrdoće.

Fotopolimerni materijali se isporučuju u opsegu tvrdoće vulkanizovanih štampraskih formi od 25° do 70° Sh A. Izbor štampraskih formi određene tvrdoće zavisi pre svega od podloge za štampu. Za štampu folija i papira koriste se forme veće tvrdoće, od 45° do 60° Sh A, dok neravne i neujednačene podloge, kao sto je valovita lepenka, zahtevaju štampraskе forme niže tvrdoće od 25° do 45° Sh A (Pešterac, 2005).

U pogledu tvrdoće štampraskе forme, može se govoriti o tvrdoći sirove fotopolimerne ploče i o tvrdoći procesirane štampraskе forme. Tvrdoća sirove fotopolimerne forme retko se kontroliše s obzirom da je tvrdoća gotove, procesirane štampraskе forme relevantna za proces štampanja. Tvrdoća štampraskе forme je jako bitan faktor s obzirom da utiče na kasniji prenos boje sa štampraskе forme na podlogu za štampu. Tolerancija za tvrdoću štampraskе forme iznosi $\pm 2^{\circ}$ Sh A (Girard Leloup, 2002). Dakle, tvrdoća štampraskе forme ne sme da odstupa više od 4° Sh A od nominalno definisane vrednosti. Istraživanje je pokazalo da veća razlika u tvrdoći između štampraskih formi istog proizvođača, istog tipa i iste debljine dovodi do većeg porasta tonskih vrednosti (tvrdoće štampraskih formi iznosile su 35° i 37° Sh A) (Girard Leloup, 2002). Naime, porast tonske vrednosti u oblasti od 20% do 60% bio je veći u proseku za 10.8% u slučaju štampe sa štampraskom formom čija je tvrdoća bila veća i razlikovala se za 8° Sh A od propisane. U slučaju da je odstupanje od propisane tvrdoće iznosilo 4° Sh A, očekovati je da će i porast tonskih vrednosti u proseku biti veći za 4-5% (Girard Leloup, 2002). U istraživanju sprovedenom od strane Johnson et al. (2003) takođe je pokazano da tvrđa štampraska forma rezultuje većim porastom tonskih vrednosti i većom optičkom gustinom.

2.2. Polimeri i poliomerizacija

U proteklih dve decenije, polimeri i hemijske reakcije na polimerima predmet su istraživanja i interesovanja različitih grana idustrije, pa tako i u oblasti grafičkog inženjerstva, posebno u domenu flekso štampraskih formi. Brojni fundamentalni i industrijski važni reaktivni polimeri nastaju reakcijama linearne ili umrežavajuće (cross-linked) polimerizacije u prisustvu najčešće katalitički aktivne grupe koje se vezuju na lance polimera. Osnovne definicije reakcije polimerizacije date su od strane IUPAC – a (International Union of Pure and Applied Chemistry), Commission on Macromolecular Nomenclature (IUPAC, 1974, Jenkins et al., 1996) uključujući osnovnu klasifikaciju polimera (Mita et al., 1994) kao i definisanje reakcije na

polimerima kao što su degradacija, starenje i hemijske transformacije polimera (Hatada et al., 1996).

Reč polimer potiče od grčkih riječi πολυ, što znači mnogo i μέρος, u slobodnom prevodu osnovni motiv. Tako je i polimerom prvobitno nazivan molekul koji se sastoji iz velikog broja gradivnih jedinica, odnosno osnovnih motiva (Jovanović i Đonlagić, 2004, Andričić, 2008). IUPAC polimer definiše kao supstancu koja se sastoji od molekula koji se odlikuju višestrukim ponavljanjem konstitutivnih jedinica u molekulskom lancu i toliko su veliki da im se svojstva ne menjaju značajno ako se u molekulski lanac ugradi ili od njega otkine nekoliko konstitutivnih jedinica. Prema ovoj definiciji proizilazi da se pod polimerima podrazumevaju makromolekulske supstance. Gradivna jedinica polimera (konstitutivna jedinica) naziva se monomerom koji su međusobno spojeni kovalentnim vezama. Specifična molekularna, lančana struktura polimernih materijala omogućava polimerima dobra mehanička svojstva (Koutsos, 2002).

Hemijske reakcije kojima se molekuli monomera povezuju u makromolekule nazivaju se reakcije polimerizacije motiva (Vujković, 1997). Polimeri se predstavljaju pomoću hemijske formule ostatka monomera ili osnovnog motiva, označenog zagradom i brojem, n, osnovnih motiva – „mera“ u lancu makromolekula, koji se naziva stepenom polimerizacije i najčešće označava sa X. Pa tako se makromolekul polietena dobijen polimerizacijom etena prikazuje na sledeći način (Jovanović i Đonlagić, 2004): $H_3C-CH_2-(CH_2 - CH_2)_{n-2}-CH_2-CH_3$.

2.2.1. Monomeri

Osnovno svojstvo svakog monomera je da sadrži najmanje dve funkcionalne grupe koje će omogućiti međusobno povezivanje kovalentnim vezama. Monomeri se mogu podeliti u tri grupe (Jovanović i Đonlagić, 2004):

- monomeri koji nose dve ili više funkcionalnih grupa (hidroksikiseline (HO-RCOOH), aminokiseline (H₂N-R-COOH), diamini (H₂N-R-NH₂), dikarboksilne kiseline (R(COOH)₂), dihloridi (Cl-R-Cl), triizocijanati (R(N=C=O)₃) i td.),
- monomeri sa nezasićenim i to najčešće dvostrukim i trostrukim vezama (eten (H₂C=CH₂), propen (CH₂=CHCH₃), 1,3-butadien (H₂C=CH-CH=CH₂), formaldehid (H₂C=O) i sl.),
- ciklični monomeri sa heteroatomom u prstenu, od kojih se neki nalaze pod naponom, kao što su etilen-oksidi, tetrahidrofuran, E-kaprolaktam.

2.2.2. Nomenklatura polimera

Nomenklatura polimera nije jedinstvena. Tek od 1972. godine primenjuje se standardizovana IUPAC nomenklatura za polimere. Međutim, pokazalo se da su sistematski nazivi za polimere prema IUPAC nomenklaturi, dosta komplikovani pa se

primjenjuju uglavnom u zvaničnim dokumentima, dok se nesistematski nazivi, kao i neki tradicionalni nazivi polimera zbog toga još uvijek više praktikuju.

U prvom periodu, novootkriveni polimeri su dobijali trivijalne nazive, pa tako prirodni polimeri imaju trivijalna imena izvedena prema njihovom poreklu, hemijskom karakteru ili nameni: celuloza, belančevine, nukleinske kiseline, skrob, kaučuk i sl. ili pak sintetizovani polimeri – najloni tj. alifatski poliamidi i sl. (Jovanović i Đonlagić, 2004, Horie et al., 2004).

Modifikovani prirodni polimeri (derivati) imaju trivijalna imena ili imena nastala kombinacijom trivijalnog imena polimera i imena koje ukazuje na hemijsku reakciju kojom je dati polimer modifikovan: nitroceluloza, acetat celuloze, metilceluloza, karboksimetil skrob itd.

Polimeri dobijeni reakcijom polimerizacije vinilnih monomera obeležavaju se vrlo jednostavno kombinacijom prefiksa poli i imena monomera - polimer dobijen od monomera etena je polieten, stirena poli(stiren), vinil-hlorida poli(vinil-hlorid), metilmetakrilata poli(metilmetakrilat) itd. Polimeri dobijeni reakcijom polikondenzacije mogu da imaju zbirna i pojedinačna imena. Zbirno ime se daje prema karakterističnoj grupi koja nastaje reakcijom funkcionalnih grupa monomera i prefiksa poli - polimeri koji u svom molekulskom lancu sadrže amidnu grupu (-CONH-) su poliamidi, polimeri sa estarskom grupom (-COO-) poliestri. Pojedinačna imena se daju tako što se prefiksu poli doda naziv monomera - polimer nastao od 6-aminokapronske kiseline je poli(6-aminokapronska kiselina), polimer sintetizovan od etilenglikola i tereftalne kiseline poli (etilentereftalat).

IUPAC nomenklatura se bazira na nazivu osnovnog motiva prema nomenklaturi koja se koristi u organskoj hemiji i koji se piše u zagradi sa prefiksom poli ispred poli(osnovni motiv). U principu bi trebalo ispred prefiksa poli dodati nazive krajnjih grupa u makromolekulskom lancu. Sa α se označava krajnja grupa sa leve, a sa ω krajnja grupa sa desne strane makromolekulskog lanca (Jovanović i Đonlagić, 2004).

2.2.3. Klasifikacija polimera

Polimeri se mogu klasifikovati prema poreklu, hemijskom sastavu monomera i načinu povezivanja u makromolekule, mehanizmu reakcije nastajanja, svojstvima i načinu prerade, prema oblastima primjene itd. Bitno je naglasiti da nijedna dosadašnja klasifikacija polimera nije sveobuhvatna niti opšteprihvaćena.

S obzirom da se prema poreklu polimeri dele na prirodne i sintetske i njihove modifikacije, a prema sastavu na organske, neorganske ili element-organske, na osnovu toga polimeri se dele na prirodne i sintetske polimere gde se opet prirodni polimeri dele na prirodne organske (celuloza, skrob, proteini, prirodni kaučuk), prirodne neorganske (silicijum-dioksid, aluminijum-oksidi, aluminijum silikat...) i modifikovane prirodne

polimere (estri i etri celuloze, karboksimetil škrob i sl.), dok se sintetski polimeri opet dele na sintetske organske (polieten, poli(vinil-hlorid), poli(stiren)), sintetske neorganske (polifosfati, polisilikati...), sintetske elementorganske (polisiloksani, poligermani) i modifikovane sintetske polimere (polivinil alkohol, jonoizmjenjivačke smole i sl.).

Prema hemijskom sastavu monomera polimeri se dele na homopolimere i kopolimere. Homopolimere čine monomer istog tipa dok kopolimeri imaju ponavljajuće jedinice različitog tipa (Koutsos, 2002). Nadalje, prema rasporedu monomera u polimernom lancu (slika 2.10.) klasifikacija polimera je izvršena na (Young i Lovell, 1991, Koutsos, 2002, Pavela-Vrančić i Jurica Matijević, 2010):

- a) nasumične kopolimere gde su dve ili više ponavljajućih jedinica nasumično raspoređene,
- b) izmenljive kopolimere koje čine izmenljive sekvence različitih monomera,
- c) blok kopolimere koje čine naizmenično raspoređene dugačke sekvence različitih monomera,
- d) nakalemljeni kopolimeri koga lanac polimera čini monomer jednog tipa a grane polimera monomer drugog tipa.

Prema mehanizmu reakcije polimerizacije, polimeri se dele na polimere koji nastaju stupnjevitom reakcijom (polikondenzacija i poliadicija), i polimere koji nastaju lančanom reakcijom (radikalna, anjonska, katjonska ili koordinaciona polimerizacija) (Jovanović i Đonlagić, 2004). Pa tako, poliamidi i poliuretani nastaju reakcijom stupnjevite polimerizacije, dok prirodni polimeri, kao što su celuloza, vuna i svila spadaju u polikondenzacione polimere.

Prema karakterističnim svojstvima i oblasti primene, podela polimera izvršena je u tri grupe: termoplastične polimere, termoočvršćavajuće polimere i elastomere. Termoplastični polimeri su amorfni i djelimično kristalni polimerni materijali, koji se sastoje od linearnih ili razgranatih makromolekula. Zagrevanjem omekšavaju i prelaze u tečno stanje te se mogu lako oblikovati u predmete vrlo složenog oblika. Hlađenjem zadržavaju dobijeni oblik, a operacija topljenja i oblikovanja se može ponavljati više puta. Termoplastični polimeri se dele na: masovne, tehničke i polimere specijalnih namena.

Termoočvršćavajući polimeri su oligomeri ili smeše monomera i oligomera, koje očvršćavaju za vreme prerade pri povišenoj temperaturi. Očvršćavanje je posledica odigravanja hemijskih reakcija, koje vode ireverzibilnom gustom umrežavanju oligomera i nastajanju proizvoda koji više ne može da se topi i menja preradom dobijeni oblik. Termoočvršćavajući polimeri ne bubre i ne rastvaraju se. Pri sobnoj temperaturi su tvrdi i

2.2.4. Molekulska struktura polimera

Za sve makromolekule, bilo da su prirodnog ili sintetskog porekla karakteristične su velike molarne mase i lančasta građa. Molekulska struktura polimera se može prikazati primarnom, sekundarnom i terciarnom strukturom koje direktno uslovljavaju svojstva, preradu i primenu polimernih materijala. Konstitucija ili primarna struktura obuhvata hemijski sastav makromolekula, molarnu masu i raspodelu molarnih masa makromolekula, linearnost, razgranatost, umreženost i konfiguraciju polimernih lanaca. Elementi konstitucije su određeni samom reakcijom nastajanja makromolekula, odnosno povezivanjem molekula monomera kovalentnim vezama u makromolekule. Konstitucija ili primarna struktura polimera se ne menja promenom fizičkog stanja polimera, koje može da nastane promenom temperature ili deformacijom pod dejstvom spoljnih napona. Do promene konstitucije polimera može da dođe ukoliko nastupe hemijske promene ili degradacija, odnosno ukoliko dođe do kidanja kovalentnih veza u makromolekulskom lancu (Jovanović i Đonlagić, 2004, Horie et al., 2004).

Hemijski elementi koji najčešće ulaze u sastav polimera su: ugljenik, azot, kiseonik, hlor, fluor, vodonik, silicijum i fosfor kao i germanijum i kalaj. Kovalentne veze u prirodnim i sintetskim polimerima imaju istu dužinu i uglove kao i u malim molekulima.

2.2.5. Osnovna svojstava polimera

Odgovarajućim izborom hemijske građe monomera koji ulaze u sastav polimera, odabirom odgovarajućeg načina njihovog povezivanja u makromolekule, izmenom nadmolekulske strukture te mešanjem sa niskomolekulskim organskim i neorganskim supstancama ili drugim polimerima otvara se mogućnost promene svojstva polimera te prilagođavanje za upotrebu u različite svrhe.

Osnovne karakteristike svakog polimera kao što je postojanje relativno jeftinih sirovina za proizvodnju, mogućnost da se jednostavnim postupcima prerade prevedu u predmete vrlo složenog oblika, povoljan odnos svojstvo/kvalitet/cijena u odnosu na druge materijale, neškodljivost za ljude i okolinu i vrlo povoljan ekološki bilans u odnosu na druge materijale, omogućili su da polimeri imaju široku primenu u gotovo svim oblastima ljudske delatnosti (Koutsos, 2002, Jovanović i Đonlagić, 2004, Horie et al., 2004).

Kada je reč o gustini polimera, u poređenju sa drugim materijalima kao što su keramički ili metalni, ona je mnogo manja (između $0,8 \text{ g/cm}^3$ (poli(4-metilpenten-1)) i $2,2 \text{ g/cm}^3$ (poli(tertafluoretilen)) te omogućava primenu u proizvodnji transportnih sredstava (bicikli, automobili, brodovi, avioni i rakete), sportskih artikala i sl. (Jovanović i Đonlagić, 2004).

Pod mehaničkim svojstvima polimera podrazumeva se zbir svojstava koja definišu ponašanje polimera pri dejstvu spoljašnjih sila - modul elastičnosti, zatezna čvrstoća, čvrstoća na savijanje, pritisak, uvijanje, udar, tvrdoća itd. Poboljšanje mehaničkih svojstava polimera može se postići izmenom nadmolekulske strukture ili ojačavanjem sa staklenim, ugljeničnim ili aramidnim vlaknima te se time proširuje i dajpazon primene polimernih materijala. Polimerni materijali imaju sposobnost i povratnih deformacija (visoka elastičnost) - elastomeri, čime je i omogućena njihova primena za izradu automobilskih guma, amortizera i dihtunga kao i u slične svrhe.

S obzirom da je električna provodljivost čak hiljadu puta manja od nekih metala (1022 puta manja od bakra i aluminijuma) može se reći da predstavljaju odlične izolatore pa je njihova primjena u elektrotehnici i elektronici široka i dobro poznata. Ono što se ističe je otpor koji se manifestuje usled trenja. Međutim, i pored ove opšte poznate osobine, polimeri su našli svoju primenu u provodljivosti električne struje, izradi elektroda za hemijske izvore struje, premaza za zaštitu od korozije, mikrokondezatora, različitih senzora, dioda, mikročipova itd. Naime, upotreba polimera u ove svrhe omogućena je dopovanjem polimera koji se karakterišu sistemom dvostrukih konjugovanih veza (Koutsos, 2002, Jovanović i Đonlagić, 2004, Horie et al., 2004).

Termička svojstva polimera se karakterišu sledećim veličinama: temperaturom omekšavanja, temperaturom topljenja, toplotnom provodnošću, toplotnim širenjem, maksimalnom i minimalnom temperaturom primene, temperaturom prelaska u staklasto stanje, zapaljivošću itd. (Koutsos, 2002, Jovanović i Đonlagić, 2004).

Osnovni nedostaci standardnih polimernih materijala su niska maksimalna temperatura primene, veliki koeficijent toplotnog širenja, zapaljivost i krtost pri niskim temperaturama. Vrlo mali broj polimera sa krutim molekulskim lancima i neki neorganski polimeri mogu da se koriste i pri temperaturama iznad 250 °C, ali je njihova cena za sada visoka, pa je i primena ograničena. Polimeri imaju malu zvučnu i toplotnu provodnost. Prevođenjem polimera u oblik tvrdih ili mekih pena ova svojstva se toliko poboljšavaju da npr. penasti poli(stiren) ili poliuretani postaju najbolji toplotni i zvučni izolatori, što omogućava njihovu vrlo veliku primjenu u građevinarstvu. Polimeri su vrlo često transparentni i mogu se bojiti.

2.2.6. Reakcije polimerizacije

Kako je već rečeno, polimerizacija je proces pri kome se jedinice monomera hemijskom reakcijom vezuju u dugačke lance. Lanci polimera mogu biti linearni, razgranati ili umreženi (cross-linked) (Koutsos, 2002). Razlikuju se dva osnovna mehanizma reakcije na polimerima: stupnjevita reakcija (polikondenzacija i poliadiacija), i lančana reakcija (radikalna, anjonska, katjonska ili koordinaciona polimerizacija) (Jovanović i Đonlagić, 2004). Stupnjevita polimerizacija zahteva

bifunkcionalne ili polifunkcionalne monomere dok lančana reakcija zahteva prisustvo inicijatora (Koutsos, 2002). Stupnjevita polimerizacija neće biti moguća ako ne postoji bar jedna reaktivna funkcionalna grupa na krajevima svakog monomera koja će reagovati sa funkcionalnom grupom drugog monomera. U okviru stupnjevite polimerizacije molekularna masa se obično sporije povećava. Lančana polimerizacija zahteva prisustvo inicijatora i nastaje dodavanjem jedne ponavljajuće jedinice istovremeno. Makromolekulski lanac pri lačanoj polimerizaciji se obično rapidno povećava nakon što se formira početak lanca. Polimerizacija koja je karakteristična za polimere koji čine gradivnu jedinicu fleksa štamparskih formi jeste upravo lančana polimerizacija i to radikalna polimerizacija koja je ujedno i najbolje izučena reakcija sinteze polimera. Među polimerima koji se u industrijskim razmerama sintetizuju radikalnom polimerizacijom nalaze se polieten, PE, polistiren, PS, polivinil-hlorid, PVC, polivinil-acetat, PVAc, polimetilmetakrilat, PMMA, i poliakrilonitril, PAN, kao i čitav niz različitih kopolimera. Najveći deo od oko 210 miliona tona polimera, koji se danas proizvode u svetu, sintetizuje se radikalnom polimerizacijom.

2.2.6.1. Radikalna polimerizacija

Polimerizacija monomera sa dvostrukim ($>C=C<$) ili trostrukim vezama ($-C \equiv C-$), inicirana slobodnim radikalima, je lančana reakcija radikalne polimerizacije. Radikalna polimerizacija je složena i sastoji se od nekoliko elementarnih reakcija i to (Jovanović i Đonlagić, 2004): nastajanje slobodnih radikala (inicijacija) - primarnih radikala, započinjanje lančane reakcije, odnosno reakcija primarnog radikala sa molekulom monomera i nastajanje monomer-radikala (reakcija iniciranja), rast nastalog monomer radikala adicijom molekula monomera, odnosno, odigravanje lančane reakcije i nastajanje makroradikala (reakcija propagacije), prekid rasta makroradikala, odnosno prekid lančane reakcije i nastajanje makromolekula (reakcija terminacije) i reakcija prenosa lančane aktivnosti, odnosno reakcija prekida rasta jednog makroradikala uz istovremeno prenošenje njegovog aktivnog centra - radikala na bilo koji molekul prisutan u reakcionoj smeši i započinjanje rasta novonastalog radikala (reakcija transfera).

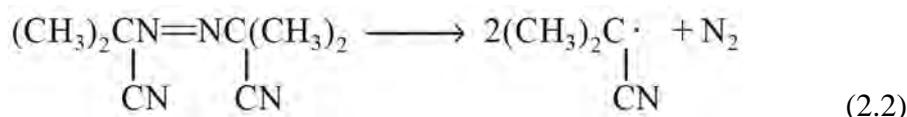
Nastajanje slobodnih radikala (inicijacija). Za početak lančane reakcije neophodno je da u reakcionoj smeši budu prisutni i slobodni radikali. Reakcija nastajanja radikala mora da se odigra u prisustvu monomera, odnosno u reakcionoj smeši, s obzirom da u nastali radikali izuzetno reaktivni te im je i "vreme života" vrlo kratko. Najčešća reakcija nastajanja radikala je homolitičko raskidanje hemijskih veza u molekulima specifične građe, koji se nazivaju inicijatorima. Pored toga, radikali mogu da nastanu i prenošenjem elektrona sa nekog jona ili atoma na neki molekul (akceptor), čije se veze zbog toga raskidaju. Slobodni radikali mogu da nastanu dejstvom različitih vidova energije na molekule inicijatora i monomera: dejstvom toplotne energije (termičko iniciranje), svetlosne energije (fotoiniciranje) a što se primenjuje u slučaju fleksa

štamparskih formi, usled zračenja visoke energije (radijaciono iniciranje) ili dejstvom električne struje (elektrohemijsko iniciranje) (Jovanović i Đonlagić, 2004).

Inicijatori mogu biti monofunkcionalni te formiraju isti slobodni radikal (Koutsos, 2002), jednačina 2.1:

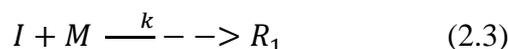


Primer takvog inicijatora je 2,2-azobisisbutironitril (2.2):

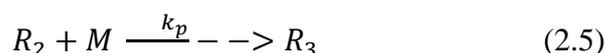
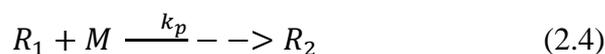


Inicijatori mogu biti i multifunkcionalni (sadrže više od jedne aktivne grupe) te formirati različite radikale (2,5 dimetil-2,5-bis(benzolperoksi)heksan).

Kod monofunkcionalnih inicijatora reakcija između monomera M i inicijatora I se može napisati kao sledeća jednačina:



Reakcija rasta makroradikala (propagacija). Prilikom reakcije proragacije na monomer radikal, nastao pri reakciji primarnog radikala i molekula monomera u reakcionoj smeši (reakcija iniciranja), brzo se adiraju novi molekuli monomera, a slobodni radikal se uvek premešta na kraj rastućeg molekulskog lanca, pri čemu nastaje makroradikal (Jovanović i Đonlagić, 2004). Reakcija proragacije između slobodnog radikala R_1 i monomera se može predstaviti preko sledećih jednačina (Koutsos, 2002):



odnosno uopšteno:

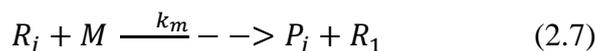


Vrednost konstante brzine reakcije rasta makroradikala, k_p , pri konstantnoj temperaturi i pritisku, zavisi od vrste monomera i makroradikala, pri čemu makroradikal, kao aktivna supstanca ima odlučujući uticaj. Najčešće se za k_p pretpostavi da je jednak broju dodatih monomera rastućem lancu, što se i pokazalo tačnim u slučaju kad su jedan ili dva monomera dodata na slobodni radikal i za niske konverzije monomera (Koutsos, 2002, Jovanović i Đonlagić, 2004).

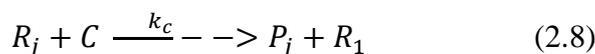
Reakcije prenosa lančane aktivnosti - reakcije transfera. Pri odigravanju reakcija prenosa lančane aktivnosti dolazi do prenosa aktivnog centra - slobodnog radikala sa kraja rastućeg makroradikala, na neki drugi do tada neaktivan molekul. Makroradikal postaje neaktivan - "mrtav", a do tada neaktivni molekul dobija aktivni centar - radikal i može da inicira reakciju polimerizacije, odnosno, nastajanje novog makromolekula (Koutsos, 2002, Jovanović i Đonlagić, 2004).

Prenos slobodnog radikala sa rastućeg polimera može se odigrati na tri načina (Koutsos, 2002):

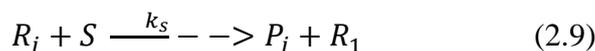
1. prenos na monomer:



2. prenos na druge komponente (npr. inicijator):



3. prenos na razvijlač:



Za komponente koje učestvuju u različitim reakcijama prenosa lančane aktivnosti kao što su $\text{CCl}_3 \cdot$ i $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2 \cdot$ se pretpostavlja da imaju istu reaktivnost kao R_1 . Ipak, u nekim slučajevima agens za prenos lančane aktivnosti nekada može biti isuviše veliki ili neaktivan kako bi propagirao nastavak gradnje lanca. Stoga je izbor raastvarača u kome se vrši polimerizacija od velikog značaja. Pa tako npr. specifična konstanta brzine reakcije prenosa lančane aktivnosti je 10 000 puta veća u slučaju CCl_4 nego benzenu. Specifične konstante brzina reakcije prenosa lančane aktivnosti se pretpostavlja da su neovisne od dužine polimernog lanca. Iako slobodni radikali R_1 nastali u okviru svake od reakcija prenosa lančane aktivnosti su različiti, njihova funkcija je suštinski ista kao i funkcija slobodnog radikala R_1 u okviru reakcije proragacije i formiranja R_2 radikala (Koutsos, 2002, Jovanović i Đonlagić, 2004).

Reakcije prekida rasta makroradikala - reakcija terminacije. Do prekida lančane aktivnosti, odnosno do prekida rasta makroradikala najčešće dolazi pri njihovom sudaru

delova sa forme pri kasnijoj upotrebi, te kontrolu tvrdoće osvetljenih delova forme (Matsubara i Oda, 2011).

Koji će se hemijske komponente koristiti pri izradi fotopolimerne kompozicije zavisi od samog proizvođača flekso štamparskih formi i njegove specifične recepture, tako da se ne može govoriti o univerzalnim rešenjima.

Kao jedna od polimernih kompozicija koja se može koristiti za izradu flekso štamparskih formi je smeša fotoinicijatora i sindiotaktičkog 1,2-polibutadiena, kao fotoosetljive supstance s obzirom da omogućava lako umrežavanje dejstvom UV zračenja zahvaljujući dvostrukim vezama u bočnom lancu (Sakurai, 1985). 1, 2 – polibutadien pruža jako dobra elastična svojstva i otpornost na vodu i alkohol, a pri tome je i ekonomski isplativ. Međutim, jednostavna smeša 1,2 – polibutadiena i fotoinicijatora nije dovoljna da obezbedi adekvatno otvrdnjavanje štamparske forme što rezultuje spiranjem finih štampajućih elemenata i bubrenjem štamparske forme u prisustvu organskog razvijaača kao što je ksilen (Sakurai, 1985). Uvođenje etilenskog nezasićenog monomera u smešu 1,2 – polibutadiena i fotoinicijatora poboljšava svojstva kompozicije, odnosno buduće flekso štamparske forme. Naime, etilenski nezasićeni monomer značajno povećava osetljivost smeše na UV zračenje te sprečava bubrenje štamparske forme prilikom razvijanja u razvijaaču na bazi ksilena i time omogućava oštru reprodukciju štampajućih elemenata. Pri tome, etilenski nezasićeni monomer koji se koristi treba biti kompatibilan sa 1,2 – polibutadienom, odnosno da se može uniformno mešati sa njim poželjno bez dodavanja rastvarača s obzirom da su ranije studije pokazale da je sindiotaktički 1,2 – polibutadien nerastvorljiv ili delimično rastvorljiv u standardnim rastvaračima kao što su alifatski hidrokarbonati, ketoni i alkoholi čime se onemogućava trenutna i uniformna mešavina sa etilenskim nezasićenim monomerima kao što su akrilna i metakrilna kiselina i njihovi estri (Sakurai, 1985). Pogodni etilenski nezasićeni monomer koji se mogu mešati sa sindiotaktičkim 1,2 – polibutadienom (najbolje onaj koji ima molekularnu masu od 100000 i 200000 i stepen kristalizacije od 10% do 25% procenata jer obezbeđuje najbolja elastična svojstva i otpornost na alkohol i vodu u korištenim štamparskim bojama) su estri akrilne ili metakrilne kiseline sa alkanolom koji ima 4 do 20 ugljenikovih atoma (butil akrilat, izobutil akrilat, heksil metaakrilat, 2 – etilheksil metakrilat, neopentil metakrilat, otil metakrilat, 1,6 – heksil diakrilat, neopentil diakrilat, 1,6 heksil dimetakrilat i neopentil dimetakrilat) (Sakurai, 1985). Pri tome se može koristiti samo jedan monomer ili više njih. Kao fotoinicijator se najčešće koristi je benzoin ili alkil eter. S cijem poboljšane senzibilizacije na svetlo, smeši se dodaju fotoosetljive supstance kao što su antracen, p – dinitro benzen, 2-hlor-4-nitroanilin, benzol i sl. (Sakurai, 1985). U cilju poboljšanja elastičnih svojstava te dobijanja štamparskih formi različitog nivoa tvrdoće (⁰Sh A) smeši se dodaju plasticizeri koji mogu biti polimerni plasticizeri koji sadrže bar jedan izopren, butadien i etilen kao monomernu jedinicu (poliizobutilen, polibuten, polizoprenska guma, etilen – propilenska guma, stiren – butadienska guma, etilen – vinil acetat kopolimer) ili tečni

plasticizeri koji imaju alkilni substituent u bočnom lancu i tačku ključanja veću od 100°C (dibutil, diheksil i td.) (Sakurai, 1985). Smeši se također dodaju inhibitori polimerizacije (hidrohinon, p-metoksi fenol), boje, pigmeti ili punioci u praškastom obliku (polietilen, polimetil metakrilat) (Sakurai, 1985). Odabirom odgovarajućih omera svake od komponenti i formiranjem uniformne smeše mešanjem na temperaturi ne većoj od 60°C nadalje se dobijena kompozicija ekstrudiranjem, presovanjem ili ubrizgavanjem formira u listove štamparske forme, nanošenjem na noseću, načešće poliestarsku osnovu. S obzirom da je gornja površina štamparske forme lepljiva, nanosi se poliestarska zaštitna folija koja je prethodno podvrgnuta tretmanu peskiranja (Sakurai, 1985). Date štamparske forme namenjene su razvijanju u rastvaračima na bazi toluena, ksilena ili hloroforma, trihloretana, trihloretilena ili tetrahloretilena, opciono u kombinaciji sa alkoholima ili ketonima (Sakurai, 1985).

Sa novim saznanjima u oblasti hemije u domenu izučavanja polimera, razvijane su unapređene kompozicije fotopolimernih smeša za izradu flekso štamparskih formi koje su najvećim delom zasnovane na blok kopolimerima. Pa tako blok kopolimeri kao što su polistiren/polibutadien/polistiren i polistiren/poliisopren/polistiren blok kopolimeri se često koriste za izradu flekso štamparskih formi, bilo zasebno bilo kao mešavina više njih (Muldermans i Roumache, 2005). Fotopolimernu kompoziciju može da čini mešavina SIS i stiren-izopren blok kopolimera (diblok) koja daje flekso štamparskoj formi izuzetna fizička svojstva kao što su fleksibilnost pri montaži na cilindar za štampu i otpornost na habanje prilikom štampe velikih tiraža (Matsubara i Oda, 2011). Nadalje, fotopolimerna kompozicija može biti mešavina SIS i SBS blok kopolimera koja daje štamparskoj formi izuzetnu otpornost na habanje i fleksibilnost pri čemu je izbegnuta velika tvrdoća forme. Ovakva kompozicija ne pokazuje osobine anizotropije koja je uzrokovana molekularnom orijentacijom u toku procesa topljenja i modelovanja štamparskih formi u listove čime se eliminiše posledični negativni efekat u toku štampe u slučaju da se štamparska forma priprema u interakciji sa materijalom koji ima anizotropna svojstva. Blok kopolimerna kompozicija za izradu flekso štamparskih formi može biti i smeša tro razgranatog aromatičnog konjugovanog vinil dien kopolimera koji se koristi sa specifičnim agensom za umrežavanje (Matsubara i Oda, 2011). Ovakva kompozicija pokazuje izuzetna svojstva u pogledu glatkoće površine kao i otpornost na deformacije koje mogu nastati pre postupka osvetljavanja. Iako navedene kompozicije sa blok kopolimerima imaju svojih prednosti, jedan od nedostataka jeste teška istovremena održivost otpornosti na habanje i elastičnih svojstava koja se očekuju od aromatičnog vinil-konjugovanog dien aromatičnog vinil blok kopolimera. Naime, mehanička svojstva (kao što je otpornost na habanje) pomenutog blok kopolimera se unapređuju dodavanjem udela aromatičnog vinil monomera. S druge strane, veći udeo aromatičnog vinil monomera ima negativan uticaj na elastična svojstva, odnosno smanjuje elastičnost flekso štamparske forme (Matsubara i Oda, 2011). Upotreba S-I-S blok kopolimera kao gradivne jedinice flekso štamparske forme rezultuje niskom vrednošću tvrdoće ($^0\text{Sh A}$) i ima tendenciju

degradacije uzrokujući neželjnu lepljivost površine štamparske forme (Muldermans i Roumache, 2005). Upotreba S-B-S blok kopolimera rezultuje lošom stabilnošću procesa izrade štamparske forme što rezultuje geliranjem i lošom rezolucijom konačne, procesirane štamparske forme (Muldermans i Roumache, 2005). Nadalje, upotreba nehidrogenizovanog stiren dien blok kopolimera (S-I-S i S-B-S) u izradi fotopolimerne smeše za flekso štamparske forme ima za negativan efekat ograničenu otpornost prema ozonu, što može predstavljati problem prilikom štampe sa UV bojama (St. Clair et al., 2007). Naime, prilikom štampe UV bojama neophodno je dejstvo UV zračenja kako bi boja na površini podloge za štampu očvrsla. Posledično, dejstvom UV zračenja, kiseonik iz okolnog vazduha prelazi u ozon i dolazi u kontakt sa štamparskom formom što dovodi do njene degradacije u slučaju snižene otpornosti na dejstvo ozona.

Matsubara i Oda (2011) u okviru svog patenta ponudili su formulaciju fotopolimerne kompozicije čiju osnovu čine blok kopolimeri i koja rezultuje flekso štamparskom formom izuzetnih eleastičnih svojstava i visoke otpornosti na habanje. Naime, pokazalo se da polimerna smeša koja se sastoji od najmanje dva blok kopolimera - konjugovanog dien blok polimera i aromatičnog vinil blok polimera pokazuje odgovarajuća elastična svojstva kao i mehanička svojstva iako je udeo aromatičnog vinil monomera povećan. Data kompozicija može sadržiti dva ili tri blok kopolimera: blok kopolimer A – aromatični vinil-konjugovani dien-aromatični vinil blok kopolimer koji ima dva aromatična vinil blok polimera ($Ar1^a-D^a-Ar2^a$), B – aromatični vinil-konjugovani dien-aromatični vinil blok kopolimer ($(Ar^b-D^b)_n-X$) i C - aromatični vinil-konjugovani dien blok kopolimer (Ar^c-D^c). Aromatični vinil monomer koji se koristi kao gradivna jedinica aromatičnog vinil blok polimera može biti stiren, α -metilstiren, 2-metilstiren, 3- metilstiren, 4- metilstiren, 2-etilstiren, 3- etilstiren, 4- etilstiren, 2,4-diizopropilstiren, 2,4-dimetilstiren, 4-t-butilstiren, 5-t-butil-2-metilstiren, 2-hlorstiren, 3- hlorstiren, 4- hlorstiren, 4-bromstiren, 2-metil-4,6-dihlorstiren, 2,4-dibromstiren i vinil naftalen. Takođe, svaki aromatični vinil blok polimer može sadržiti monomernu jedinicu koja se razlikuje od monomerne jedinice aromatičnog vinil monomera (npr. 1,3-butadien i izopren, α,β -nezasićeni nitril monomer). Svaki konjugovani dien blok polimer (D^a , D^b i D^c) sadrži dien konjugovanu monomernu jedinicu (1,3-butadien, izopren, 2,3-dimetil-1,3-butadien, 2-hlor-1,3-butadien, 1,3-pentadien, and 1,3-hexadien). Takođe, svaki konjugovni dien blok polimer može sadržiti i drugu monomernu jedinicu (osim konjugovane dien monomerne jedinice). Polimerna kompozicija može takođe da sadrži i ostale komponente kao što su plasticizeri (parafinsko ulje, tečni 1,2-polibutadien, tečni 1,4-polibutadien, tečni stiren-butadien kopolimer, polistiren niske molarne mase, a-methyl stiren-vinil toluen kopolimer, petrolejska smola, poliakrilatna smola, poliestarska smola i politerpentinska smola), inhibitori toplotne polimerizacije (fenoli, hinoni i amini), anitoksidansi, antiozonanti, boje, pigmenti, punioci, hemijski agensi koji poboljšavaju reljefnu strukturu štamparske forme, agensi za umrežavanje, agensi koji poboljšavaju tečljivost. Odgovarajuća polimerna kompozicija koja se koristi za izadu listova štamparskih formi dobija se definisanjem tačnih udela svake od navedenih

komponenti. U procesu razvijanja štamparske forme, prilikom kreiranja štampajućih elemenata, koristi se razvijatelj na bazi alifatičnih ili aromatičnih hidrokarbonata (heksan, n-heptan, oktan, petrolej eter, nafta, toluen, ksilen, etil benzen i izopropil benzen), etara (di-n-butil eter i di-t-butil eter), ketona (acetona i metil etil keton), estara (metil acetat and etil acetat), opciono u prisustvu alkohola (metanol, ethanol, izopropanol ili n-butanol). Ovakve štamparske forme imaju dobra elastična svojstva i izuzetnu otpornost na habanje omogućavajući izradu flekso štamparskih formi visokog kvaliteta koje mogu biti primenljive u slučaju štampe velikih tiraža (Matsubara i Oda, 2011).

Muldermans i Roumache (2005) u okviru svog patenta predložili su fotopolimernu kompoziciju čiju osnovu čini umetnuti (inkorporirani) izopropen i butadien u polimerni blok. Fotopolimerne štamparske forme koje čini data polimerna kompozicija imaju izuzetnu transparentiju, stabilnost prilikom izrade i odgovarajuću tvrdoću. Transparentija je bitna osobina štamparske forme s obzirom da obezbeđuje prolazak UV zračenja u trodimenzionalnu strukturu štamparske forme i time omogućava oštru reprodukciju štampajućih elemenata (Muldermans i Roumache, 2005). Takođe, pokazalo se da mešavina S-(I/B)-S blok kopolimera i S-I-S i/ili S-B-S blok kopolimera takođe obezbeđuje izuzetnu transparentiju štamparskim formama. Ovakva kompozicija fotopolimerne mešavine u poređenju sa čistim mešavinama S-I-S i S-B-S blok kopolimera pokazuju bolju otpornost prema sredstvu za razvijanje (Muldermans i Roumache, 2005).

St. Clair et al. (2007) predlažu fotopolimernu kompoziciju baziranu na selektivno hidrogenizovanim blok kopolimerima na bazi konjugovanih diena i monoalkenil arena. Ovi blok kopolimeri, bilo linearni ili radijalni, imaju završne blokove od nezasićenog konjugovanog diena koji se vezuju za monoalkenil aren blokove i hidrogenizovane konjugovane dien blokove. Ova unapređena fotopolimerna kompozicija pokazuje izuzetna svojstva u pogledu očvršćavanja i unapređenu dimenzionu stabilnost buduće štamparske forme uključujući mogućnost dobijanja finih rasterskih elemenata. Takođe, ovakva formulacija fotopolimerne smeše doprinosi povećanju otpornosti na dejstvo ozona, kako prilikom samog osvetljavanja štamparske forme tako i prilikom štampe UV bojama (St. Clair et al., 2007).

Suzuki et al. (2008) predlažu fotopolimernu kompoziciju na bazi fotoosetljive smole za izradu flekso štamparskih formi prvenstveno namenjenoj štampi na podlogama koje imaju neujednačenu, hrapavu strukturu površine kao što je talasasta lepenka, karton ili reciklirani papir. Primenom ovih štamparskih formi omogućena je oštra i jasna reprodukcija finih štampajućih elemenata. Fotopolimernu kompoziciju čini blok kopolimer (I) namenjen adicioj polimerizaciji i etilenska nezasićena komponenta (II). Blok kopolimer (I) čini bar jedan blok kopolimer A (koga u osnovi čini aromatični vinil sa bar 1% alkil stiren strukturnih jedinica u kome bar jedna alkilna grupa ima 1 do 8 ugljenikovih atoma vezanih na benzenov prsten) i bar jedan kopolimer B (u osnovi konjugovani dien).

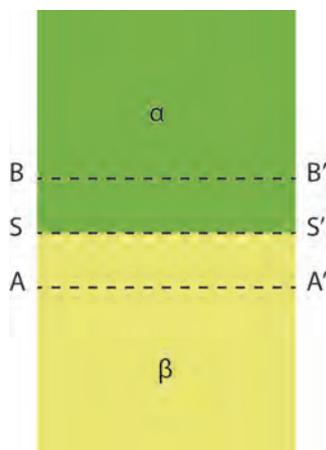
2.3. Površinske pojave na štamparskoj formi

U procesu flekso štampe, štamparska boja preneti iz čašica raster valjka na uzdignute štampajuće elemente štamparske forme dejstvom malog pritiska se prenosi na podlogu za štampu. U flekso štampi štampanje je moguće bojama na bazi vode, organskog razređivača i UV bojama. Pri tome se mogu štampati podloge kao što su papir, karton, različiti polimerni materijali, aluminizirane folije i sl. Prilikom štampe polimernih materijala neophodno je prethodno površinu koja se štampa tretirati (npr. korona tretmanom) s ciljem poboljšanja površinskih karakteristika materijala i bolje adhezije boje za njegovu površinu. Stoga, molekularni procesi adhezije i kohezije, površinski napon, površinska energija, adsorpcija, površinska hrapavost predstavljaju elemente koji igraju značajnu ulogu u procesu flekso štampe, a u direktnoj su vezi sa štamparskom formom, podlogom za štampu i štamparskom bojom.

2.3.1. Granična površina

Granična površina je zajednička površina dodira dva materijala. Boja i površina flekso štamparske forme čine zajedničku površinu dodira.

Molekuli na površini faze uvek su u dodiru sa molekulima neke druge faze. Na slici 2.11. prikazane su dve homogene faze, α i β , gde je AA' i BB' površina koja razdvaja dve faze, SS' granični sloj debljine nekoliko molekulskih prečnika koji razdvaja dve faze.



Slika 2.11: Šematski prikaz granice dve faze

U graničnom sloju su molekule obe faze, a same faze su homogene do svojih površina (Aleksić, 2012). Granični sloj ne sprečava prelazanje čestica iz jedne faze u drugu i obrnuto (Van Oss i drugi, 1993). Razlikuje se pet različitih granica faze: čvrsta/čvrsta, čvrsta/tečna, čvrsta/gasovita, tečna/tečna i tečna/gasovita.

2.3.2. Slobodna površinska energija

Slobodna površinska energija je višak energije površinskog sloja supstance u poređenju sa energijom čestica u njenoj unutrašnjosti (Pavlović, 2012). Površinska energija predstavlja posledicu privlačnih sila između molekula. Naime, čestice koje se nalaze u masi supstance okružene su istorodnim česticama te je rezultantna sila njihovog međusobnog dejstva ravna nuli. Suprotno, čestice koje se nalaze na granici faza su jednim delom u kontaktu sa istorodnim, a drugim delom sa raznorodnim česticama te rezultantna sila je različita od nule.

Usled površinske energije javlja se sila koja deluje paralelno sa površinom i nastoji da njenu veličinu maksimalno smanji - površinski napon (σ). Površinska energija neke supstance može se predstaviti kao:

$$E = \sigma x A [J] \quad (2.13)$$

gdje je σ [Nm^{-1}] površinski napon, A [m^2] površina supstance.

Kada je reč o slobodnoj površinskoj energiji polimera onda se treba naglasiti da polimerni materijali u odnosu na metale, metalne okside ili keramiku imaju izrazito malu slobodnu površinsku energiju (Giljean, 2011, Lučić-Blagojević, 2012). U tabeli 2.2 date su vrednosti slobodne površinske energije nekih polimera (Lučić-Blagojević, 2012).

Tabela 2.2: Slobodna površinska energija nekih polimera

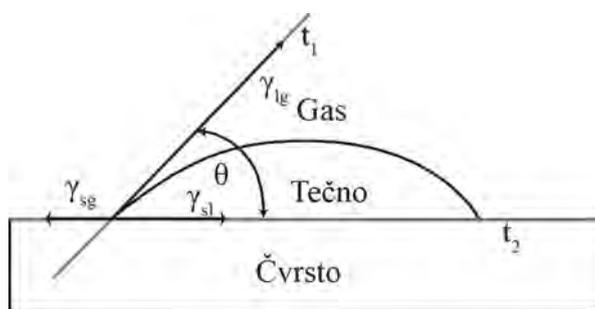
Polimer	Slobodna površinska energija γ (mJ/m^2)	
	20 ⁰ C	140 ⁰ C
Polietilen	35.7	28.8
Polistiren	40.7	32.1
Poli(metilmetakrilat)	41.1	32.0
Poli(dimetil siloksan)	19.8	14.0
Poli(etilen oksid)	42.9	33.8
Polikarbonat	49.2	35.1
Politetrafluoroetilen	23.9	16.9
Poli(n-butyl metakrilat)	32.2	24.1
Poli(vinil acetat)	36.5	28.6
Polikloropren	43.6	33.2
Poli(etilen tereftalat)	44.6	28.3

2.3.2. 1. Kontakti ugao

Mera sposobnosti čvrstog tela da se kvasi nekom tečnošću, naziva se kontakti ugao i označava se sa Θ . Fizička pojava koja se definiše kao tendencija tečnosti da se širi na površini čvrste supstance naziva se kvašenje (Meng et al., 2001, Kubiak et al., 2011, Cigula T, 2010a, Cigula T, 2010b, Shuangying et al., 2011, Kirchberg et al., 2011). Kvašenje je uslovljeno smanjenjem površinskog napona između čvrsto-tečne faze

(dolazi do smanjenja slobodne površinske energije) (Cigula T, 2010a, Cigula T, 2010b, Kubiak et al., 2011). Tečnost se širi na površini čvrste faze sve dok se ne uspostavi ravnoteža između sila kohezije u tečnosti, kapilarnih (površinski napon) sila i sile teže. Postignuto stanje ekvilibrijuma odgovara minimalnom energetsom stanju između tri faze (čvrsto, tečno, gasovito), odnosno statičkom kontaktnom uglu (Youngovom uglu odnosno uglu ekvilibrijuma) (Shuangying et al., 2011, Kubiak et al., 2011, Bormashenko, 2012). Definisanje kontaktnog ugla je od značaja za karaktetizaciju tečno-čvrstih sistema.

Kontaktni ugao se može definisati kao ugao koji zatvaraju tangenta povučena na ivicu kapi tečnosti (t_1) i tangenta povučena na površinu čvrste supstance (t_2) u trojnoj tački (tačka u kojoj se dodiruju čvrsta, tečna i gasovita faza) (Cigula T, 2010a, Cigula T, 2010b, Kruss, 2012) (slika 2.12.).



Slika 2.12: Šematski prikaz kontaktnog ugla između tečne i čvrste faze

Na veličinu kontaktnog ugla utiče slobodna površinska energija tri faze, a njihova međuzavisnost prikazuje se Laplace - Youngovom jednačinom:

$$\sigma_s = \gamma_{sl} + \sigma_l \cos \theta \quad (2.14)$$

gde je σ_s površinski napon čvrste supstance, γ_{sl} međufazni napon između čvrste supstance i tečnosti, σ_l površinski napon tečnosti, θ kontaktni ugao.

Može se reći da će tečnost bolje kvasiti površinu koja ima veću površinsku energiju, odnosno formiraće kontaktni ugao bliži nuli (Bormashenko, 2012).

Laplace - Youngova jednačina se može primeniti u slučaju idealno glatkih i homogenih površina čvrste supstance. Za hrapave i homogene površine Wenzel i Cassie-Baxter jednačine su našle veću primenu s obzirom da uzimaju u obzir uticaj površinske hrapavosti na formiranje kontaktnog ugla (Ramón-Torregrosa et al., 2008, Chau et al., 2009, Prabhu et al., 2009, Diaz et al., 2010, Kubiak et al., 2011, Giljean et al., 2011).

Prilikom definisanja vrednosti statičkog kontaktnog ugla, s obzirom da je širenje tečnosti na površini čvrste faze uslovljeno silom teže kao i površinskim naponom tečne i čvrste faze, mora se pravilno definisati trenutak merenja statičkog kontaktnog ugla u odnosu na trenutak uspostavljanja prvog kontakta između datih faza.

Činjenica je da postoji promena vrednosti kontaktnog ugla usled interakcije tečne i čvrste faze, odnosno kap na površini čvrste faze ima tendenciju širenja do trenutka uspostavljanja ravnotežnog stanja. Stoga, statički kontaktni ugao nije dovoljan u cilju sveobuhvatne karakterizacije pojave kvašenja.

Ako se na kap koja je formirana na površini čvrste faze doda još tečnosti, kap će se ili širiti, čime se povećava kontaktna linija, ili će kontaktna linija ostati nepromenjena uz povećanje volumena kapi. Ako kapljica raste, povećava joj se kalota pri čemu nastaje kontaktni ugao pri napredovanju (advancing angle - θ_a). U suprotnom, ako se oduzima tečnost iz kapi, kalota se smanjuje bez promene linije kvašenja, te nastaje ugao pri povlačenju (receding angle θ_r) (Halldorsson, 2007, Grancarić et al., 2008). Razlika ova dva ugla naziva se histerza kontaktnog ugla:

$$\Delta\theta = \theta_a - \theta_r \quad (2.15)$$

Primarni uzroci histereze su hrapavost, hemijska heterogenost površine (tipovi mehaničke histereze) i molekularno restrukturiranje (hemijska histereza). Hemijska heterogenost se može javiti u slučaju kada čvrsta površina nije homogena, te je kvašenje različito u zavisnosti od mesta kapi na površini. U slučaju kvašenja vodom, hidrofilni delovi površine mogu ometati širenje kapi, povećavajući kontaktni ugao, dok hdrofobni imaju suprotno dejstvo – smanjuju kontaktni ugao. Površinska hrapavost utiče na kvašenje na način da ako je $\theta < 90^\circ$, posmatrani kontaktni ugao će se smanjivati sa povećanjem površinske hrapavosti. U slučaju da je $\theta > 90^\circ$, kontaktni ugao će se povećavati sa rastom površinske hrapavosti (Halldorsson, 2007). Stoga, poznavanje dinamike promene kontaktnog ugla, omogućava dublji uvid u morforlogiju ispitivane čvrste površine kao i adhezionna svojstva iste.

Dinamički kontaktni uglovi (θ_a , θ_r) dakle definišu proces na granici čvrsto/tečne faze tokom procesa povećanja ili smanjenja volumena kapi na površini čvrste faze (Kruss, 2012). Metodološki se dati uglovi mogu odrediti goniometrijskom metodom na način da se kap ispušta iz igle na površinu uzorka pri čemu se θ_a meri povećavanjem volumena kapi odnosno dodavanjem tečnosti u kap, dok se θ_r meri smanjenjem volumena kapi, odnosno oduzimanjem tečnosti iz kapi (Halldorsson, 2007, Kruss, 2012). Ova tehnika se široko primenjuje s obzirom da je dosta jednostavna i pogodna za primenu u ambijentalnim uslovima.

Dinamički kontaktni ugao se može karakteristi i kao promena vrednosti kontaktnog ugla na površini čvrste materije u funkciji vremena na način da se prati promena vrenosti u kontaktnom uglu kapi poznatog volumena u odnosu na definisanu vremensku skalu (Cigula et al., 2009).

2.3.2.2. Određivanje slobodne površinske energije

Određivanje slobodne površinske energije, njenog polarnog i disperznog dela, određuje se indirektno, merenjem kontaktnog ugla između tečnosti poznate slobodne površinske energije i ispitivane čvrste površine. Koja metoda će biti korištena zavisi od prirode same čvrste površine. Za ispitivanja polimernih površina može se koristiti OWRK metoda, kao univerzalana metoda, razvijena od strane Owensa, Wendta, Rabela i Kaeblea (DataPhysics Instruments, 2006).

Površinski napon svake faze se može predstaviti kao zbir polarne i disperzne komponente:

$$\sigma = \sigma^P + \sigma^D \quad (2.16)$$

Owens i Wendt upotrebljavaju jednačinu za površinski napon i uvrštavaju ju u Laplace - Youngovu jednačinu uz jednakost:

$$\gamma_{sl} = \sigma_s + \sigma_l - 2\left(\sqrt{\sigma_s^D \cdot \sigma_l^D} + \sqrt{\sigma_s^P \cdot \sigma_l^P}\right) \quad (2.17)$$

gdje je: γ_{sl} međufazni napon sistema čvrsto-tečno, σ_l površinski napon tečne faze, σ_s površinski napon čvrste faze, σ_s^D i σ_l^D disperzna faza površinskog napona (s-čvrsta faza, l – tečna faza), σ_s^P i σ_l^P polarna faza (Owens i Wendt, 1969).

Data jednačina i Laplace – Youngova jednačina (2.14) omogućavaju izračunavanje vrednosti kontaktnog ugla znajući vrednosti površinskih napona standardnih tečnosti.

Kaeble je jednačinu rešio kombinujući dve tečnosti računajući srednje vrednosti dobijenih vrednosti površinskog napona. Rabel računa polarni i disperzni deo površinskog napona kao:

$$\frac{(1+\cos\theta) \sigma_s}{2\sqrt{\sigma_l^D}} = \sqrt{\sigma_s^P} \sqrt{\frac{\sigma_l^P}{\sigma_l^D}} + \sqrt{\sigma_s^D} \quad (2.18)$$

Za određivanje slobodne površinske energije polimernih čvrstih materija može se koristiti i takozvani kiselo-bazni metod prema van Oss-u i Good-u (Halldorsson, 2007, Johnson, 2008, Grancarić et al., 2008).

U odnosu na prethodnu metodu, polarna komponenta se određuje na osnovu Lewisovog modela. Prema ovom modelu, polarna komponenta slobodne površinske energije čvrste i tečne komponente je podeljena na akceptorski deo prema Lewis kiselini (σ^+) i donorski deo prema Lewis bazi (σ^-) (Lee et al, 2011, Kruss, 2012).

Shodno činjenici da se suprotno naelektrisani polovi privlače, postoje interakcije između određenih suprotnih polova polarnih komponenti čvrste i tečne faze. Jednačina za međufazni napon sistema čvrsto – tečno prema Fowkes i Owens, Wendt, Rabel, Kaelble (2.16) je prilagođena kao:

$$\gamma_{sl} = \sigma_s + \sigma_l - 2\left(\sqrt{\sigma_s^D \sigma_l^D} + \sqrt{\sigma_s^+ \sigma_l^-} + \sqrt{\sigma_s^- \sigma_l^+}\right) \quad (2.19)$$

gdje je: γ_{sl} međufazni napon sistema čvrsto-tečno, σ_l površinski napon tečne faze, σ_s površinski napon čvrste faze, σ_s^D i σ_l^D disperzna faza površinskog napona (s-čvrsta faza, l – tečna faza), σ_l^+ , σ_s^+ i σ_l^- , σ_s^- akceptorski, odnosno donorski deo polarne faze (s-čvrsta faza, l – tečna faza).

Kako bi se izračunala slobodna površinska energija čvrste faze, kao i njen polarni odnosno disperzni deo, jednačina (2.19) se kombinuje sa Laplace – Youngovom jednačinom (2.14) odakle se dobija:

$$(1 + \cos \Theta)\sigma_l = 2\left(\sqrt{\sigma_s^D \sigma_l^D} + \sqrt{\sigma_s^+ \sigma_l^-} + \sqrt{\sigma_s^- \sigma_l^+}\right) \quad (2.20)$$

Ovaj metod ima i određenih nedostataka. Jedan od njih je što rezultat proračuna često pogrešno pokazuje da čvrsta faza ima bazni karakter. Ova greška se javlja kao posledica jačeg donorskog udela (σ^-) u odnosu na akceptorski udeo (σ^+) u standardnim tečnostima. Model pokazuje i matematičku nestabilnost u smislu da se proračunom mogu dobiti i negativne vrednosti ispod kvadratnog korena u jednačini. Razlog tome je nedostatak adekvatno karakterisanih test tečnosti visoke vrednosti površinskog napona (Halldorsson, 2007).

2.4. Površinska hrapavost

Pod pojmom hrapavost podrazumevaju se sve nepravilnosti na površini materijala koje su posledica obrade materijala, ali koje ne uključuju talasastost, odstupanje od oblika i površinske greške. S obzirom na izuzetnu kompleksnost sistema, s ciljem pojednostavljenja, ocena i analiza hrapavosti ispitivane površine vrši se preko jednodimenzionalnih parametara hrapavosti proisteklih iz dvodimenzionalnog profila površine (Mahović, 2007). Merenje ISO parametara hrapavosti je uslovljeno vrstom mernog uređaja, podešavanjima samog uređaja, metodom obrade podataka te mikrostrukturom merene površine. Struktura površine samog materijala je najčešće jedan od osnovnih parametara koji definiše njegova upotrebna svojstva (Risović et al., 2009). Kada je reč o flekso štampi, prenos boje je direktno uslovljen podlogom za štampu te osobinama same štamparske forme posmatrano u funkciji pritiska i brzine štampe. Ranija istraživanja su pokazala da, kada je reč o održavanju adekvatnog kvaliteta štampe, površinska hrapavost štamparske forme ima mnogo veću važnost od površinske energije (Baross, 2010).

Vrednost površinske hrapavosti štampajućeg elementa na flekso štamparskoj formi uslovljene su vrstom samog fotopolimera. Tipično, vrednosti površinske hrapavosti analognih i digitalnih flekso štamparskih formi koje se razvijaju u prisustvu organskog rastvarača je u interval od 0.08 μm do 0.150 μm (Choi i O'Brate, 2010). Površinska hrapavost digitalnih flekso štamparskih formi koje se razvijaju termalnim postupkom kreće se u interval od 0.500 μm do 0.700 μm (Choi i O'Brate, 2010). Veće vrednosti površinske hrapavosti u direktnoj su vezi sa vrstom materijala i njegovom površinskom strukturom koji se koristi u toku procesa uklanjanja neosvetljenog fotopolimera pri termalnom postupku razvijanja. Tkanina sa izraženijom strukturom površine utiče na povećanje površinske hrapavosti štampajućih elemenata. Uopšteno govoreći, ako je površinska hrapavost štampajućeg elementa veća od 1 μm , može se očekivati negativan uticaj na optičku gustinu punog tona. Naime, optička gustina će biti smanjena uz pojavu nejednakog prenosa boje na polju punog tona usled nemogućnosti postizanja bliskog i ujednačenog kontakta između površine štamparske forme i podloge koja se štampa (Choi i O'Brate, 2010).

U literaturi se navodi više od trideset parametara hrapavosti a njihov izbor i broj zavisi od funkcije površine i procesa primene (Mahović, 2007, Pavlović, 2012).

Profil površine predstavlja presek realne površine sa određenom ravni, dok je profil hrapavosti (R) osnova za merenje parametara hrapavosti profila, a profil valovitosti (W) je profil koji proizlazi iz primarnog profila (P) hrapavosti. Referentna dužina je odabrana dužina jednog odsečka profila, koja omogućava određivanje hrapavosti tako da bude uklonjen uticaj drugih tipova nepravilnosti, dok je posmatrana dužina dela površine potrebna za određivanje parametara hrapavosti i može sadržiti više referentnih dužina (Križan, 1984).

Uopšteno, parametri hrapavosti mogu se podeliti u tri osnovne kategorije i to (Künzler, 2007, Mahović, 2007, Pavlović, 2012): amplitudni, uzdužni i hibridni parametri hrapavosti.

Amplitudni parametri hrapavosti predstavljaju meru vertikalnih karakteristika odstupanja površine. Dati parametri su u potpunosti određeni visinama vrhova ili dubinama udubljenja ili oboje, nezavisno o horizontalnim razmacima hrapavih nepravilnosti površine (Križan, 1984). Uzdužni parametri hrapavosti su parametri koji su potpuno određeni uzdužnim razmacima hrapavih nepravilnosti površine, nezavisno od amplituda vrhova i udubljenja. Hibridni parametri hrapavosti su parametri koji zavise i od amplituda vrhova i udubljenja, i od horizontalnih razmaka, tj. to su parametri koji zavise od oblika profila.

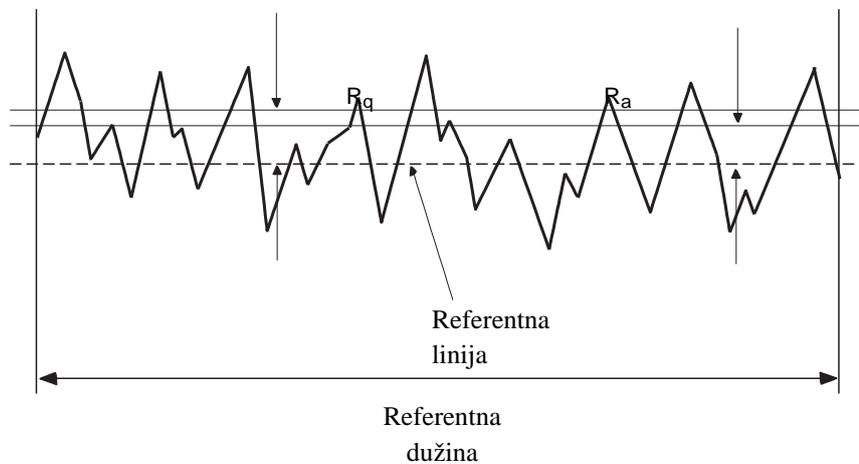
Kao najčešće ispitivani parametri hrapavosti na flekso štamparskim formama su (Dedijer i Novaković, 2010, Johnson et al. 2008, Dedijer et al., 2011):

- a) R_a - srednje aritmetičko odstupanje profila (aritmetička sredina apsolutnih vrednostikordinata $Z(x)$ unutar referentne dužine):

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx \quad (2.21)$$

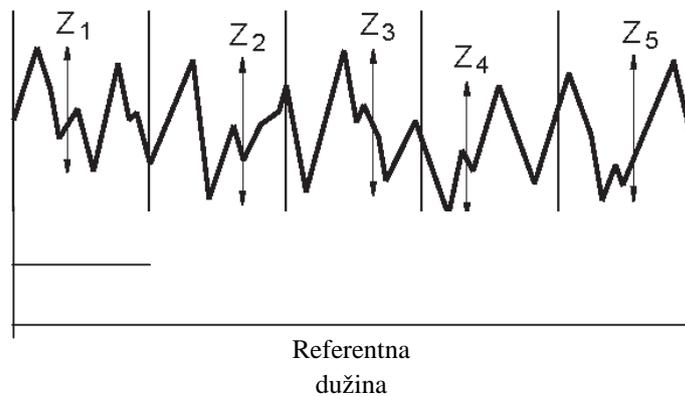
- b) R_q (Rms) - srednje geometrijsko odstupanje profila (kvadratni koren iz aritmetičke sredine kvadrata odstupanja svih tačaka profila od referentne linije):

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l y^2(x) dx} \quad (2.22)$$



- c) R_z - srednja visina neravnina (srednja vrednost pojedinačnih dubina hrapavosti Z određenih na pet uzastopnih referentnih dužina):

$$R_{zDIN} = \frac{1}{n} (Z_1 + Z_2 + \dots + Z_n) \quad (2.23)$$



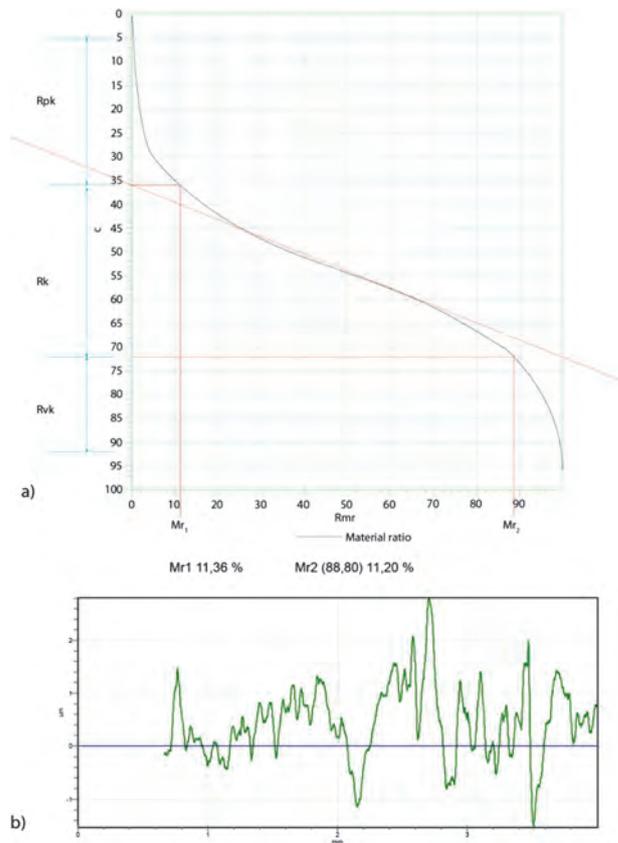
- d) R_p - najveća visina vrha profila (najveća visina vrha profila unutar referentne dužine),
- e) R_v - najveća dubina udubljenja profila (najveća dubina udubljenja profila Z_v unutar referentne dužine).

U uzdužne parametre hrapavosti spadaju broj vrhova profila S , HSC (suma istaknutih tačaka), odnosno, broj svih vrhova profila unutar dužine procene (10 mm) koje se nalaze iznad srednje linije ili iznad linije paralelne sa srednjom linijom (Mahović, 2007, Pavlović, 2012).

Hibridni parametri hrapavosti obuhvataju (Mahović, 2007, Cigula, 2011, Pavlović, 2012):

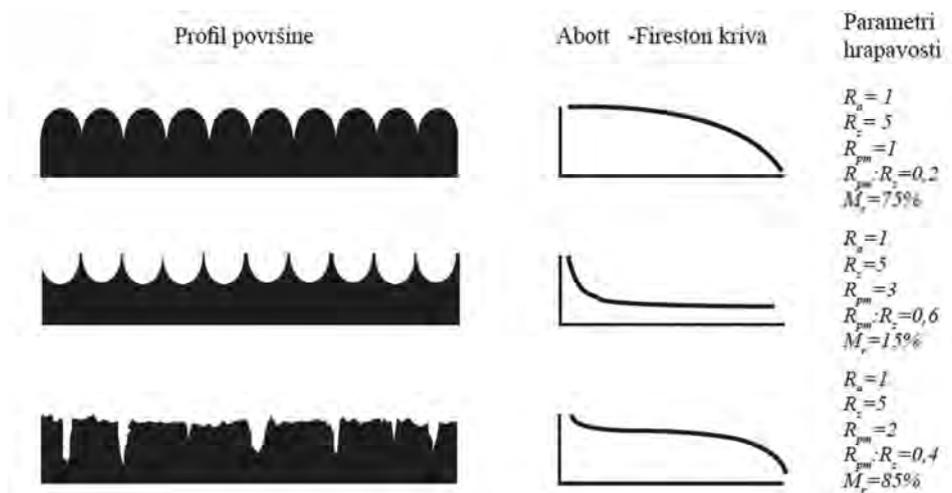
- a) R_{pk} - redukovana visina vrhova profila (glavni deo površine koji će brzo biti istrošen nakon početka štampe);
- b) R_k - dubina jezgra hrapavosti profila (radna površina dugog veka koja će uticati na kvalitet i trajnost štamparske forme);
- c) R_{pm} - srednja visina vrha profila;
- d) R_{vk} - redukovana dubina udubljenja profila;
- e) M_{r1} - udeo materijala koji odgovara gornjoj granici jezgra hrapavosti profila;
- f) M_{r2} - udeo materijala koji odgovara donjoj granici jezgra hrapavosti profila.

Navedeni parametri određeni su isključivo za specifičnu kontrolu trošenja određene površine i definisani su prema standardu ISO/DIS 13565/2-1949,10 na krivi relativne nosive dužine profila, tzv. Abbott -Firestonovoj krivi, koja daje relativni udeo materijala kao funkciju visine linije preseka i opisuje relativni porast udela materijala sa povećanjem profila (ISO/DIS 13565 1, 2, 3 (1994)) (slika 2.13).



Slika 2.13: Izgled Abbott -Firestonove krive (a) sa naznačenim vrednostima navedenih parametara za neki karakteristični profil (b) unutar referentne dužine

Whitehead et. al (1999), Mahović – Poljaček et al. (2007), ukazuju da površina sa istim vrednostima parametara hrapavosti R_a i R_z može imati potpuno različit profil površine i različitu Abbott -Firestonovu krivu (slika 2.14).



Slika 2.14: Prikaz profila površine i Abbott -Firestonove krive

Danas postoji više različitih metoda kojima je moguće opisati površinsku hrapavost. Jednu grupu metoda čine metode zasnovane na snimanju površine, kao što su SEM (eng. scanning electron microscopy) ili AFM (atomic force microscopy), dok drugu grupu metoda čine profilometrijske metode kao što su MSP (eng. mechanical stylus profilometry) ili bezkontaktna laserska profilometrijska metoda (Risović et al., 2009). Koja od metoda će biti odabrana zavisi od same površine koja se ispituje. Literarni navodi ukazuju da je preporučljivo kombinovanje više metoda kako bi se dobio uvid svih parametara koji su od značaja za definisanje površinske hrapavosti posmatrane površine (Othmani i Kaminsky, 1999).

Najčešće korišćen uređaj za merenje površinske hrapavosti jeste uređaj sa kontaktnom iglom (Seitavuopio, 2006, Künzler, 2007). Merenje se odvija na način da merna glava prevlači iglu preko merne površine konstantnom brzinom. Informacije o profilu površine se konvertuju u električni signal rezultujući 2D ili 3D prikazom profila površine. Merna igla je najčešće dijamantska, kupastog oblika, prečnika $\sim 0.1 \mu\text{m}$ - $10 \mu\text{m}$ i ugla 60° ili 90° (Seitavuopio, 2006). Instrumente sa kontaktnom iglom odlikuje vertikalni raspon do nekoliko milimetara, sa najboljom rezolucijom na nanometrijskom nivou i mogućnosti skeniranja do stotog podeljka milimetra. Prednosti ovakvog merenja su relativna jednostavnost upotrebe, širok merni opseg, dostupnost mernih standarda i mogućnost merenja transparentnih površina. Kao nedostaci se ističu vremenska zahtevnost merenja, mogućnost oštećenja površine mernom iglom, otežano merenje tankih i mekih površina te nemogućnost merenja sitnih uzoraka (Seitavuopio, 2006, Künzler, 2007).

3. EKSPERIMENTALNI DEO

U okviru flekso tehnike štampe, u domenu izrade štamparskih formi, kao ključni faktori koji determinišu njenu kasniju upotrebnu funkciju izdvajaju se optimalna vremena trajanja svih faza izrade uz postizanje brže izade flekso štamparske forme kako bi se obezbedila visoka produktivnost s jedne strane te optimalan kvalitet izrade i funkcionalnost s druge strane. Eksperimentalni put koji čine niz testova predviđenih za definisanje procesnih parametara izrade predstavlja jedini način iznalaženja usaglašenog procesa koji će kasnije biti ponovljiv na sistemima iste konfiguracije. Znanje o nivou uticaja svakog od parametara, te njihove međusobne interakcije predstavljaju ključne elemente koji omogućavaju predviđanje reprodukcije štampajućih elemenata na flekso štamparskim formama.

Eksperimentalni deo istraživanja je fokusiran na karakterizaciju modela procesne analize parametara izrade flekso štamparske forme. Svaka promena površine direktno utiče na samu štamparsku formu i kasniji postupak štampanja. Promene na površini uzorka klasifikuju se kao promene nastale usled izrade štampajućih i neštampajućih elemenata kao i promene nastale usled eksploatacije u toku postupka štampe te međusobne interakcije štamparske boje, podloge za štampu i štamparske forme. Kod tačne i kvalitetne reprodukcije štampajućih elemenata od izuzetne je važnosti definisati odgovarajuću korelaciju između procesnih parametara izrade kako bi se omogućila egzaktna kontrola samog procesa reprodukcije u grafičkom radnom toku. Karakterizacija procesnih parametara izrade flekso štamparske forme predstavlja kompleksan sistem gde do izražaja dolaze određene karakteristike ne samo štamparske forme već i upotrebljene boje i substrata koji se štampa. Flekso štamparska forma kao kompleksan trodimenzionalni sistem, u interakciji sa bojom i podlogom za štampu, može se opisati sa više kvantitativnih i kvalitativnih metoda. Definisanjem, merenjem i kvantifikovanjem procesnih parametara izrade, topografije površine (površinske hrapavosti), površinske energije u korelaciji sa kontaktnim uglom boje omogućava se postavljanje referentnih veličina za definisanje modela izrade i predviđanja kasnijeg ponašanja štamparske forme u postupku otiskivanja. Egzaktno definisanje pomenutih veličina stvara uslov za precizno i tačno određivanje celokupnog seta parametara u pripremi i izradi flekso štamparske forme što u konačnom definiše i krajnji kvalitet dobijenog otiska.

Razvojem modela procesne analize parametara izrade flekso štamparske forme može se značajno unaprediti proces dobijanja kvalitetnog i pouzdanog rešenja štamparske forme. Definisanjem ponovljivih i tačnih parametara izrade postiže se konstantnost u dobijenom krajnjem kvalitetu što predstavlja prvi korak ka neophodnoj optimizaciji i ponovljivosti procesa.

Eksperimentalni deo rada obuhvata istraživanja dve jednoslojne, čvrste (čvrsti polimer) CtP (digitalne) flekso štamparske forme iste debljine: digitalna flekso štamparska forma

koja se razvija termalnim postupkom i digitalna štamparska forma koja se razvija u prisustvu organskog razvijaača.

Na štamparskim formama koje se termalno razvijaju izvršena su ispitivanja uticaja sledećih fakotora:

- Ispitivanje uticaja vremena trajanja predosvetljavanja (izloženost dejstvu UVA zračenja u različitim vremenskim intervalima) na formiranje dubine reljefa flekso štamparske forme;
- Ispitivanje uticaja vremena trajanja glavnog osvetljavanja (izloženost dejstvu UVA zračenja u različitim vremeskim intervalima) i primenjenog broja obrtaja pri termalnom razvijanju (vremenski različita dužina trajanja razvijanja) na formiranje dubine reljefa flekso štamparske forme;
- Ispitivanje uticaja vremena glavnog osvetljavanja (izloženost dejstvu UVA zračenja u različitim vremneskim intervalima) i primenjenog broja obrtaja pri termalnom razvijanju (vremenski različita dužina trajanja razvijanja) na tvrdoću flekso štamaprskne forme;
- Ispitivanje uticaja vremena glavnog osvetljavanja (izloženost dejstvu UVA zračenja u različitim vremeskim intervalima) i primenjenog broja obrtaja pri termalnom razvijanju (vremenski različita dužina trajanja razvijanja) na formiranje štampajućih linijskih elemenata različite širine (praćeno preko promene u njihovoj širini);
- Ispitivanje uticaja vremena glavnog osvetljavanja (izloženost dejstvu UVA zračenja u različitim vremeskim intervalima) i primenjenog broja obrtaja pri termalnom razvijanju (vremenski različita dužina trajanja razvijanja) na formiranje štampajućih elemenata oblika kruga (pojedinačne tačke) različitih prečnika (praćeno preko promene u njihovoj površini);
- Ispitvanje uticaja vremena glavnog osvetljavanja (izloženost dejstvu UVA zračenja u različitim vremeskim intervalima) i primenjenog broja obrtaja pri termalnom razvijanju (vremenski različita dužina trajanja razvijanja) na formiranje pojedinačne rasterske tačke na poljima određene tonske vrednosti (praćeno preko promene u njihovoj površini);
- Ispitvanje vremena glavnog osvetljavanja (izloženost dejstvu UVA zračenja u različitim vremeskim intervalima) i primenjenog broja obrtaja pri termalnom razvijanju (vremenski različita dužina trajanja razvijanja) na promenu mikro strukture površine flekso štamaprskne forme (praćeno na polju punog tona);

Data istraživanja treba da ukažu na trend promene i veličinu promene ispitivanog elementa u funkciji varijabilnih parametara. Navedena istraživanja su izvršena primenom adekvatnih mernih metoda:

- Promene u dubini reljefa praćene su kroz rezultate merenja debljine mikrometrom (preciznost 0.01 mm);
- Promene u tvrdoći štamparske forme praćene su kroz rezultate merenja tvrdoće durometrom (prema smernicama definisanim u okviru standarda DIN 53505 Sh A);
- Promene u širini i površini štampajućih elemenata (linijskih, kružnih i pojedinačne tačke) praćene su kroz rezultate digitalne analize i obrade slike na osnovu mikroskopskih snimaka dobijenih sa SEM mikroskopom i CCD kamerom (opto-elektronskom uređajem);
- Promene u strukturi površine (topografija mikropovršina) praćene su preko vrednosti adekvatnih amplitudnih parametara hrapavosti dobijenih primenom kontaktne metode za merenje površinske hrapavosti, sa elektro-mehaničkim uređajem sa mernom iglom (Mechanical Stylus Profilometry – MSP);

Druga etapa istraživanja obuhvata:

- Uporednu analizu reprodukcije rasterskih elemenata na štamparskoj formi koja se razvija termalnim postupkom i na štamparskoj formi koja se razvija u prisustvu organskog razvijaa. Ispitivane štamparske forme su izrađene prema unapred, prethodno utvrđenim uslovim izrade, koji rezultuju adekvatnom reprodukcijom štampajućih elemenata. Akcenat je stavljen na analizu rasterskih elemenata u oblasti niskih i visokih tonskih vrednosti što ukazuje na mogućnost i nivo kvaliteta reprodukcije;
- Uporednu analizu reprodukcije linijskih elemenata u pozitivu i negativu na pomenutim štamparskim formama što ukazuje na mogućnost i preciznost reprodukcije istih;
- Uporednu analizu reprodukcije elemenata oblika kruga (pojedinačnih tačaka) u pozitivu što ukazuje na mogućnost i preciznost reprodukcije datih elemenata u slučaju dve različite flekso štamparske forme;
- Uporednu analizu reprodukovanih tekstualnih elemenata u pozitivu i negativu što ukazuje na mogućnost i preciznost reprodukcije istih;
- Uporednu analizu strukture površine (praćeno na polju punog tona) što ukazuje na površinska svojstva i njihovu razliku u pogledu mikrohrapavosti površine u slučaju dve različite flekso štamparske forme;

- Usporednu analizu vrednosti kontaktnog ugla u slučaju primene različitih referentnih tečnosti i određivanja slobodne površinske energije (njene polarne i dispresne faze) u slučaju obe štamparske forme što utiče na kasniju eksploataciju štamparske forme u toku procesa otiskivanja u interakciji sa štampaskom bojom;
- Usporednu analizu ponašanja štamparske boje različitog viskoziteta na površini punog tona obe štamparske forme, praćeno preko vrednosti kontaktnog ugla što pokazuje kako fizičko – hemijska svojstva različitih fleksa štamparskih formi utiču na adsorbciju različitih kompozicija boje;

Analiza reprodukcije rasterskih elemenata, linijskog i kružnog elementa je izvršena kvalitativno i kvantitativno - kvalitativno ispitivanje vršeno je preko SEM mikroskopskih snimaka s ciljem utvrđivanja reprodukcije na nivou pojedinačne rasterske tačke dok su kvantitativna ispitivanja izvršena primenom metoda u okviru digitalne obrade i analize slike. Analiza topografije površine je izvršena primenom kontaktne profilometrijske metode, dok je ispitivanje slobodne površinske energije i kontaktnog ugla izvršeno primenom OWRK metode izračunavanja slobodne površinske energije te Laplace – Young metoda u slučaju definisanja vrednosti kontaktnog ugla.

Kroz navedena istraživanja omogućene su osnove za razvoj ponovljivog modela procesne izrade fleksa štamparske forme u okviru jednog celovitog fleksografskog postupka.

3.1. Uredaji, metode i materijali

3.1.1. Karakteristike i proces izrade štamparskih formi, karakteristike uređaja za oslikavanje i razvijanje

Za potrebe sprovedenih istraživanja korištene su dve vrste digitalnih fleksa štamparskih formi debljine 1.14 mm: DuPont TM Cyrel ® DFH 045 i MacDermid Digital Rave 045. U daljem tekstu štamparska forma DuPont TM Cyrel ® DFH 045 biće označena kao štamparska forma A, dok će MacDermid Digital Rave 045 biti označena kao štamparska forma B. Date štamparske forme karakterišu se različitim postupkom razvijanja nakon glavnog osvetljavanja. Naime, štamparsku formu A karakteriše termalni postupak razvijanja, koji ne podrazumeva upotrebu hemijskih supstanci u procesu obrade, dok štamparsku formu B karakteriše proces razvijanja u prisustvu organskog hemijskog rastvarača. Stoga, štamparska forma B zahteva sušenje u odgovarajućem vremenskom periodu, dok u slučaju štamparske forme A sušenje nije potrebno. S obzirom da se odlikuju principijelno drugačijim tehnološkim postupkom izrade, princip izrade i karakteristike datih formi kao i korištenih tehnoloških sistema za njihovo procesiranje je objašnjeno zasebno.

Štamparske forme koje se razvijaju termalnim postupkom razvijanja – štamparske forme A. Osnovne tehnološke karakteristike korištene štamparske forme

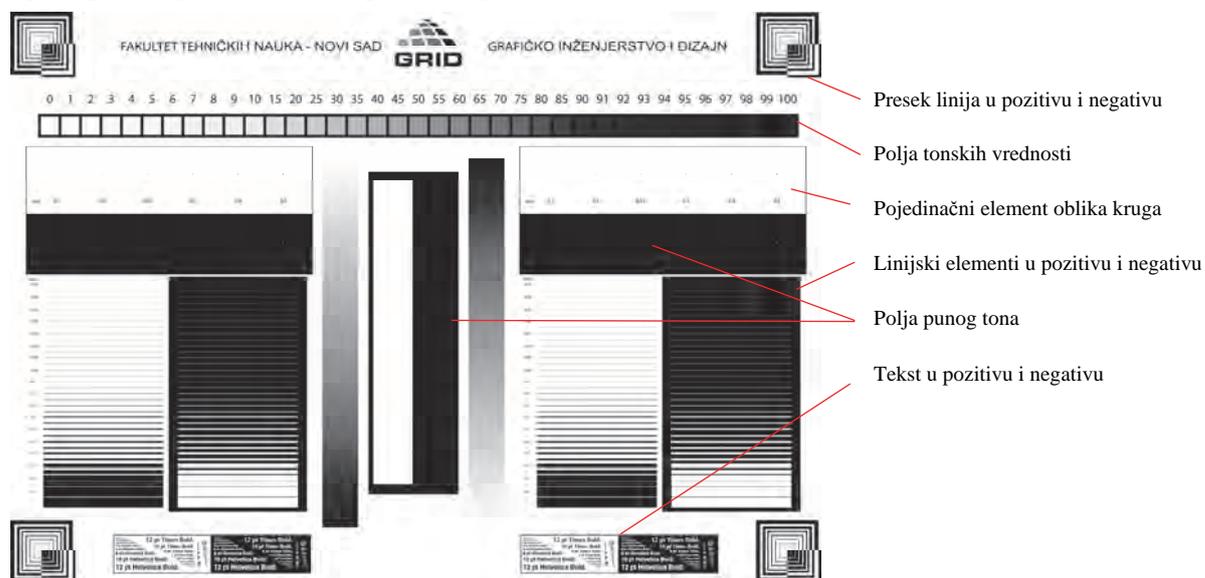
A definisane od strane proizvođača, date su u tabeli 3.1. Štamparske forme koje su korištene u istraživanju bile su skladištene prema propisanim zahtevima - u originalnoj kutiji i zaštitnoj foliji u ravnom položaju, u hladnoj prostoriji udaljeno od izvora toplote. U toku rada, forme nisu bile izložene direktno uticaju dnevne svetlosti niti UV zračenju (u radnoj prostoriji je zaštitno žuto svetlo, radna temperatura u prostoriji 26⁰C).

Tabela 3.1: Osnovne tehnološke karakteristike štamparske forme A

Debljina	1.14 mm
Tvrdoća	75 Sh A
Reprodukcija tonских vrednosti	1 - 98 %
Maksimalna preporučena linijatura rastera	60 l/cm
Minimalni prečnik pojedinačnog kružnog elementa (tačke) u pozitivu	200 μm
Minimalna širina linije u pozitivu	0.050 mm
Preporučena dubina reljefa	0.55 mm

Oslikavanje štamparskih formi formata 1100 x 900 mm vršeno je na CDI Spark 4835 Escro Expoze uređaju (sa spoljašnjim bubnjem i jednim laserskim zrakom) primenom klasičnog, AM rastriranja (rezolucija 5080 ppi) i linijature 50 l/cm.

Izgled primenjene test karte prikazan je na slici 3.1.



Slika 3.1: Primenjena test karta za izradu digitalne (CtP) flekso štamparske forme A

Data test karta razvijena je na departmanu za Grafičko inženjerstvo i dizajn s obzirom da nije postojala standardna test karta koja svojim elementima zadovoljava potrebe

istraživanja. Test karta je osmišljena tako da poseduje sve potrebne elemente kao što su: polja tonskih vrednosti od 1 – 100% (1 – 10% i 90 – 100% sa korakom od 1%, 10 – 90% sa korakom od 5%), pojedinačni kružni element u pozitivu inicijalnog prečnika od 0.1 – 0.5 mm (korak od 0.1 mm), linijski elementi u pozitivu i negativu inicijalne širine od 0.03 – 1 mm (korak od 0.01 mm) i 1 – 5 mm (korak od 1 mm), presek linija u pozitivu i negativu (0.002 – 2 mm), polja punog tona i tekstualne elemente u pozitivu i negativu veličine 1 - 6 pt (korak od 1 pt) i 8 – 12 pt (korak od 2 pt).

Predosvetljavanje, glavno osvetljavanje kao i naknadno osvetljavanje štamparskih formi vršeno je u uređaju DuPont™ Cyrel® 1000 ECLF. Pre nego što se pristupilo osvetljavanju ploča, izvršeno je testiranje intenziteta zračenja UV lampi (80 W) po jedinici površine UV-metrom Kühnast Stralungstechnick (UV-A metar 315 – 400 nm, max. 360 nm). Test je pokazao da su lampe odgovarajućeg intenziteta - srednja vrednost intenziteta lampi po jediničnoj površini iznosila je 20,2 mW/cm².

Razvijanje ploča vršeno je u uređaju za termalno razvijanje DuPont™ Cyrel® FAST 1000 TD.

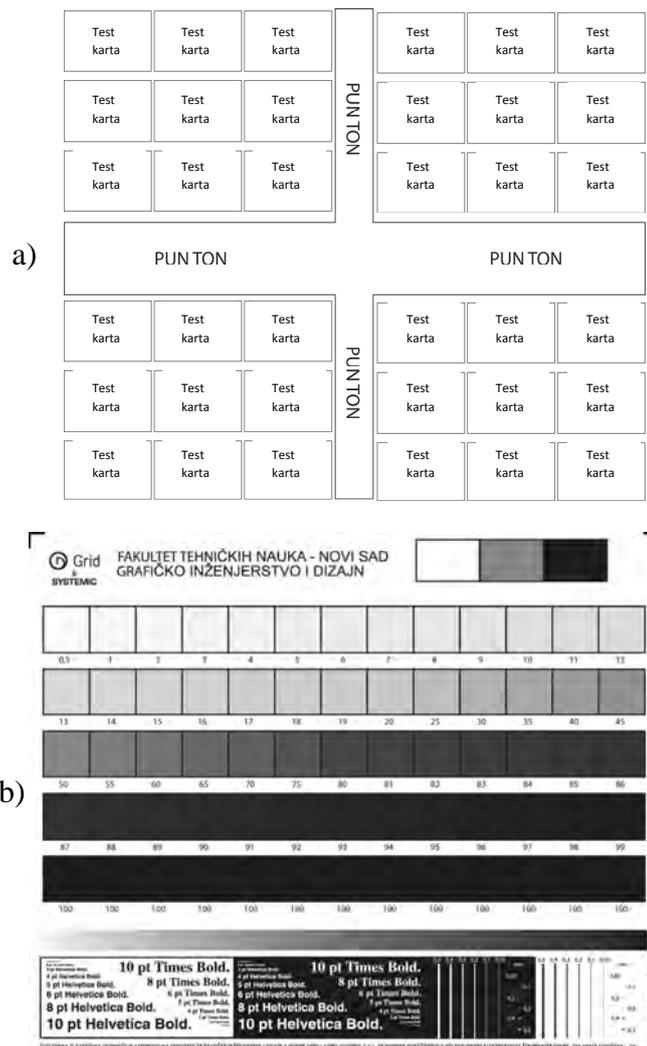
U okviru sprovedenog istraživanja, izrađen je set štamparskih formi sa sledećim karakteristikama:

1. Vreme predosvetljavanja: 50 sekundi;
2. Vremena glavnog osvetljavanja: 8, 10, 12, 14 minuta;
3. Vreme naknadnog osvetljavanja: UVA – 7 minuta, UVC -7 minuta;
4. Razvijanje – primenom 8 i 10 obrtaja rotirajućeg cilindra nosioca štamparske forme u uređaju za razvijanje (primenjeno u slučaju četiri navedena vremena glavnog osvetljavanja);

Time su dobijeni uzorci štamparskih formi označeni kao 8 – I, 10 – I, 12 – I, 14 – I (vremena glavnog osvetljavanja 8, 10, 12 i 14 minuta i termalno razvijanje primenom 8 obrtaja cilindra - I), 8 – II, 10 – II, 12 – II, 14 – II (vremena glavnog osvetljavanja 8, 10, 12 i 14 minuta i termalno razvijanje primenom 10 obrtaja cilindra - II). Dati uzorci korišteni su za ispitivanje uticaja različitog vremena glavnog osvetljavanja i različitog razvijanja na formiranje pojedinačnog elementa kružnog oblika (tačke) u pozitivu, formiranje linijskih elemenata, tvrdoću i debljinu štamparske forme, reprodukciju pojedinačne rasterske tačke na odabranim poljima odgovarajućih tonskih vrednosti (8%, 30% i 50%) kao i za ispitivanje uticaja glavnog osvetljavanja i razvijanja na promenu strukture površine flekso štamparske forme praćeno preko amplitudnih parametara hrapavosti. Takođe, pokazan je i uticaj predosvetljavanja, glavnog osvetljavanja i razvijanja na formiranje dubine reljefa štamparske forme.

Prema utvrđenim i usvojenim parametrima izrade (primena klasičnog, AM rastriranja (rezolucija 5080 ppi), linijature 50 l/cm, bump up kriva od 7%, vreme predosvetljavanja 50 sekundi, vreme glavnog osvetljavanja 12 minuta, naknadno

osvetljavanje 14 minuta - UVA 7 minuta, UVC 7 minuta, razvijanje 10 obrtaja cilindra) izvršena je ponovna izrada štamparske forme formata 1100 x 900 mm, u cilju detaljnije analize reprodukovanih štampajućih elemenata i utvrđivanja ponovljivosti izrade, te analize površinskih karakteristika punog tona (površinska hrapavost), kontaktnog ugla i površinske energije u komparaciji sa CtP flekso štamparskom formom koja se razvija u prisustvu organskog razvijaja. Takođe, na datoj štamparskoj formi izvršena je analiza reprodukcije opsega tonskih vrednosti (sa akcentom na reprodukciju tačke na polju od 1% i 98%), reprodukcija linijskih elemenata u pozitivu i negativu (praćeno preko njihove širine), pojedinačnog štampajućeg elementa oblika tačke, kao i analiza reprodukcije teksta u pozitivu i negativu.



Slika 3.2: Prikaz korištene test forme: a) test forma formata 1100 x 900 mm, b) izgled pojedinačne test karte

Sama test karta za navedena istraživanja imala je izgled predstavljen na slici 3.2. Data test karta je takođe razvijena na departmanu za Grafičko inženjerstvo i dizajn u saradnji sa kompanijom Systemic, Beograd.

Štamparske forme koje se razvijaju u prisistvu organskog razvijaa – štamparske forme B. Osnovne tehnološke karakteristike korištene štamparske forme, definisane od strane proizvođača, date su u tabeli 3.2. Štamparska forma koja je korištena u istraživanju bila je skladištena prema propisanim zahtevima - u originalnoj kutiji i zaštitnoj foliji u ravnom položaju, u hladnoj prostoriji udaljeno od izvora toplote. U toku rada, štamparska forma nije bila izložena direktnom uticaju dnevne svetlosti niti UV zracima.

Tabela 3.2: Osnovne tehnološke karakteristike štamparske forme B

Debljina	1,14 mm
Tvrdoća	60 Sh A
Reprodukcija tonskih vrednosti	1 – 99%
Maksimalna preporučena linijatura rastera	do 80 l/cm
Minimalni prečnik pojedinačnog kružnog elementa (tačke) u pozitivu	0.127 mm
Minimalna širina linije u pozitivu	0.076 mm

Oslikavanje je vršeno je na CDI Spark 4835 Escro Expoze uređaju (sa spoljašnjim bubnjem i jednim laserskim zrakom) primenom klasičnog, AM rastriranja (rezolucija 5080 ppi) sa bump up krivom na 7% i linijature 50 l/cm.

Predosvetljavanje, glavno osvetljavanje kao i naknadno osvetljavanje vršeno je u uređaju Mekrom Concept 302, dok je razvijanje vršeno u uređaju Mekrom Concept 305 DW Processor.

U okviru sprovedenog istraživanja, izrađena je štamparska forma sa sledećim karakteristikama:

1. Vreme predosvetljavanja: 40 sekundi;
2. Vremena glavnog osvetljavanja: 10 min;
3. Vreme naknadnog osvetljavanja: UVA – 10 min, UVC 10 min;
4. Razvijanje: 155 mm/min;
5. Sušenje: 100 min;

Test forma izrađena je u formatu 1100 x 900 mm i imala je izgled kao i štamparska forma A (slika 3.2). Data štamparska forma korištena je za detaljnu analizu reprodukovanih štampajućih elemenata (analiza reprodukcije opsega tonskih vrednosti sa akcentom na reprodukciju tačke na polju od 1% i 98%, reprodukcija linijskih elemenata u pozitivu i negativu, pojedinačnog štampajućeg elementa oblika tačke, teksta u pozitivu i negativu), te analizu površinskih karakteristika punog tona

(površinska hrapavost), kontaktnog ugla i površinske energije u komparaciji sa CtP flekso štamparskom formom koja se razvija termalnim postupkom.

3.1.2. Karakteristike boje za štampu

U okviru sprovedenog eksperimenta vršena su i ispitivanja koja se tiču kontaktnog ugla štamparske boje na površini punog tona štamparske forme A i štamparske forme B u zavisnosti od procentualnog udela razređivača i laka u boji, odnosno u zavisnosti od postignutog viskoziteta boje. Uzorci boje koji su pri tome korišteni bili su komercijalni uzorci crne boje koja se koristi u realnom fleksografskom procesu. Proizvođač crnog pigmenta (na bazi čađi) u boji je SunChemical, dok je proizvođač ostalih komponenti Flint Balkan Group.

Korištena crna boja sačinjena je od sledećih komponenti: tečni pigmentni koncentrat na bazi poliuretanskog veziva, neorganskog pigmenta i organskih rastvarača (base black slow), tehničkog laka na bazi nitroceluloznog/poliuretanskog veziva i organskih rastvarača (base technology varnish), laka na bazi nitroceluloznog veziva i organskih rastvarača (base varnish) i razređivača za boje na bazi nitroceluloze (solvent). Tečni pigmentni koncentrat na bazi poliuretanskog veziva, neorganskog pigmenta i organskih rastvarača (base black slow) čini tečni koncentrovani crni anorganski pigment rastvoren u poliuretanskom vezivu i organskom rastvaraču: hemijska smeša nitroceluloze, etil acetata, etil alkohola i 1 – metoksi – 2 – propanola.

Tehnički lak na bazi nitroceluloznog/poliuretanskog veziva i organskih rastvarača (base technology varnish) je baziran na nitroceluloznom/poliuretanskom vezivu i organskim rastvaračima: hemijska smeša nitroceluloze, etil acetata, etil alkohola 1 – metoksi – 2 propanola, 1 – propoksi – 2 propanola i 3 – metoksi – 1 – bitanola.

Lak na bazi nitroceluloznog veziva i organskih rastvarača (base varnish) čini nitrocelulozno vezivo rastvoreno u organskom rastvaraču: hemijska smeša nitroceluloze, etil acetata, etil alkohola, 1 – metoksi – 2 propanola i n – propanola. Razređivač za boje na bazi nitroceluloze je organskog porekla i koristi se za boje na bazi nitroceluloze.

Uzorci boje bili su napravljeni na način da je udeo baznog laka i razređivača variran. Udeo svake od komponenti u korištenim uzorcima boje dat je u tabeli 3.3, dok su odgovarajuće vrednosti viskoziteta predstavljene u tabeli 3.4. Viskozitet boje meren je Brookfield DV /II+ Pro viskozimetrom na temperaturi od 23⁰C.

Tabela 3.3: Udeo komponenti u uzorcima boje

Uzorak boje	Base black slow (g)	Base technology varnish (g)	Base varnish (g)	Solvent (g)
I	500	300	100	100
II	500	300	120	110
III	500	300	110	110
IV	500	300	105	110
V	500	300	100	110
VI	500	300	100	120

Tabela 3.4: Vrednosti viskoziteta uzoraka boje

Uzorak boje	I	II	III	IV	V	VI
Viskozitet (mPas)	39.2	29.2	26.6	24.2	20.8	15.7

3.1.3. Analiza štampajućih elemenata štamparske forme - SEM analiza, analiza optičkim mikroskopom i analiza opto-elektronskim mernim uređajem sa CCD kamerom

U cilju karakterizacije reprodukovanih štampajućih površina na flekso štamparskim formama (formiranje rasterske tačke za različite tonske vrednosti i linijskog elementa) vršena je SEM (eng. Scanning Electron Microscope) analiza ispitivanih površina. Za potrebe istraživanja korišćen je skenirajući elektronski mikroskop JEOL JSM-6460 (slika 3.3).



Slika 3.3: Skenirajući elektronski mikroskop JEOL JSM-6460

Skenirajući elektronski mikroskop – SEM pruža mogućnost detaljne analize strukture (uvećanje do 300 000 puta), detekciju faza u strukturi, njihovu orijentaciju, nehomogenost i defekte strukture pri čemu su izlazne informacije morfološkog karaktera. SEM tehnika ne nameće restrikciju veličine uzorka, osim one koja je određena veličinom komore. Uzorci se naparavaju slojem različitog materijala: ugljenik, legura zlato-paladijum, volfram, bakar, aluminijum, itd, radi poboljšavanja kontrasta na samom uzorku. Elektronski top jačine od nekoliko stotina eV do 40 eV sa vrha kolone SEM-a fokusira se pomoću sočiva na uzorak i vrši skeniranje. U uzorku nastaju „sekundarni elektroni“ (nastali izbacivanjem elektrona iz atoma snopom) koji se detektuju. Slike generisane sekundarnim elektronima predstavljaju prikaz morfoloških karakteristika uzorka, odnosno daju informacije o topografiji posmatrane površine, sastavu (EDS analiza), električnoj provodljivosti i drugim karakteristikama (SEM world, 2009).

Zahvaljujući vrlo uskom zraku elektrona, slike dobijene na SEM-u imaju karakterističan trodimenzionalni izgled, što omogućava bolje razumevanje i posmatranje površine uzorka. Na uređajima nove generacije (kao što je i JEOL JSM-6460) dobijeni signal se obrađuje i pretvara u niz digitalnih informacija koje se mogu prikazati na monitoru i sačuvati kao slike u digitalnom formatu.

Rezolucija SEM-a je definisana veličinom proizvedene tačke, koja opet zavisi od talasne dužine elektrona i elektro-optičkog sistema koji proizvodi elektronski snop. Ona je takođe ograničena merom u kojoj materijal uzorka interreaguje sa elektronskim snopom (SEM world, JEOL, 2009).

Model JEOL JSM-6460 ima sledeće tehničke karakteristike: uvećanje od 5 - 300.000 x, rezolucija 3.00 nm i napon ubrzavanja od 0 - 30 kV.

Karakterizacija reprodukcije tekstualnih elemenata na posmatranim štamparskim formama vršena je mikroskopskim snimcima dobijenih sa optičkog mikroskopa Olympus BX – 5 (slika 3.4). Maksimalna vrednost uvećanja ovog mikroskopa iznosi 1000 x (u zavisnosti od korištenih optičkih sočiva). Vrednost uvećanja dobija se množenjem uvećanja optičkog sočiva sa faktorom 10.



Slika 3.4: Optički mikroskop Olympus BX -5

Optički mikroskop svojom funkcionalnošću omogućava kvalitativnu identifikaciju posmatrane površine, određivanje oblika i veličine čestica čije su dimenzije oko 0,01 mm. Objektiv mikroskopa se direktno usmerava ka uzorku i pri tome stvara realnu, uvećanu i okrenutu sliku. Obavezno mora biti naznačena veličina koja označava vrednost uvećanja. Savremeni mikroskopi, kao sastavni deo poseduju integrator za određivanje dimenzija čestica i za kvantitativna izračunavanja. Takođe, dobijeni signal se obrađuje i pretvara u digitalnu informaciju koja se može prikazati na monitoru i sačuvati kao slika u digitalnom formatu.

Kvantitativna analiza reprodukovanih štampanih elemenata vršena je uređajima Viptronic Viplex 2 i Viptronic Viplex 333, opto-elektronskim mernim uređajima namenjenim prvenstveno za instrumentalno definsanje područja tačke transparentnih fleksografskih štamparskih formi, filmova, ofset štamparskih formi, štampanih papirnih i plastičnih podloga kao i filmova (slika 3.5). Razlika između dva navedena uređaja je što je Viptronic Vipflex 2 napredniji model koji omogućava ispitivanje štamparskih formi koje karakteriše FM, Samba ili hibridni raster. Takođe, napredni model ima poboljšanja u izlaznoj rezoluciji generisanih snimaka (1280 x 1024 piksela u odnosu na ranijih 640 x 480 piksela). Odgovarajuća softverska podrška uređaju je PerfectEye softver (Vipflex 333) i Plate QualityFlexo softver (Vipflex 2). Uređaj generiše slike fleksografske ploče, ofset ploča i otisaka sa CCD kamerom. Svetlosni izvor ima mogućnost promene talasne dužine svetlosti, u zavisnosti od površine koja se posmatra (T – bela svetlost, R – crvena, G – zelena i B - plava).



Slika 3.5: Viptronic Vipflex 333

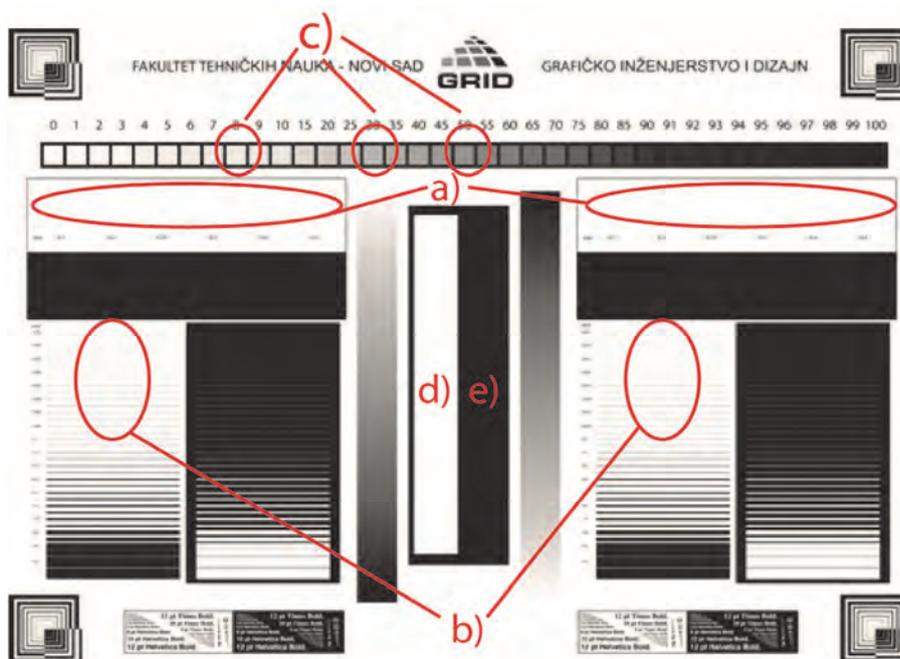
Video meni u okviru softvera nudi funkcije za mikroskopski pregled pokretnih slika kao i generisanje mikroskopskog snimka trenutno posmatranog polja. Relevantni parametri koji se mogu dobiti prilikom ispitivanja fleksografske forme su veličina rasterske tačke (površina), tonska vrednost polja, linijatura rastera te faktor ivice. Takođe, softver omogućava merenje razdaljine između dve definisane pozicije na mikroskopskom snimku što ga čini pogodnim za merenja širina reprodukovanih linija. Takođe, softver omogućava merenje ugla u odnosu na definisanu osnovnu liniju što dozvoljava merenja ugla boka tela rasterskog elementa. Međutim, kod ove vrste merenja je prethodna priprema uzorka koji će omogućiti relevantne rezultate od esencijalnog značaja s obzirom da uzorak mora biti polegnut na osnovnu ploču instrumenta i mora imati takvu debljinu koja neće uzrokovati šum na generisanim mikroskopskim snimcima te dovesti do pogrešnih merenja.

Analiza tonskih vrednosti primenom datog softvera, u zavisnosti od fleksografske forme koja se posmatra, odnosno u zavisnosti od njene boje te površinske

strukture (hrapava i mat površina ili sjajna i glatka površina), kao i od primenjene vrste rastera (AM rastriranje, FM rastriranje, stohastičko, Samba rastriranje) neće uvek dati zadovoljavajuće rezultate, odnosno neće se biti u mogućnosti izvršiti očitavanje tonske vrednosti posmatranog polja čak i u manuelnom ili semi-manuelnom režimu (ručno definisanje prečnika rasterske tačke i ugla rastera). U tom slučaju, dobijeni mikroskopski snimci mogu biti obrađeni u odgovarajućem softveru za obradu i analizu slike, s ciljem utvrđivanja tonske vrednosti na posmatranom polju. U okviru eksperimentalnog dela rada upravo je i primenjena data metoda te su mikroskopski snimci odgovarajućih tonskih polja fleksa štamparskih formi generisani datim uređajem analizirani u okviru softvera ImageJ, kako bi se utvrdila reprodukovana tonska vrednost.

3.1.3.1. Priprema uzoraka za SEM analizu, analizu optičkim mikroskopom i analizu opto-elektronskim mernim uređajem

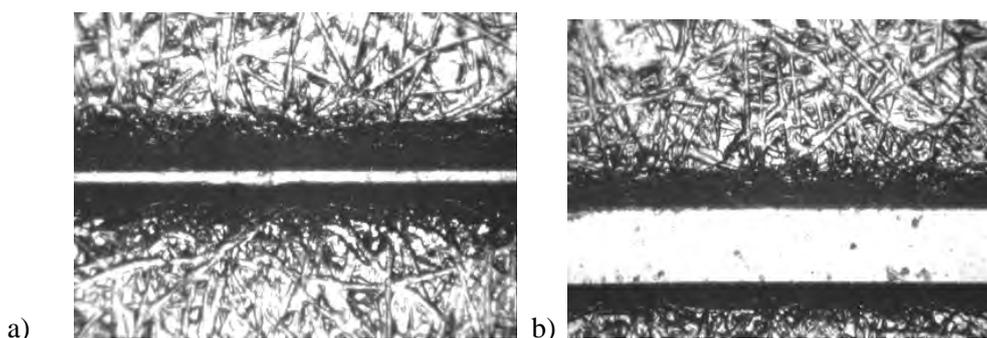
Prilikom SEM analize i analize opto-elektronskim uređajem štamparskih formi sa varijacijama u postupku izrade (štamparske forme 8 – I, 10 – I, 12 – I, 14 – I (vremena glavnog osvetljavanja 8, 10, 12 i 14 minuta i termalno razvijanje primenom 8 obrtaja cilindra - I), 8 – II, 10 – II, 12 – II, 14 – II (vremena glavnog osvetljavanja 8, 10, 12 i 14 minuta i termalno razvijanje primenom 10 obrtaja cilindra - II)) korištena je test karta prikazana na slici 3.7. SEM mikroskopski snimci urađeni su za pojedinačne kružne elemente inicijalnog prečnika 0.1 mm na svakoj štamparskoj formi (slika 3.7a).



Slika 3.7: Prikaz elemenata na test karti; a) kružni elementi; b) linijski elementi; c) polja tonskih vrednosti; e) polje punog tona; d) neštampajući element

Ispitivanje reprodukcije kružnih elemenata (slika 3.7a) izvršeno je na osnovu snimaka dobijenih uređajem Viptronic Vipflex 333. Takođe, za iste elemente izvršeno je merenje površine (na levoj i desnoj polovini štamparske forme po tri merenja) primenom funkcije softvera PerfectEye v4.03 (na osnovu generisanih mikroskopskih snimaka).

Merenja širine reprodukovanih linijskih elemenata (pozitiv) vršena su na linijama inicijalne širine 0.05, 0.07, 0.1 i 0.3 mm (slika 3.7b) na osnovu generisanih mikroskopskih snimaka (slika 3.8) uređajem Viptronic Vipflex 333 primenom funkcije softvera PerfectEye v4.03.



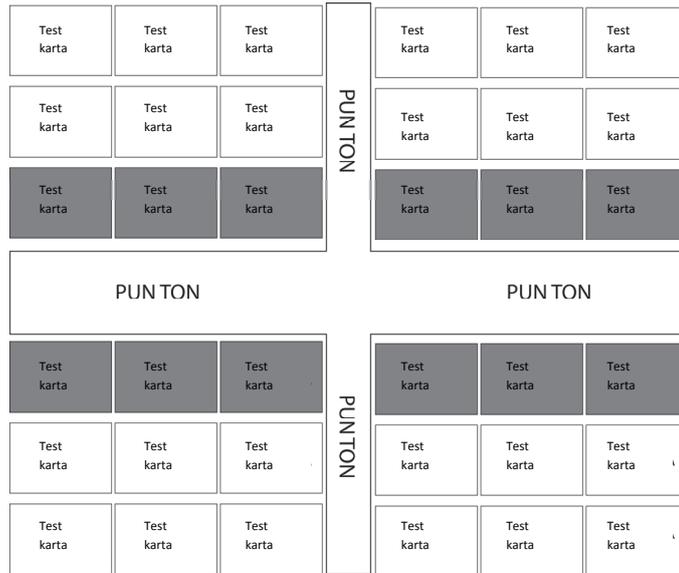
Slika 3.8: Primer mikroskopskih snimaka linijskog elementa u pozitivu inicijalne širine a) 0.05 mm i b) 0.3 mm; glavno osvetljavanje 8 minuta/razvijanje primenom 8 obrtaja cilindra

Mikroskopski snimci su generisani sa leve i desne polovine štamparske forme, za svaku liniju uzeto je 36 merenja od ukupnog broja merenja. U programskom alatu SPSS (Statistical Package for Social Science) izvršeno je otkrivanje netipičnih tačaka koje nisu uzete u obzir za dalju analizu.

Analiza površine reprodukovane rasterske tačke na poljima od 8%, 30% i 50% tonskih vrednosti (slika 3.7c) vršena je na identičan način kao i u slučaju linijskih elemenata s tom razlikom da je 36 merenja uzeto sa jednog tonskog polja na štamparskoj formi.

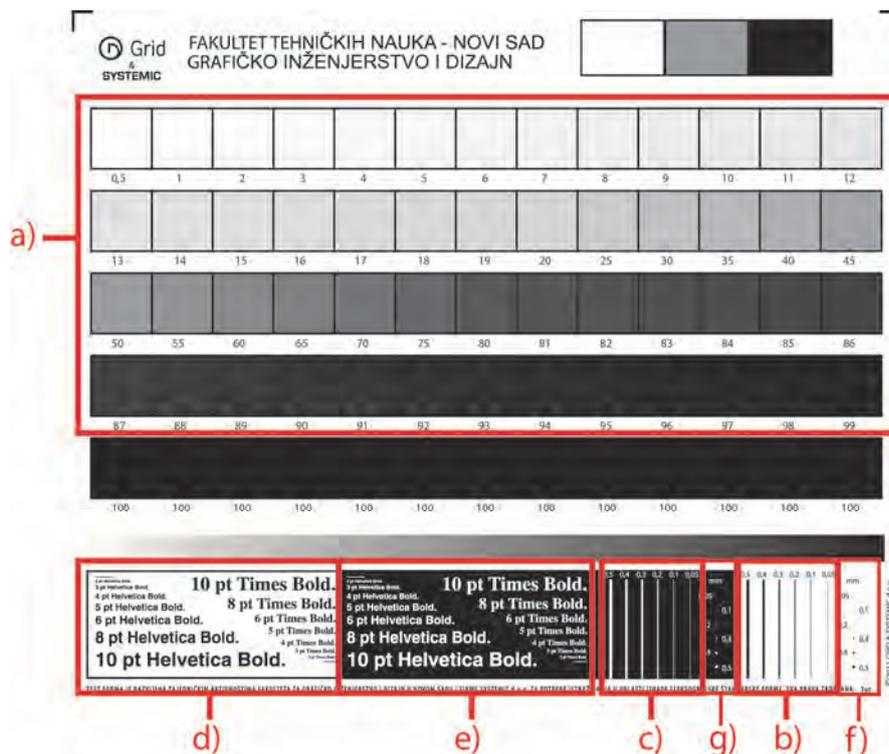
Prilikom SEM analize, analize optičkim mikroskopom i opto-elektronskim uređajem štamparskih formi A i B uzeto je 6 pojedinačnih test formi iz centralnog dela štamparske forme (na slici 3.9. označeni sivim poljima).

Eksploimentalni deo



Slika 3.9: Šematski prikaz odabranih pojedinačnih test karti za analizu

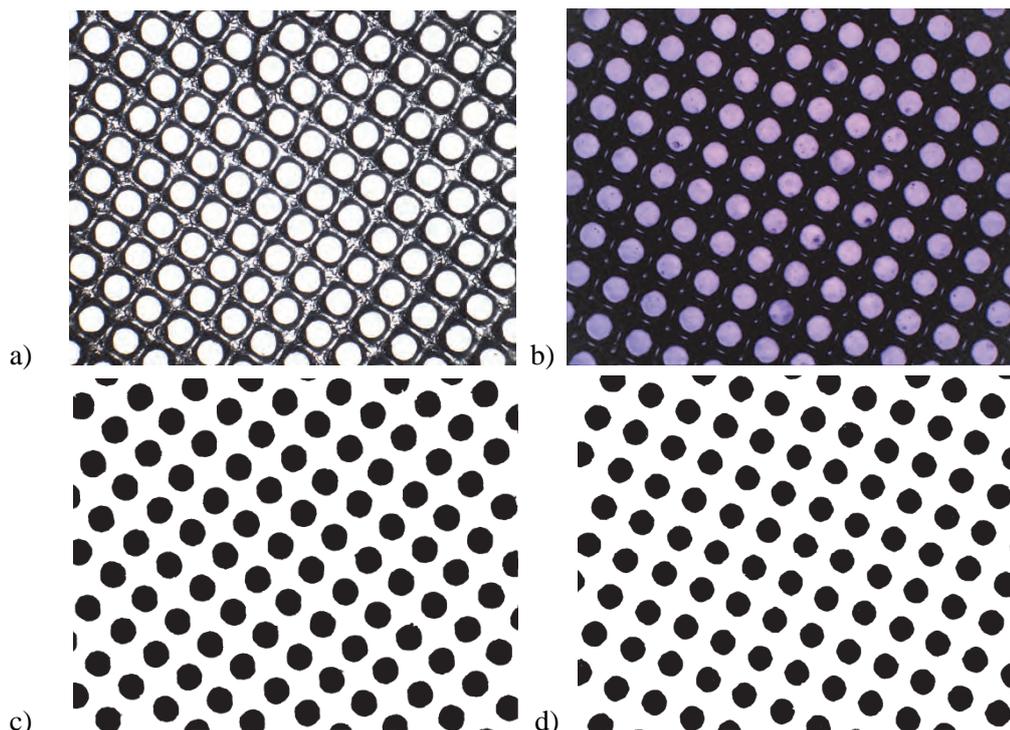
U okviru svake pojedinačne test karte analizirani su karakteristični elementi: polja tonskih vrednosti, linijski elementi u pozitivu i negativu, tekstualni elementi u pozitivu i negativu i pojedinačni element oblika tačke u pozitivu (slika 3.10).



Slika 3.10: Prikaz odabranih elemenata za analizu u okviru jedne test karte: a) polja tonskih vrednosti, b) linijski elementi pozitiv, c) linijski elementi negativ, d) tekstualni elementi pozitiv, e) tekstualni elementi negativ, f) pojedinačni element kružnog oblika (pozitiv), g) pojedinačni element kružnog oblika (negativ)

Merenja koja su vršena opto – elektronskim mernim uređajem sprovedena su na 12 odabranih test karti. Prilikom određivanja reprodukovanih tonskih vrednosti merenja su vršena na poljima tonskih vrednosti od: 1%, 5% - 95% (sa korakom od 5%) i 98% na svakoj test karti.

Pri tome korišten je merni uređaj Viptronic Vipflex 2. Ispitivanje reprodukovanih tonskih vrednosti vršeno je obradom mikroskopskog snimka tonskog polja (slika 3.11a) i b)) u softveru za digitalnu obradu i analizu slike ImageJ primenom funkcije za detekciju pokrivenosti površine (slika 3.11c) i d)).

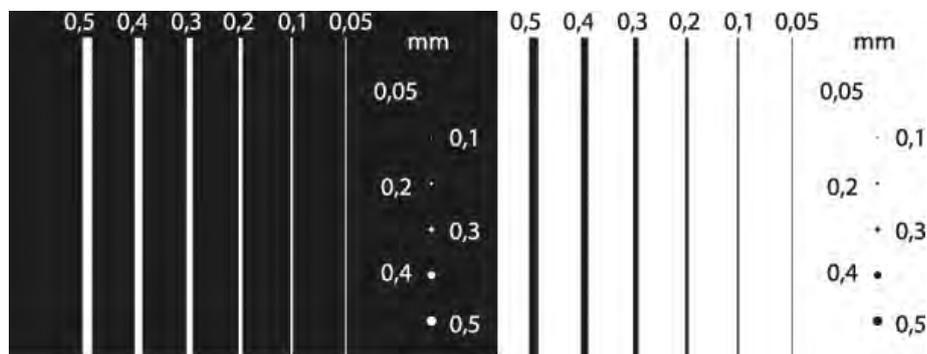


Slika 3.11: Primer: mikroskopski snimak polja tonske vrednosti od 40% na test karti a) A i b) B; obrađena slika polja tonske vrednosti od 40% korištena za analizu u softveru ImageJ na štampaskoj formi c) A i d) B

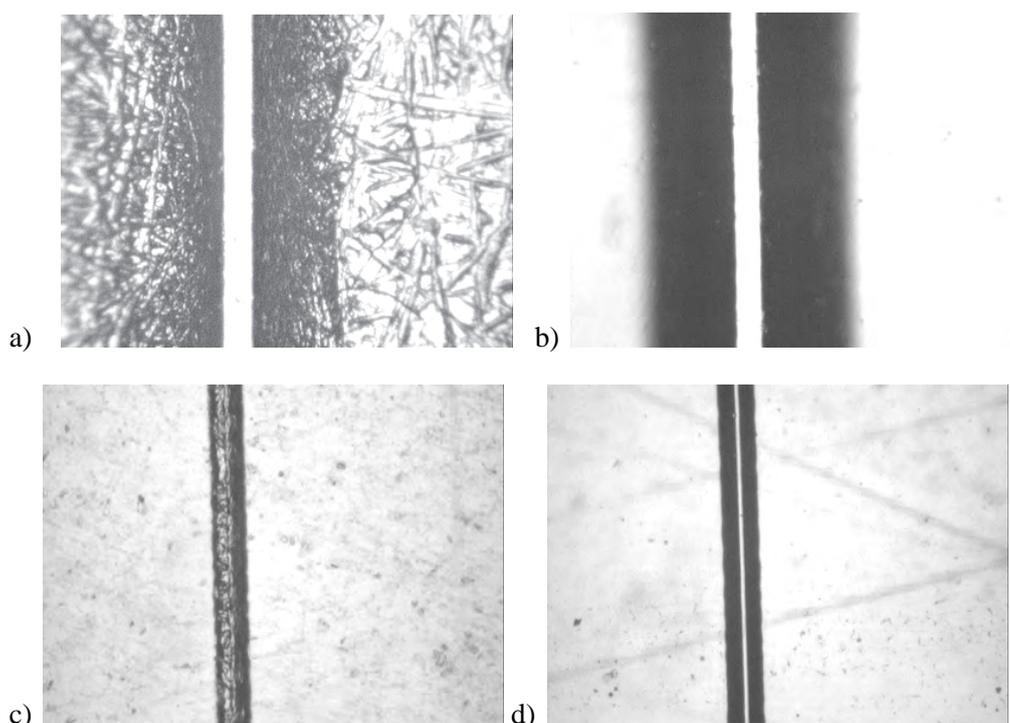
Prilikom izračunavanja srednje aritmetičke vrednosti rezultata od ukupnog broja mernja za svaku tonsku vrednost (12 merenja) uzeto je 8 merenja (statističkom obradom podataka u programskom alatu SPSS (Statistical Package for Social Science) izvršeno je otkrivanje netipičnih tačaka koje nisu uzete u obzir za dalju analizu).

Prilikom određivanja širine reprodukovanih linijskih elemenata u pozitivu i negativu, analizirane su linije širine 0.05 mm, 0.1 – 0.5 mm (korak od 0.1 mm) (slika 3.12). Merenje širine reprodukovane linije vršeno je na mikroskopskim snimcima dobijenim uređajem Viptronic Vipflex 333 (slika 3.13) primenom funkcije softvera PerfectEye. Prilikom izračunavanja srednje aritmetičke vrednosti rezultata od ukupnog broja mernja za svaku liniju (12 merenja) uzeto je 8 merenja (statističkom obradom podataka u

programskom alatu SPSS (Statistical Package for Social Science) izvršeno je otkrivanje netipičnih tačaka koje nisu uzete u obzir za dalju analizu). Analiza površine pojedinačne tačke inicijalnog prečnika 0.1 – 0.5 mm (slika 3.12) vršena je na identičan način kao i u slučaju linija.



Slika 3.12: Šematski prikaz linijskih i kružnih elemenata u pozitivu i negativu; linije širine 0.05 mm, 0.1 - 0.5 mm, tačke prečnika 0.1 – 0.5 mm



Slika 3.13: Primer: mikroskopski snimak linijskog elementa širine 0.1 mm: a), b) pozitiv linija na štamparskoj formi A i B, respektivno; c), d) negativ linija na štampaskoj formi A i B, respektivno

Analiza reprodukcije tekstualnih elemenata vršena je na tekstualnim elementima veličine 1 pt, 2 pt i 3 pt u pozitivu i negativu (bezserifni i serifni font – Helvetica Bold i Times New Roman Bold). Mikroskopski snimci dobijeni su optičkim mikroskopom sa odgovarajućih polja na odabranim test formama (slika 3.14). Korišteno je uvećanje od 100x.



Slika 3.14: Šematski prikaz tekstualnih elemenata u pozitivu i negativu (bezserifni i serifni font – Helvetica Bold i Times New Roman Bold)

Mikorskopska analiza SEM elektronskim miroskopom vršena je na poljima 1%, 5%, 50%, 75%, 98%, 100% tonske vrednosti i na linijama širine 0.05 mm u pozitivu i negativu. Uzorci su isečeni sa štamparske forme sa odgovarajućih pozicija a potom procesirani prema standardnoj proceduri za pripremu uzoraka za SEM analizu. Uzorci su mehanički bili pričvršćeni za stalak dvostruko lepljivom provodljivom trakom. Kako bi se obezbedile odgovarajuće karakteristike provodljivosti na uzorcima, analizirani uzorci su napareni tankim slojem zlata uz pomoć uređaja za jonsko raspršivanje u posebnom uređaju namenjenom za dati postupak - Baltec SCD 005.

Debljina zlatne prevlake je bila 15.0 nm a gustina 19.32 gcm^{-3} . Nakon toga, uzorci su postavljeni u držač uzoraka sa kojim su spojeni preko srebrne paste da bi se poboljšala provodljivost. Uzorci materijala koji se snimaju SEM-om moraju biti električno i termalno provodljivi da bi se smanjila ili u potpunosti uklonila količina naelektrisanja koja se skladišti na površini neprovodljivog materijala. Naelektrisanje površine najčešće rezultuje dobijanjem nečitkih i neispravnih slika, tako da primarni zrak može uzrokovati i termalno oštećenje, što može dovesti do degradacije i pucanja uzorka.

Da bi površina uzorka postala provodljiva, ona se modifikuje nanošenjem tankog sloja provodljivog materijala debljine oko 20 nm. Idealna debljina sloja trebalo bi da bude iste debljine po celoj površini uzorka, nezavisno od topografije površine i ne bi smela uticati na hemijski sastav uzorka. Radni parametri prilikom SEM analize bili su: radna udaljenost 15 mm, veličina spota 35 nm, napon 20 kV, signal sekundarna emisija elektrona, uvećanje od 100x, 500x, 1000x, 2000x i 10 000x.

3.1.4. Uređaj za merenje hrapavosti

Merenja parametara hrapavosti izvršena su profilometrom TR 200 (slika 3.15) koga karakteriše pokretna merna glava sa dijamantskom iglom čiji je vrh prečnika 2 μm .

Dati uređaj pruža mogućnost merenja sledećih parametara hrapavosti (TR Manual, 2009): R_a , R_z , R_y , R_q , R_t , R_p , R_{max} , R_m , R_{3z} , S , S_m , S_k i t_p , kao i određivanje Abbott-Firestone krive i hibridnih parametara hrapavosti.



Slika 3.15: Profilometar TR 200

Kompatibilnost sa ISO 4287, DIN 4768, ANSI B 46.1 i JIS B601 standardom je obezbeđena, a postoji mogućnost odabira četiri različita metoda filtriranja (definisane profilnog filtera, matematičke transformacije profila u smanjene komponente talasnih dužina površine van područja interesa za merenje): RC, PC – RC, Gauss i D – P, gde je: RC - analogni 2RC filter sa faznom razlikom; PC – RC - RC filter sa faznom korekcijom; Gauss – Gausov filter prema DIN 4777 standardu; D-P – direktni profil. Takođe, moguće je birati 4 merna opsega: automatski, $\pm 20 \mu\text{m}$, $\pm 40 \mu\text{m}$ i $\pm 80 \mu\text{m}$ i odgovarajuće rezolucije merenja, $0.01 \mu\text{m} \sim 0.04 \mu\text{m}$, $0.01 \mu\text{m}$, $0.02 \mu\text{m}$ and $0.04 \mu\text{m}$, respektivno. Dužinu merenja uzorka je takođe moguće odabrati, a ponuđene vrednosti su 0.25 mm , 0.80 mm i 2.5 mm , gde je brzina kretanja glave mernog uređaja $V_t = 0.135 \text{ mm/s}$, $V_t = 0.5 \text{ mm/s}$ i $V_t = 1 \text{ mm/s}$, respektivno (TR Manual, 2009). Uređaj ima tačnost merenja do $10^{-3} \mu\text{m}$. Uređaj se može koristiti u ručnom modu (očitanje vrednosti direktno na displeju mernog instrumenta) ili se može povezati na računar te u kompatibilnom softveru (TimeSurf) se može vršiti podešavanje uređaja i očitavanje rezultata.

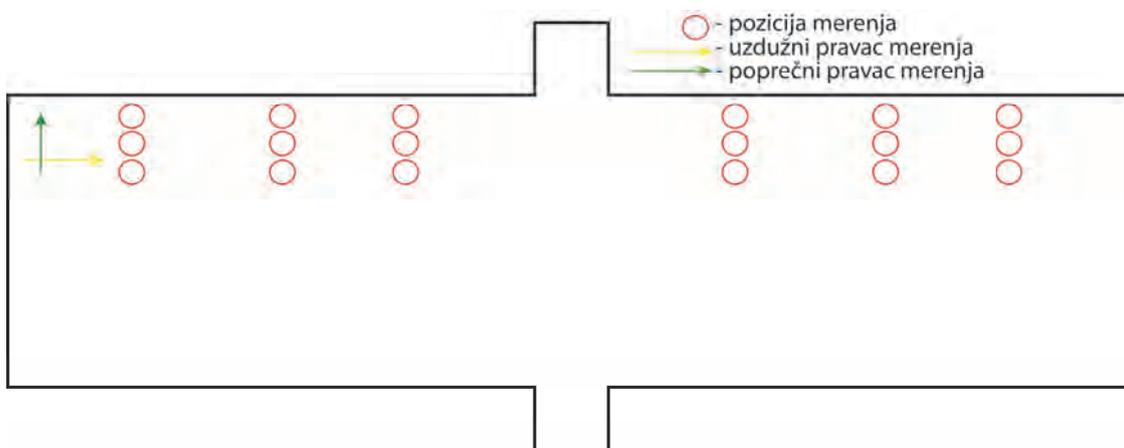
3.1.4.1. Priprema uzoraka za merenje hrapavosti

Merenja površinske hrapavosti na test štamparskim formama A (štamparske forme procesirane primenom različitih vremena glavnog osvetljavanja i razvijanja) vršeno je na polju punog tona na 18 različitih pozicija u uzdužnom i poprečnom pravcu (slika 3.16). Rezultati prikazani u radu predstavljaju srednju aritmetičku vrednost merenja. Prilikom izračunavanja srednje aritmetičke vrednosti statističkom obradom podataka u programskom alatu SPSS izvršeno je otkrivanje netipičnih tačaka koje, ako su detektovane, nisu uzete u obzir za dalju analizu, već su merenja ponovljena za date pozicije.



Slika 3.16: Šematski prikaz pozicija merenja površinske hrapavosti na štamparskim formama A (procesirane sa različitim vrednostima vremena glavnog osvetljavanja i razvijanja)

Merenja površinske hrapavosti na štamparskoj formi A (izrađenoj sa jednoznačno usvojenim procesnim vremenima izrade) i B vršena su na identičan način, u centralnom delu forme (na slici 3.9. dati deo je obeležen kao pun ton), kako je naznačeno na slici 3.17.



Slika 3.17: Šematski prikaz pozicije merenja površinske hrapavosti na štamparskoj formi A i B

Podešavanja mernog uređaja prilikom merenja bila su sledeća: dužina merenja uzorka 0.80 mm, filter Gauss, merni opseg $\pm 20 \mu\text{m}$, rezolucija merenja $0.01 \mu\text{m}$, brzina kretanja glave mernog uređaja $V_t = 0.5 \text{ mm/s}$.

3.1.5. Uređaj za merenje kontaktnog ugla i slobodne površinske energije

Merenje kontaktnog ugla vršeno je goniometrom Data Physics SCA20 (slika 3.18). Goniometar čine: sto za uzorke (automatski upravljano pomeranje u smeru y i z ose, manuelno pomeranje u smeru x ose), optički merni sistem sa CCD kamerom i postolja sa jedinicom za automatsko doziranje tečnosti. Uređaj je povezan sa računarom, a podešavanje uslova merenja, snimanje podataka i obrada podataka se vrši primenom odgovarajućeg softvera - SCA20. Uzorci se pozicioniraju sa tačnošću od $0,01 \text{ mm}$, a moguće je doziranje volumena tečnosti od $0,001 \text{ mm}^3$. Preko CCD kamere vrši se digitalizovanje slike i snimanje postupka ostvarivanja kontakta između ispitivanog uzorka i tečnosti do 25 slika u sekundi.



Slika 3.18: Goniometar Data Physics SCA20

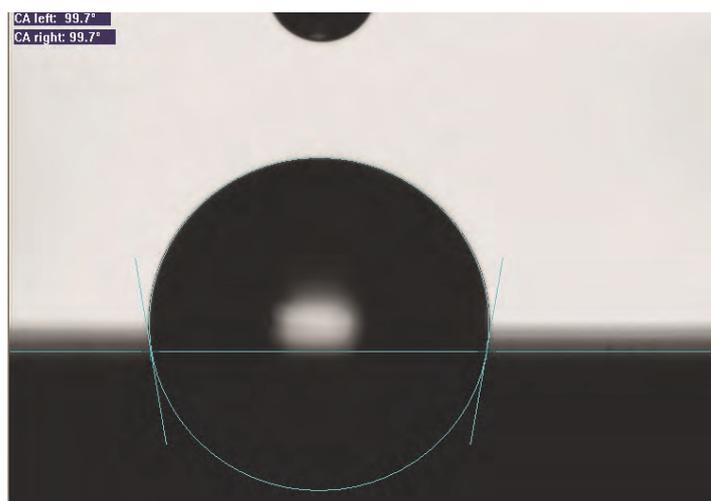
Moguće je vršiti ispitivanja koja se tiču statičkog i dinamičkog kontaktnog ugla kao i proračun slobodne površinske energije. Određivanje kontaktnog ugla je automatizovano, pa je omogućeno korišćenje raznih oblika koji se prilagođavaju pomoću kružnice (Circle fitting), elipse (Ellipse fitting), tangente (Tangent fitting) i Laplace-Younga (Laplace-Young fitting). Kod merenja kontaktnog ugla se pretpostavlja simetričnost kapljice na površini u svim smerovima s obzirom da se obrađuje 2D projekcija kapi na ravnu površinu vertikalno na podlogu.

3.1.5.1. Priprema uzoraka za merenje kontaktnog ugla i slobodne površinske energije

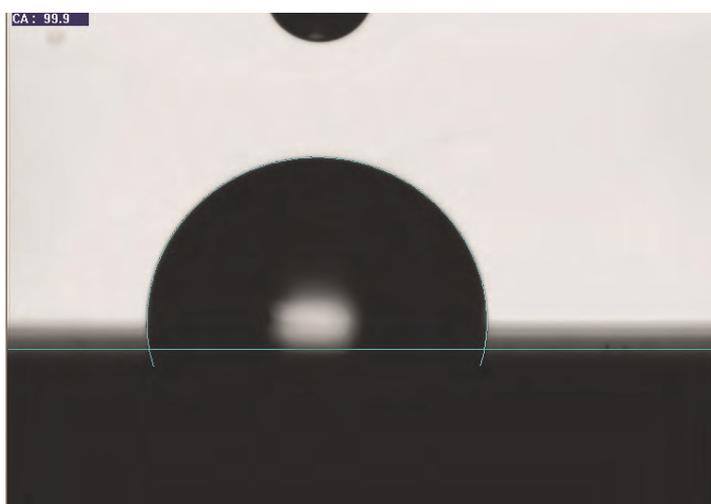
Uzorci za merenje kontaktnog ugla i slobodne površinske energije su uzorkovani u vidu traka dužine 12 cm i širine 1,5 cm. Uzorci su uzeti iz centralnog dela štamparskih formi A i B (polje punog tona naznačeno na slici 3.19.), pri čemu se vodilo računa da to ne budu delovi na kojima je vršeno ispitivanje površinske hrapavosti kako eventualna oštećenja površine nastala prilikom merenja ne bi uticala na rezultate kontaktnog ugla. Ispitivanja kontaktnog ugla vršena su primenom tri referentne tečnosti poznate površinske energije – destilovana voda, glicerol i diiodmetan (tabela 3.5.) i sa uzorcima štamparske boje različitog viskoziteta (u poglavlju 3.1.2. date su karakteristike korištene boje). Prilikom merenja, korištene su kapi volumena 1.5 μl . Merenja su vršena na temperaturi od 24⁰C. Pri tome, primenjene su dve merne metode za analizu: metoda elipse (slika 3.23.) i Laplace – Young metoda (slika 3.24.).

Tabela 3.5: Slobodna površinska energija (γ_{lv}) referentnih tečnosti, njena nepolarna (γ_{lv}^d) i polarna (γ_{lv}^p) komponenta

Tečnost	Slobodna površinska energija γ (mNm^{-1})		
	γ_{lv}	γ_{lv}^d	γ_{lv}^p
Dijodmetan (Ström)	50.8	50.8	0.0
Glicerol (van Oss)	64.0	34.0	30.0
Destilovana voda (Ström)	72.8	21.8	51.0



Slika 3.19: Metod merenja statičkog kontaktnog ugla – metod elipse



Slika 3.20: Metod merenja statičkog kontaktnog ugla –Laplace – Young metod

S obzirom da je vrednost merne greške bila manja u slučaju Laplace – Young metoda (u slučaju svih referentnih tečnosti kao i štamparske boje kod obe ispitivane štamparske forme) data merenja su nadalje uzeta za analizu i izračunavanje srednje vrednosti kontaktnog ugla. Određene su vrednosti kontaktnih uglova najmanje dvanaest kapljica na različitim mestima istog uzorka štamparske forme za jednu tečnost odnosno jedan uzorak štamparske boje. Rezultati prikazani u radu predstavljaju srednju vrednost 8 izvršenih merenja (statističkom obradom podataka izvršeno je otkrivanje netipičnih tačaka koje nisu uzete u obzir za dalju analizu).

Proračun slobodne površinske energije vršen je u softveru SCA20 primenom Owens-Wendt-Rabel i Kaelble metode (OWRK).

3.1.6. Merenje tvrdoće, debljine i dubine reljefa

Merenja debljine, tvrdoće i dubine reljefa na test štamparskim formama vršena je nakon potpunog procesiranja štamparskih formi, po završenom naknadnom osvetljavanju. Tvrdoća je merena na polju punog tona ručnim durometrom PCE – DX – A (Shore A) prema standardu DIN 53505 Sh A. Merenja su vršena na 36 pozicija. Dubina reprodukovanog reljefa kao i debljina štamparske forme vršena je ručnim mikrometrom Käfler (preciznost 0.01 mm). Debljina je merena na polju punog tona, dok je dubina računata na način da se od ukupne debljine štamparske forme oduzme izmerena debljina osnove (neštampajući element). Pri tome, merenja su vršena u centralnom delu štamparskih formi.

Za ispitivanja uticaja vremena predosvetljavanja na dubinu reprodukovanog reljefa kod štamparskih formi A tipa, testiranje je vršeno na štamparskoj formi dimenzija 300 x 600 mm na 8 polja predosvetljenih u različitim vremenima (vremenski interval od 10 do 80 sekundi, korak 10 sekundi). Razvijanje je izvršeno primenom 10 obrtaja cilindra, a primenjeno naknadno osvetljavanje iznosilo je 14 minuta (7 minuta UVA + 7 minuta UVC). Merenja su vršena na svakom polju tri puta na tri različita mesta, potom je izračunata srednja vrednost i oduzimanjem od debljine ploče utvrđene su dubine reljefa za različita vremena predosvetljavanja.

3.1.7. Statističke metode obrade podataka

Prilikom obrade podataka korištene su adekvatne statističke tehnike. Obrada podataka vršena je primenom programskog alata SPSS (verzija 15). Preliminarne analize podrazumevale su obradu podataka u cilju procene normalnosti raspodele i otkrivanja netipičnih tačaka. Nakon toga, podaci su shodno dobijenim rezultatima o normalnosti raspodele, veličini posmatrane grupe i prethodno postavljenom cilju poređenja obrađivani primenom neparametrijskih i parametrijskih tehnika za poređenje grupa (Pallant, 2007, Marius, 2010, Lužar – Stiffler, 2007). Neparametrijske tehnike korištene su u slučaju kada nije bila utvrđena normalna raspodela podataka i kada uzorak je bio manji od 10 jedinica, dok su parametrijske tehnike korištene u slučaju kada je utvrđena normalna raspodela podataka i kada je veličina uzorka bila veća od 30 jedinica (Marius 2010, Lužar – Stiffler, 2007). Od neparametrijskih tehnika korišten je Man – Vitnjev U test za ispitivanje razlika između dve nezavisne grupe na neprekidnoj skali, Kruskal – Volisov test za poređenje rezultata neprekidne promenljive za tri ili više grupa i Viloksonov test ranga za ponovljena merenja. Od parametrijskih tehnika korišten je T (Studentov) test nezavisnih uzoraka za poređenje srednje vrednosti neprekidne promenljive u dve različite grupe subjekata, jednofaktorska ANOVA različitih grupa sa naknadnim testovima (naknadni Tukeyev HSD test), i dvofaktorska analiza varijanse različitih grupa.

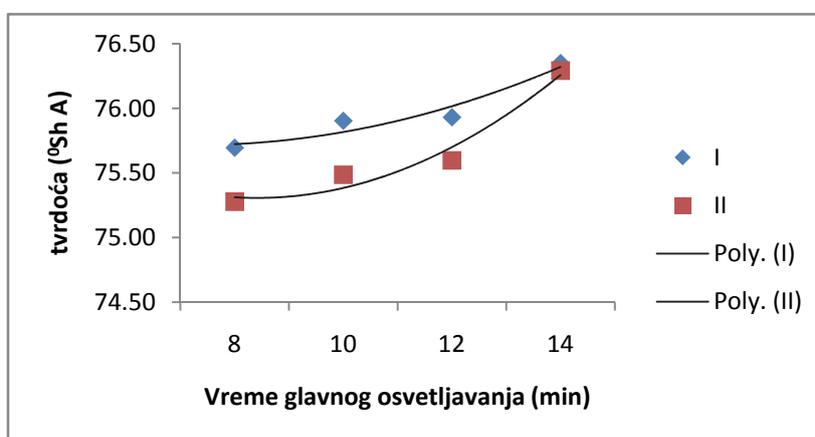
4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

4.1. Analiza tvrdoće i debljine štamparske forme

Ispitivanje uticaja glavnog osvetljavanja i razvijanja na konačnu tvrdoću štamparskih formi vršeno je na uzorcima štamparskih formi koje se razvijaju termalnim postupkom razvijanja i to štamparske forme 8 – I, 10 – I, 12 – I, 14 – I (vremena glavnog osvetljavanja 8, 10, 12 i 14 minuta i termalno razvijanje primenom 8 obrtaja cilindra - I), 8 – II, 10 – II, 12 – II, 14 – II (vremena glavnog osvetljavanja 8, 10, 12 i 14 minuta i termalno razvijanje primenom 10 obrtaja cilindra - II). Srednje vrednosti izvršenih merenja predstavljene su u tabeli 4.1, a grafički na slici 4.1.

Tabela 4.1: Srednje vrednosti merenja tvrdoće štamparske forme u zavisnosti od vremena glavnog osvetljavanja i primenjenog broja obrtaja pri termalnom razvijanju

Štamparska forma	Srednje vrednosti tvrdoće (Sh A) (°)	Standardna devijacija
8-I	75.69	0.32
10-I	75.90	0.36
12-I	75.93	0.50
14-I	76.35	0.32
8-II	75.28	0.50
10-II	75.49	0.53
12-II	75.60	0.68
14-II	76.29	0.50



Slika 4.1: Grafički prikaz zavisnosti srednjih vrednosti merenja tvrdoće od vremena glavnog osvetljavanja i primenjenog broja obrtaja prilikom termalnog razvijanja (I – 8 obrtaja cilindra, II – 10 obrtaja cilindra)

Na osnovu grafika predstavljenog na slici 4.1. tvrdoća štamparskih formi raste sa povećanjem vremena glavnog osvetljavanja. Veće vrednosti tvrdoće izražene u stepenima tvrdoće $^{\circ}$ Sh A zabeležene su u slučaju kada se razvijanje vrši sa 8 obrtaja

cilindra s naznakom da u slučaju vremena glavnog osvetljavanja od 14 minuta, vrednosti tvrdoće su veoma bliske. Vrednosti prate polinomnu funkciju drugog reda.

Dobijeni rezultati neosporno ukazuju da dužina trajanja vremena glavnog osvetljavanja i broj obrtaja cilindra prilikom termalnog razvijanja imaju uticaj na konačnu tvrdoću štamparske forme. Razlika između najveće (vreme glavnog osvetljavanja od 14 minuta) i najmanje srednje vrednosti tvrdoće (vreme glavnog osvetljavanja od 8 minuta) iznosi 0.66^0 Sh A (razvijanje sa 8 obrtaja cilindra), odnosno 1.01^0 Sh A (razvijanje sa 10 obrtaja cilindra). Kako bi se utvrdila značajnost datih promena, te izvršila adekvatna analiza promene u tvrdoći štamparske forme u zavisnosti od vremena glavnog osvetljavanja i primenjenog broja obrtaja prilikom termalnog razvijanja bilo je neophodno izvršiti statističku analizu podataka.

Pri statističkoj analizi podataka korištena je dvofaktorska analiza varijanse različitih grupa (dvofaktorska ANOVA) koja služi za istovremeno ispitivanje uticaja svake nezavisne promenljive na zavisnu promenljivu pri čemu se identifikuje i eventualni uticaj njihove interakcije (Pallant, 2007). Data tehnika omogućava istraživanje pojedinačnog i zajedničkog uticaja dve nezavisne promenljive, u ovom slučaju vremena glavnog osvetljavanja i broja obrtaja cilindra prilikom razvijanja, na jednu zavisnu promenljivu, odnosno tvrdoću štamparske forme. Rezultati statističke analize predstavljeni su tabeli 4.2.

Tabela 4.2: Rezultati statističke analize vrednosti tvrdoće (dvofaktoraka ANOVA) sa naknadnim Tukey HSD testom

		Statistička značajnost	parcijalni eta kvadrat		
vreme		0.000	0.292		
obrtaji		0.000	0.052		
vreme * obrtaji		0.090	0.023		
Naknadni Tukey HSD test					
Vreme (min) I	Vreme (min) J	Srednja razlika (I-J)	Statistička značajnost	95% Interval poverenja	
				Donja granica	Gornja granica
8	10	-0.2083	0.053	-0.4185	0.0018
	12	-0.2778*	0.004	-0.4879	-0.0676
	14	-0.8347*	0.000	-1.0449	-0.6246
10	12	-0.0694	0.828	-0.2796	0.1407
	14	-0.6264*	0.000	-0.8365	-0.4162
12	14	-0.5569*	0.000	-0.7671	-0.3468

Značajnost interakcije predstavljena je u ćeliji kolone statistička značajnost za vrednost vreme*obrtaji. Ako je vrednost statističke značajnosti manja ili jednaka od 0.05, onda je uticaj interakcije značajan. S obzirom da je statistička značajnost 0.09, to uticaj

interakcije nije značajan, odnosno ne postoji značajna razlika u uticaju vremena glavnog osvetljavanja na vrednost tvrdoće u slučaju primene različitih vrednosti broja obrtaja pri termalnom razvijanju. Kada se pogledaju zasebni uticaji, rezultati ukazuju da postoji značajan uticaj i jedne i druge nezavisne promenljive (statistička značajnost iznosi 0.000 i za vreme i za broj obrtaja). Ako se pogleda veličina uticaja, prema Koenovom kriterijumu (klasifikovan tako da vrednost 0.01 ukazuje na mali uticaj, 0.06 srednji uticaj a 0.14 ukazuje na veliki uticaj), vreme glavnog osvetljavanja ima izuzetno veliki uticaj, dok se uticaj razvijanja može klasifikovati kao mali što znači da mada statistički značajna, stvarna razlika između srednjih vrednosti tvrdoće u slučaju promena u razvijanju je mala. Naknadni Tukey HSD test pokazuje da nema statistički značajne razlike između srednjih vrednosti tvrdoće štamparske forme postignutih primenom osvetljavanja sa 12 minuta u odnosu na 10 minuta (statistička značajnost veća od 0.05), i između vrednosti dobijenih primenom glavnog osvetljavanja od 8 minuta u odnosu na 10 minuta.

Na štamparskim formama A (ponovljena izrada prema unapred utvrđenim uslovima) i B takođe je izvršeno merenje tvrdoće koje je pokazalo da srednja vrednost tvrdoće iznosi 75.5°Sh A , odnosno 65°Sh A , respektivno.

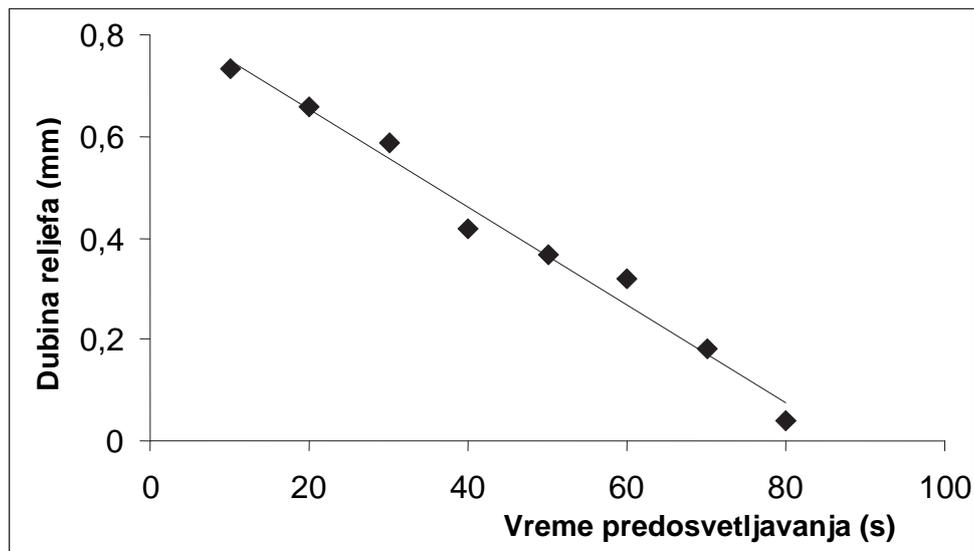
Debljina (mm) je važna karakteristika flekso štamparske forme koja prvenstveno zavisi od samog proizvođača. Razvijanje i sušenje, kao procesne faza izrade flekso štamparskih formi koje se razvijaju u prisustvu organskih razvijaa mogu da utiču na trenutnu promenu debljine štamparske forme na način da predugo vreme razvijanja rezultuje većom količinom absorbovanog sredstva za razvijanje koje, ako proces sušenja i aklimatizacije forme ne traje dovoljno dugo, može uzrokovati povećanje debljine štamparske forme što će u kasnijem procesu štampe uzrokovati fluktuacije u pritisku i tonskoj vrednosti s obzirom da će u toku štampe zaostali razvijaa vremenom ispariti te će se štamparska forma vratiti na nominalnu vrednost. Termalni postupak razvijanja eliminiše izloženi uticajni faktor. Pod pretpostavkom da je proces izrade štamparske forme tako projektovan da u konačnom rezultuje štamparskom formom zahtevane debljine, ostaje da kontrola debljine štamparske forme treba biti sprovedena s ciljem provere samog proizvođača, s obzirom da se mogu desiti greške prilikom proizvodnje štamparskih ploča koje rezultuju štamparskom formom debljine veće od one koja je data proizvođačkom specifikacijom.

Merenja debljine ispitivanih štamparskih formi pokazala su da je srednja vrednost debljine štamparskih formi koje se razvijaju termalnim postupkom 1.141 mm, dok debljina štamparske forme koja se razvija u prisustvu organskog razvijaa iznosi 1.143 mm.

4.2. Analiza uticaja procesnih faza predosvetljavanja, glavnog osvetljavanja i razvijanja na dubinu reljefa štamparske forme

U fazi predosvetljavanja fleksa štamparske forme definiše se vreme predosvetljavanja koje ima direktan uticaj na formiranu dubinu reljefa i kasnije vezivanje i održavanje štampajućih elemenata na površini forme nastalih procesom glavnog osvetljavanja.

Rezultati uticaja različitih vremena predosvetljavanja na postignutu dubinu reljefa štamparske forme koja se razvija termalnim postupkom prikazani su grafički na slici 4.2.



Slika 4.2: Grafički prikaz zavisnosti dubine reljefa i vremena predosvetljavanja (srednje vrednosti)

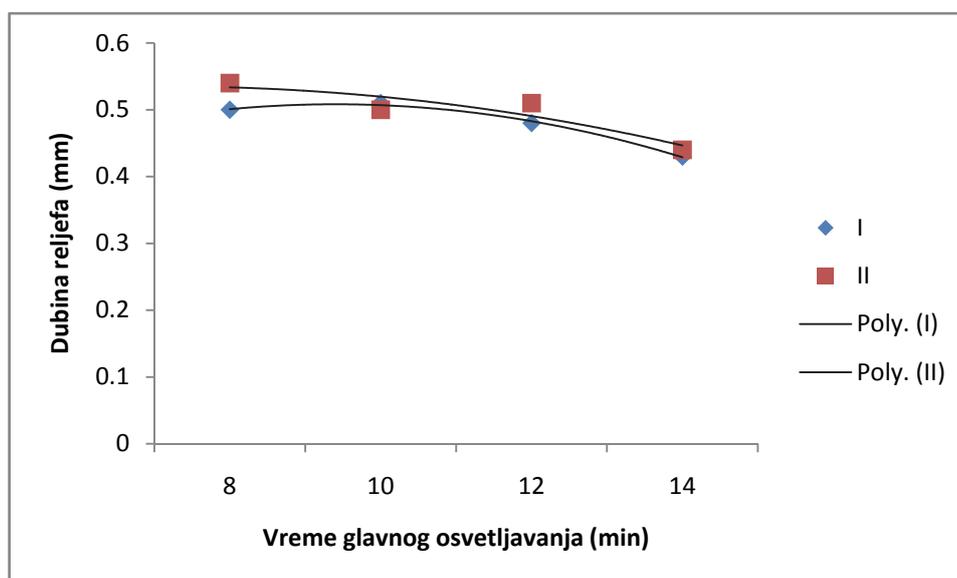
Rezultati predstavljeni na slici 4.2. su pokazali očekivani rezultat: vreme predosvetljavanja i dubina reljefa predstavljaju obrnuto proporcionalne zavisne promenljive - duže vreme predosvetljavanja rezultuje plićim reljefom i obrnuto.

Kraće vreme predosvetljavanja (10 sekundi) rezultovalo je umrežavanjem polimera u određenom površinskom sloju i kao konačan ishod postignuta je dubina reljefa od 0.72 mm. Duže vreme predosvetljavanja (80 sekundi) rezultovalo je plićim reljefom od 0.40 mm (slika 4.2).

Rezultati uticaja različitog vremena glavnog osvetljavanja i primene različitog broja obrtaja pri termalnom razvijanju na konačnu dubinu reljefa štamparske forme prikazani su u tabeli 4.3. i grafički na slici 4.3.

Tabela 4.3: Srednje vrednosti dubine reljefa u zavisnosti od vremena glavnog osvetljavanja i primenjenog broja obrtaja pri termalnom razvijanju

Štamparska forma	Srednje vrednosti dubine reljefa (mm)	Standardna devijacija
8-I	0.50	0.01
10-I	0.51	0.02
12-I	0.48	0.01
14-I	0.43	0.02
8-II	0.54	0.02
10-II	0.50	0.02
12-II	0.51	0.01
14-II	0.44	0.02



4.3: Grafički prikaz zavisnosti srednjih vrednosti merenja dubine reljefa od vremena glavnog osvetljavanja i primenjenog broja obrtaja prilikom termalnog razvijanja (I – 8 obrtaja cilindra, II – 10 obrtaja cilindra)

Kako se sa grafika predstavljenog na slici 4.3. može videti, u slučaju oba primenjena uslova razvijanja, promena dubine reljefa sa promenom vremena glavnog osvetljavanja prati polinomnu opadajuću funkciju drugog reda. Pri tome je pokazano da dubina reljefa opada sa porastom vremena glavnog osvetljavanja (od vrednosti 0.50 mm/glav.osv. 8 minuta do vrednosti 0.43 mm/glav.osv. 14 minuta, odnosno od vrednosti 0.54 mm/ glav.osv.8 minuta do vrednosti 0.44/ glav.osv. 14 minuta, u slučaju razvijanja sprovedenog primenom 8 odnosno 10 obrtaja cilindra, respektivno). Veće vrednosti dubine reljefa dobile su se u slučaju primene većeg broja obrtaja cilindra pri termalnom razvijanju.

Dobijeni rezultati svakako ukazuju da promene glavnog osvetljavanja i razvijanja utiču na promenu dubine reljefa. S ciljem utvrđivanja nivoa značajnosti datih promena

izvršena je statistička analiza dobijenih podataka primenom dvofaktorske analize varijanse različitih grupa. Rezultati statističke analize predstavljeni su tabeli 4.4.

Tabela 4.4: Rezultati statističke analize dubine reljefa (dvofaktoraka ANOVA)

	Statistička značajnost	parcijalni eta kvadrat
vreme	0.000	0.783
obrtaji	0.000	0.141
vreme * obrtaji	0.000	0.251

Značajnost interakcije predstavljena je u ćeliji kolone statistička značajnost za vrednost vreme*obrtaji. Kako je statistička značajnost 0.000, to uticaj interakcije jeste značajan, odnosno postoji značajna razlika u uticaju vremena glavnog osvetljavanja na vrednost dubine reljefa u slučaju primene različitih vrednosti broja obrtaja pri termalnom razvijanju. Kada se pogledaju zasebni uticaji, rezultati ukazuju da postoji značajan uticaj i jedne i druge nezavisne promenljive (statistička značajnost iznosi 0.000 i za vreme i za broj obrtaja). Ako se pogleda veličina uticaja (parcijalni eta kvadrat), uticaj oba faktora je veliki sa naznakom da je vreme glavnog osvetljavanja prema faktoru uticaja daleko značajnije, dok je broj obrtaja prema značajnosti manji. Za daljnu analizu izvršena podela uzoraka prema faktoru razvijanja, odnosno analizirani su uticaji vremena glavnog osvetljavanja u slučaju razvijanja primenom 8 odnosno 10 obrtaja cilindra zasebno. Analiza je izvršena primenom jednofaktorske ANOVA-e različitih grupa. Rezultati analize dati su u tabelama 4.5 - 4.8.

Tabela 4.5: Rezultati statističke analize dubine reljefa (jednofaktorska ANOVA) u slučaju razvijanja primenom 8 obrtaja cilindra

Dubina reljefa (mm)	Suma kvadrata	Statistička značajnost	e.k.
Između grupa	0.113	0.000	0.813
Unutar grupe	0.027		
Ukupno	0.139		

U tabeli 4.5. predstavljeni su zbrojevi kvadrata odstupanja (reziduala) rezultata od njihove srednje vrednosti, statistička značajnost i eta kvadrat za analizu dubine reljefa (istih subjekata) pri različitim vremenima glavnog osvetljavanja (različitih grupa) u slučaju kada je razvijanje vršeno primenom 8 obrtaja cilindra.

Vrednost u koloni statistička značajnost (tabela 4.5) je pokazatelj statističke značajnosti razlike između srednjih vrednosti zavisne promenljive (dubine reljefa) u posmatrane četiri grupe (četiri različita vremena glavnog osvetljavanja). Ukoliko je data vrednost manja od 0.05, onda postoji statistički značajna razlika između srednjih vrednosti zavisne promenljive u posmatranim grupama (Pallant, 2007).

Dobijeni rezultati pokazuju da je rezultat neke od grupa statistički značajan, odnosno da postoji statistički značajna razlika između srednje vrednosti u dubini reljefa u slučaju

različitog vremena glavnog osvetljavanja i razvijanja primenom 8 obrtaja cilindra. Za utvrđivanje koja grupa se razlikuje od kojih drugih grupa, izvršeni su naknadni testovi gde su date statističke značajnosti razlika između svakog para grupa (tabela 4.6.).

Tabela 4.6: Rezultati statističke analize dubine reljefa (ANOVA naknadni Tukeyev HSD test) u slučaju razvijanja sa 8 obrtaja cilindra (vremena glavnog osvetljavanja 8,10,12 i 14 minuta)

Vreme (min) I	Vreme (min) J	Srednja razlika (I-J)	Statistička značajnost	95% Interval poverenja	
				Donja granica	Gornja granica
8	10	0.00794	0.103	-0.0010	0.0169
	12	-0.01735*	0.000	-0.0263	-0.0084
	14	-0.06618*	0.000	-0.0751	-0.0572
10	12	-0.02529*	0.000	-0.0343	-0.0163
	14	-0.07412*	0.000	-0.0831	-0.0651
12	14	-0.04882*	0.000	-0.0578	-0.0399

U tabeli 4.6. predstavljeni su rezultati naknadnih testova gde su date vrednosti srednje razlike, statističke značajnosti i gornja i donja granica 95% intervala poverenja. Naknadni test (Tukeyev HSD test) ukazuje gde su razlike između grupa. U slučaju da u koloni srednja razlika (I-J) pored numeričke vrednosti se nalazi oznaka zvezdica, onda se poređene dve grupe međusobno značajno razlikuju na nivou $p < 0.05$ (Pallant, 2007). U koloni statistička značajnost date su tačne vrednosti značajnosti.

Prema rezultatima prikazanim u tabeli 4.6, statistički značajno se ne razlikuju srednje vrednosti dubine reljefa jedino u slučaju kada vreme glavnog osvetljavanja iznosi 8 minuta u odnosu na vrednosti kada je vreme glavnog osvetljavanja 10 minuta. Prema Koenovom kriterijumu, vrednosti eta kvadrata iznosi 0.813, što ukazuje da je uticaj razlike veliki.

Tabela 4.7: Rezultati statističke analize dubine reljefa (jednofaktorska ANOVA) u slučaju razvijanja primenom 10 obrtaja cilindra

Dubina reljefa (mm)	Suma kvadrata	Statistička značajnost	e.k.
Između grupa	0.170	0.000	0.791
Unutar grupe	0.045		
Ukupno	0.215		

U tabeli 4.7. predstavljeni su zbrovi kvadrata odstupanja (reziduala) rezultata od njihove srednje vrednosti, statistička značajnost i eta kvadrat za analizu dubine reljefa pri različitim vremenima glavnog osvetljavanja u slučaju kada je razvijanje vršeno primenom 10 obrtaja cilindra.

Dobijeni rezultati pokazuju da postoji statistički značajna razlika između srednje vrednosti u dubini reljefa u slučaju različitog vremena glavnog osvetljavanja i razvijanja primenom 10 obrtaja cilindra. Za utvrđivanje značajnosti razlike između grupa izvršeni

su naknadni testovi gde su date statističke značajnosti razlika između svakog para grupa (tabela 4.8.).

Tabela 4.8: Rezultati statističke analize dubine reljefa (ANOVA naknadni Tukeyev HSD test) u slučaju razvijanja sa 10 obrtaja cilindra (vremena glavnog osvetljavanja 8,10,12 i 14 minuta)

Vreme (min) I	Vreme (min) J	Srednja razlika (I-J)	Statistička značajnost	95% Interval poverenja	
				Donja granica	Gornja granica
8	10	-0.04147*	0.000	-0.0531	-0.0298
	12	-0.02971*	0.000	-0.0414	-0.0181
	14	-0.09765*	0.000	-0.1093	-0.0860
10	12	0.01176*	0.047	0.0001	0.0234
	14	-0.05618*	0.000	-0.0678	-0.0445
12	14	-0.06794*	0.000	-0.0796	-0.0563

U tabeli 4.8. predstavljeni su rezultati naknadnih testova gde su date vrednosti srednje razlike, statističke značajnosti i gornja i donja granica 95% intervala poverenja. Prema rezultatima prikazanim u tabeli 4.8, statistički značajno se razlikuju vrednosti dubine reljefa za sva primenjena vremena glavnog osvetljavanja. Prema Koenovom kriterijumu, vrednosti eta kvadrata iznosi 0.791, što ukazuje da je uticaj razlike veliki.

Na štamparskim formama A (ponovljena izrada prema unapred utvrđenim uslovima) i B takođe je izvršeno merenje dubine reljefa koje je pokazalo da srednja vrednost dubine reljefa iznosi 0.53 mm, odnosno 0.62 mm, respektivno.

4.3. Analiza reprodukcije štampajućih elemenata u zavisnosti od različitih procesnih faza izrade

U zavisnosti od promene parametra glavnog osvetljavanja te promene parametra razvijanja vršena je analiza reprodukcije štampajućih elemenata na štamparskim formama koje se razvijaju termalnim postupkom razvijanja i to: analiza reprodukcije linijskih elemenata, analiza reprodukcije pojedinačnog elemenata kružnog oblika (tačke) i analiza reprodukcije rasterskih tačaka praćeno na poljima odgovarajuće tonske vrednosti.

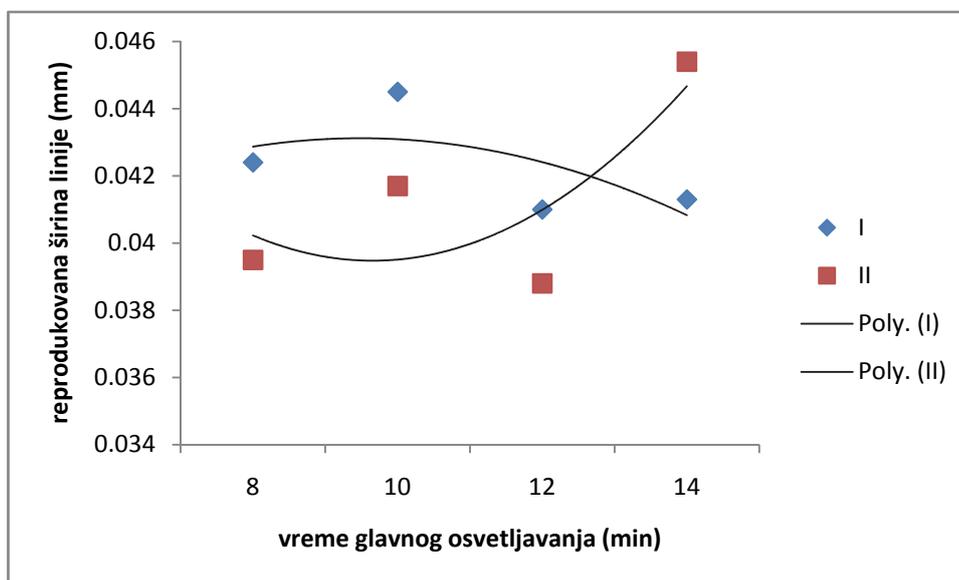
4.3.1. Analiza reprodukcije linijskih elemenata

Na osnovu mikroskopskih snimaka reprodukovanih linijskih elemenata primenom funkcije softvera PerfectEye v4.03 izvršeno je merenje širine reprodukovanih linijskih elemenata u pozitivu na štamparskim formama sa termalnim postupkom razvijanja kod kojih je primenjeno različito vreme glavnog osvetljavanja te različit broj obrtaja pri termalnom razvijanju.

U tabeli 4.9. predstavljene su izračunate srednje vrednosti širine analiziranih linija inicijalne širine 0.05 mm, 0.07 mm, 0.1 mm i 0.3 mm, dok su na slikama 4.5 – 4.8. date vrednosti predstavljene grafički.

Tabela 4.9: Srednje vrednosti širine linije u zavisnosti od vremena glavnog osvetljavanja i primenjenog razvijanja

Štamparska forma	Linije - inicijalna širina (mm)							
	0.05		0.07		0.1		0.3	
	Izmerena širina linije (mm)							
	širina	st.dev.	širina	st.dev.	širina	st.dev.	širina	st.dev.
8-I	0.0424	0.0048	0.0621	0.0030	0.0869	0.0028	0.2861	0.0040
10-I	0.0445	0.0032	0.0627	0.0026	0.0886	0.0018	0.2806	0.0019
12-I	0.0410	0.0025	0.0585	0.0029	0.0877	0.0031	0.2787	0.0024
14-I	0.0413	0.0024	0.0585	0.0025	0.0879	0.0031	0.2841	0.0019
8-II	0.0395	0.0033	0.0594	0.0024	0.0886	0.0038	0.2826	0.0025
10-II	0.0417	0.0033	0.0613	0.0023	0.0879	0.0029	0.2813	0.0026
12-II	0.0388	0.0040	0.0560	0.0013	0.0868	0.0030	0.2852	0.0013
14-II	0.0454	0.0028	0.0596	0.0030	0.0906	0.0023	0.2750	0.0029

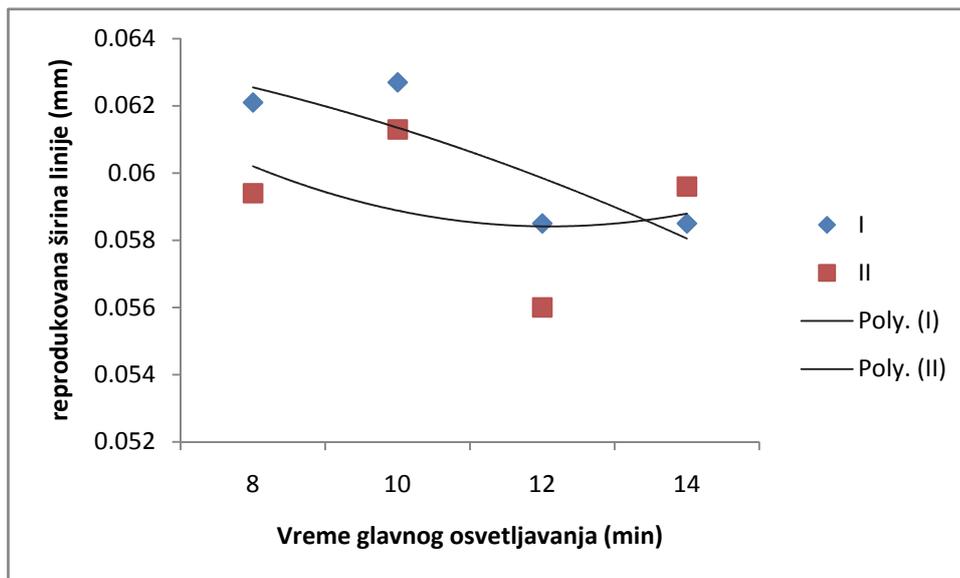


4.5: Grafički prikaz srednjih vrednosti merenja širine reprodukovanih linijskih elemenata (inicijalna širina linije 0.05 mm) u zavisnosti od vremena glavnog osvetljavanja i primenjenog broja obrtaja pri termalnom razvijanju (I – 8 obrtaja cilindra, II – 10 obrtaja cilindra)

Na slici 4.5. dat je grafički prikaz promene širine linije inicijalne širine 0.05 mm u funkciji vremena glavnog osvetljavanja i primenjenog broja obrtaja cilindra pri termalnom razvijanju. Promena u srednjoj vrednosti širine linije sa promenom dužine

trajanja vremena glavnog osvetljavanja je takva da širina linije prvobitno raste sa porastom vremena glavnog osvetljavanja, pa potom opada, a zatim ponovno raste. Vrednosti reprodukovanih linija su nezavisno od promena procesnih parametara izrade niže od inicijalno definisane vrednosti. Vrednosti delimično prate polinomnu funkciju (vrednost faktora R^2 je dosta niska: I – $R^2 = 0.414$, II – $R^2 = 0.597$).

I u slučaju linije inicijalne širine 0.07 mm (slika 4.6) trend promene je isti kao i u slučaju linije širine 0.05 mm. Takođe, beleže se vrednosti koje su niže od inicijalne širine. Za vrednosti se može reći da delimično prate polinomnu funkciju drugog reda (I – $R^2 = 0.123$, II – $R^2 = 0.736$).

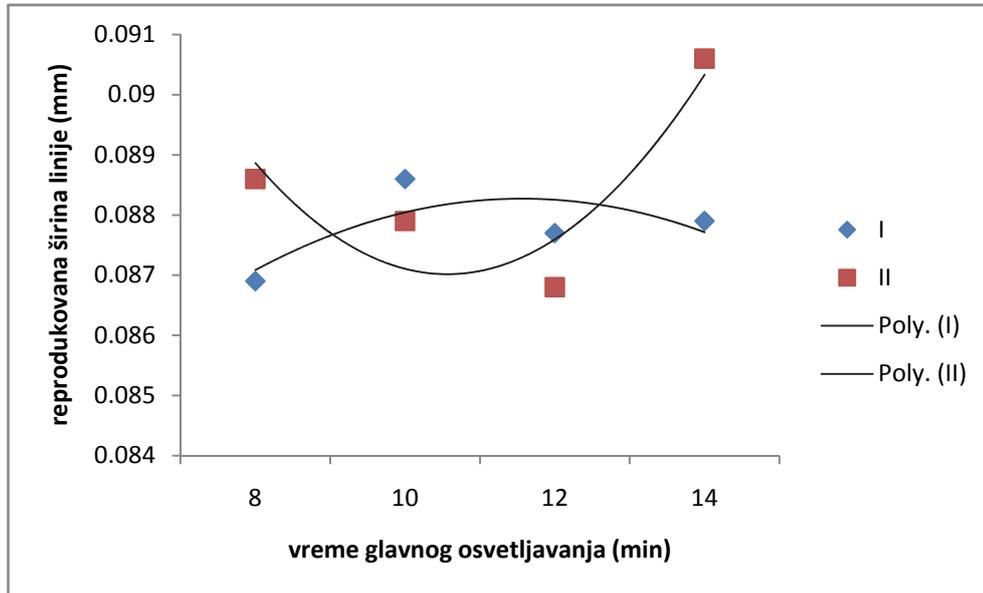


4.6: Grafički prikaz srednjih vrednosti merenja širine reprodukovanih linijskih elemenata (inicijalna širina linije 0.07 mm) u zavisnosti od vremena glavnog osvetljavanja i primenjenog broja obrtaja prilikom termalnog razvijanja (I – 8 obrtaja cilindra, II – 10 obrtaja cilindra)

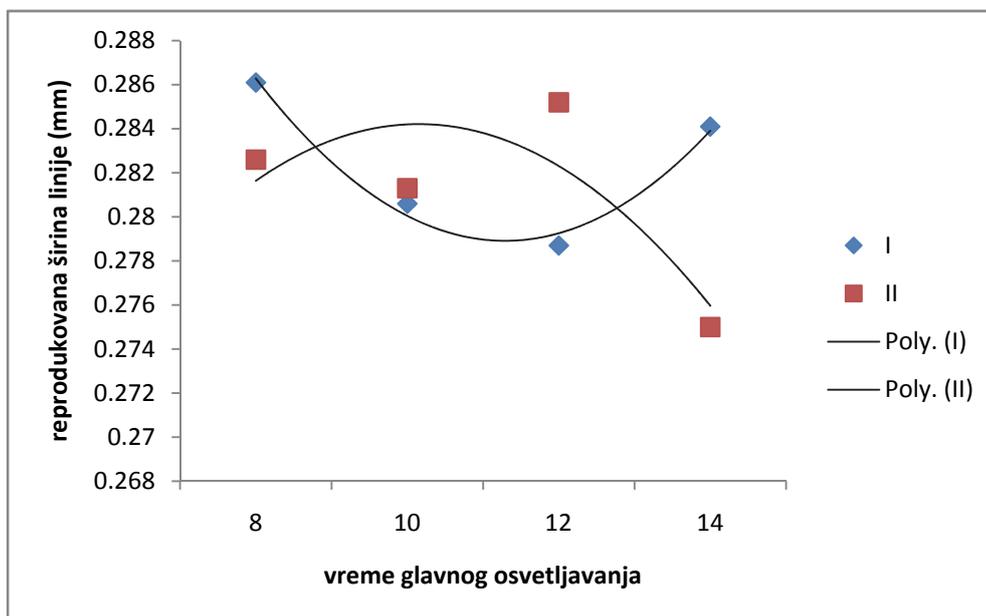
Prilikom reprodukcije linije inicijalne širine 0.1 mm (slika 4.7), u slučaju razvijanja II, vrednosti opadaju do vremena glavnog osvetljavanja od 12 minuta, da bi potom ponovno rasle. Polinomna funkcija drugog reda ukazuje na trend promene ($R^2 = 0.816$). U slučaju razvijanja I, promena širine linije sa porastom vremena glavnog osvetljavanja delimično se može opisati polinomnom funkcijom ($R^2 = 0.533$). Reprodukovana linija je uža u odnosu na inicijalno definisanu širinu, nezavisno od promene procesnih parametara izrade.

Promena u širini linije inicijalne vrednosti 0.3 mm sa promenom vremena glavnog osvetljavanja u slučaju razvijanja I i II grafički je prikazana na slici 4.8. U slučaju oba razvijanja, vrednosti prvobitno rastu (vreme glavnog osvetljavanja od 10 minuta), potom opadaju (vremen glavnog osvetljavanja od 12 minuta), da bi beležile ponovan rast (glavno osvetljavanje od 14 minuta). Promene su opisane polinomnom funkcijom drugog reda ($R^2 = 0.669$, razvijanje II i $R^2 = 0.979$ razvijanje I). Reprodukovane

vrednosti širine linije su i u ovom slučaju niže u odnosu na inicijalnu širinu, nezavisno od promene procesnih parametara izrade.



4.7: Grafik srednjih vrednosti merenja širine reprodukovanih linijskih elemenata (inicijalna širina linije 0.1 mm) u zavisnosti od vremena glavnog osvetljavanja i primenjenog broja obrtaja prilikom termalnog razvijanja (I – 8 obrtaja cilindra, II – 10 obrtaja cilindra)



4.8: Grafik srednjih vrednosti merenja širine reprodukovanih linijskih elemenata (inicijalna širina linije 0.3 mm) u zavisnosti od vremena glavnog osvetljavanja i primenjenog broja obrtaja prilikom termalnog razvijanja (I – 8 obrtaja cilindra, II – 10 obrtaja cilindra)

Evidentno je da brojčano razlike u srednjim vrednostima širina reprodukovanih linija nisu velike. Pa tako razlika između najmanje i najveće izračunate srednje vrednosti

širine linije, nezavisno od parametara osvetljavanja ili razvijanja iznosi 0.0066 mm, 0.0067mm, 0.0038 i 0.0111 mm za linije inicijalne širine od 0.05, 0.07, 0.1 i 0.3 mm respektivno. Nešto niže vrednosti širine linija zabeležene su u slučaju razvijanja I u odnosu na razvijanje II za linije inicijalne širine 0.05 mm i 0.07 mm u slučaju kada vreme glavnog osvetljavanja iznosi 14 minuta, te za linije inicijalne širine 0.1 i 0.3 mm i vreme glavnog osvetljavanja od 8 i 14, odnosno 10 i 12 minuta, respektivno. U slučaju preostalih vremena glavnog osvetljavanja zabeležene su veće širine linija u slučaju razvijanja sa manjim obrtajem cilindra (I). Značajnost utvrđenih razlika analizirana je primenom parametrijske statističke tehnike dvofaktorske analize varijanse različitih grupa (dvofaktorska ANOVA). Rezultat analize je pokazao da u slučaju svih analiziranih linija značajnost interakcije nezavisnih promenljivih vremena osvetljavanja i primenjenog broja obrtaja pri razvijanju iznosi 0.000, što ukazuje da uticaj interakcije jeste značajan. Stoga je za daljnu analizu izvršena podela uzoraka prema faktoru razvijanja, odnosno analizirani su uticaji vremena glavnog osvetljavanja u slučaju razvijanja primenom 8 odnosno 10 obrtaja cilindra zasebno. Analiza je izvršena primenom jednofaktorske ANOVA-e različitih grupa. Rezultati analize prikazani su u tabelama 4.10 – 4.13.

Tabela 4.10: Rezultati statističke analize širine linije (jednofaktorska ANOVA) u slučaju razvijanja primenom 8 obrtaja cilindra

Inicijalna širina linije (mm)		Suma kvadrata	Statistička značajnost	e.k.
0.050	Između grupa	0.001	0.000	0.33
	Unutar grupe	0.002		
	Ukupno	0.003		
0.070	Između grupa	0.001	0.000	0.5
	Unutar grupe	0.001		
	Ukupno	0.002		
0.100	Između grupa	0.001	0.088	0.5
	Unutar grupe	0.001		
	Ukupno	0.002		
0.300	Između grupa	0.001	0.000	0.5
	Unutar grupe	0.001		
	Ukupno	0.002		

U tabeli 4.10. predstavljeni su zbrovi kvadrata odstupanja (reziduala) rezultata od njihove srednje vrednosti, statistička značajnost i eta kvadrat za analizu širine reprodukovane linije pri različitim vremenima glavnog osvetljavanja u slučaju kada je razvijanje vršeno primenom 8 obrtaja cilindra.

Vrednost u koloni statistička značajnost (tabela 4.10) je pokazatelj statističke značajnosti razlike između srednjih vrednosti zavisne promenljive (širine linija) u posmatrane četiri grupe (četiri različita vremena glavnog osvetljavanja). Ukoliko je data vrednost manja od 0.05, onda postoji statistički značajna razlika između srednjih vrednosti zavisne promenljive u posmatranim grupama (Pallant, 2007).

Dobijeni rezultati pokazuju da je rezultat neke od grupa statistički značajan, odnosno da postoji statistički značajna razlika između srednje vrednosti u širinama linija, izuzev u

slučaju linije inicijalne širine 0.1 mm, u zavisnosti od različitog vremena glavnog osvetljavanja. Za utvrđivanje koja grupa se razlikuje od kojih drugih grupa, izvršeni su naknadni testovi gde su date statističke značajnosti razlika između svakog para grupa (tabela 4.11.).

Tabela 4.11: Rezultati statističke analize širine linije (ANOVA naknadni Tukeyev HSD test) u slučaju razvijanja sa 8 obrtaja cilindra (vremena glavnog osvetljavanja 8,10,12 i 14 minuta)

Širina linije (mm)	Vreme (min) I	Vreme (min) J	Srednja razlika (I-J)	Statistička značajnost	95% Interval poverenja	
					Donja granica	Gornja granica
0.05	8	10	-0.0021444*	0.041	-0.004224	-0.000065
		12	0.0013639	0.325	-0.000716	0.003444
		14	0.0010167	0.583	-0.001063	0.003096
	10	12	0.0035083*	0.000	0.001429	0.005588
		14	0.0031611*	0.001	0.001081	0.005241
	12	14	-0.0003472	0.973	-0.002427	0.001733
0.07	8	10	-0.0006222	0.779	-0.002328	0.001083
		12	0.0036028*	0.000	0.001897	0.005308
		14	0.0036028*	0.000	0.001897	0.005308
	10	12	0.0042250*	0.000	0.002520	0.005930
		14	0.0042250*	0.000	0.002520	0.005930
	12	14	0.0000000	1.000	-0.001705	0.001705
0.1	8	10	-0.0016639	0.055	-0.003352	0.000024
		12	-0.0007306	0.674	-0.002418	0.000957
		14	-0.0009389	0.473	-0.002627	0.000749
	10	12	0.0009333	0.478	-0.000754	0.002621
		14	0.0007250	0.680	-0.000963	0.002413
	12	14	-0.0002083	0.989	-0.001896	0.001479
0.3	8	10	0.0055083*	0.000	0.003869	0.007148
		12	0.0073583*	0.000	0.005719	0.008998
		14	0.0020250*	0.009	0.000385	0.003665
	10	12	0.0018500*	0.020	0.000210	0.003490
		14	-0.0034833*	0.000	-0.005123	-0.001844
	12	14	-0.0053333*	0.000	-0.006973	-0.003694

U tabeli 4.11. predstavljeni su rezultati naknadnih testova gde su date vrednosti srednje razlike, statističke značajnosti i gornja i donja granica 95% intervala poverenja. Naknadni test (Tukeyev HSD test) ukazuje gde su razlike između grupa.

Prema rezultatima prikazanim u tabeli 4.11, statistički značajno se razlikuju vrednosti linije inicijalne širine 0.05 mm u slučaju kada vreme osvetljavanja iznosi 10 minuta u odnosu na vrednosti kada je vreme glavnog osvetljavanja 8, 12 i 14 minuta. U slučaju linije inicijalne širine 0.07 mm statistički značajne razlike su pokazane između srednjih vrednosti širine linije postignutih sa glavnim osvetljavanjem od 8 minuta u odnosu na vrednosti postignute sa glavnim osvetljavanjem od 12 i 14 minuta, te između vrednosti u slučaju glavnog osvetljavanja od 10 minuta u odnosu na

vrednosti koje su postignute primenom osvetljavanja od 12 i 14 minuta. U slučaju linije inicijalne širine od 0.3 mm, statistička značajnost je zabeležena u slučaju svakog para. Prema Koenovom kriterijumu, vrednosti eta kvadrata za linije inicijalne širine 0.07 mm, 0.1 mm i 0.3 mm iznosi 0.5, dok za liniju inicijalne širine 0.05 mm eta kvadrat ima vrednost 0.33, što ukazuje da je uticaj razlike veliki.

Tabela 4.12: Rezultati statističke analize širine linije (jednofaktorska ANOVA) u slučaju razvijanja primenom 10 obrtaja cilindra

Inicijalna širina linije (mm)		Suma kvadrata	Statistička značajnost	e.k.
0.050	Između grupa	0.001	0.000	0.33
	Unutar grupe	0.002		
	Ukupno	0.003		
0.070	Između grupa	0.001	0.000	0.5
	Unutar grupe	0.001		
	Ukupno	0.002		
0.100	Između grupa	0.001	0.000	0.5
	Unutar grupe	0.001		
	Ukupno	0.002		
0.300	Između grupa	0.002	0.000	0.66
	Unutar grupe	0.001		
	Ukupno	0.003		

U tabeli 4.12. predstavljeni su zbrovi kvadrata odstupanja (reziduala) rezultata od njihove srednje vrednosti, statistička značajnost i eta kvadrat za analizu širine reprodukovane linije (istih subjekata) pri različitim vremenima glavnog osvetljavanja (različitim grupa) u slučaju kada je razvijanje vršeno primenom 10 obrtaja cilindra.

Dobijena vrednost statističke značajnosti u slučaju razvijanja primenom 10 obrtaja cilindra (tabela 4.12.) ukazuje da postoji statistički značajna razlika između srednje vrednosti u širinama svih ispitivanih linija. Za utvrđivanje koja grupa se razlikuje od kojih drugih grupa, izvršeni su naknadni testovi gde su date statističke značajnosti razlika između svakog para grupa (tabela 4.13.).

Tabela 4.13: Rezultati statističke analize širine linije (ANOVA naknadni Tukeyev HSD test) u slučaju razvijanja sa 10 obrtaja cilindra (vremena glavnog osvetljavanja 8,10,12 i 14 minuta)

Širina linije (mm)	Vreme (min) I	Vreme (min) J	Srednja razlika (I-J)	Statistička značajnost	95% Interval poverenja	
					Donja granica	Gornja granica
0.05	8	10	-0.0022167*	0.030	-0.004277	-0.000156
		12	0.0007417	0.786	-0.001319	0.002802
		14	-0.0059250*	0.000	-0.007986	-0.003864
	10	12	0.0029583*	0.002	0.000898	0.005019
		14	-0.0037083*	0.000	-0.005769	-0.001648
		12	14	-0.0066667*	0.000	-0.008727
0.07	8	10	-0.0018417*	0.005	-0.003261	-0.000423
		12	0.0034917*	0.000	0.002073	0.004911

Tabela 4.13 nastavak

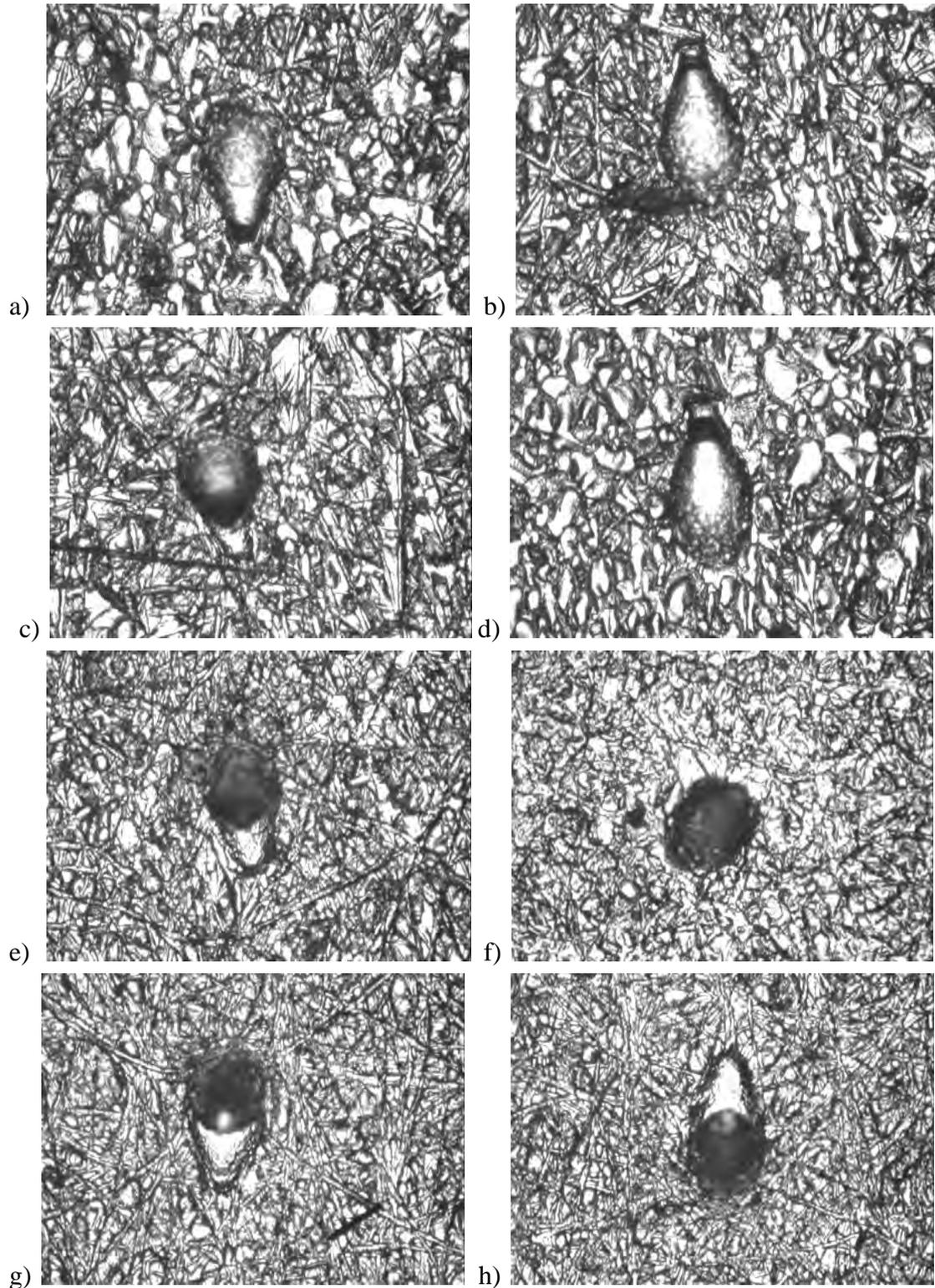
	10	14	-0.0001917	0.985	-0.001611	0.001227
		12	0.0053333*	0.000	0.003914	0.006752
		14	0.0016500*	0.016	0.000231	0.003069
	12	14	-0.0036833*	0.000	-0.005102	-0.002264
0.1	8	10	0.0007417	0.734	-0.001135	0.002618
		12	0.0018167	0.062	-0.000060	0.003693
		14	-0.0020333*	0.028	-0.003910	-0.000157
	10	12	0.0010750	0.447	-0.000802	0.002952
		14	-0.0027750*	0.001	-0.004652	-0.000898
	12	14	-0.0038500*	0.000	-0.005727	-0.001973
0.3	8	10	0.0012833	0.110	-0.000185	0.002752
		12	-0.0025667*	0.000	-0.004035	-0.001098
		14	0.0075583*	0.000	0.006090	0.009027
	10	12	-0.0038500*	0.000	-0.005319	-0.002381
		14	0.0062750*	0.000	0.004806	0.007744
	12	14	0.0101250*	0.000	0.008656	0.011594

U tabeli 4.13. predstavljeni su rezultati naknadnih testova gde su date vrednosti srednje razlike, statističke značajnosti i gornja i donja granica 95% intervala poverenja. Naknadni test (Tukeyev HSD test) ukazuje gde su razlike između grupa.

Prema rezultatima prikazanim u tabeli 4.8, u slučaju linije inicijalne širine 0.05 mm statistički značajne razlike u srednjim vrednostima širine linije nema između linija postignutih primenom 8 minuta pri glavnom osvetljavanju u odnosu na vrednosti dobijene primenom 12 minuta pri glavnom osvetljavanju. U slučaju svih ostalih parova, utvrđena je statistička značajnost. Kod linije inicijalne širine 0.07 mm statističke značajnosti nema u slučaju primenjenog glavnog osvetljavanja u trajanju od 8 minuta u odnosu na 14 minuta. Kod svih ostalih parova dobijeno je da postoji statistički značajna razlika u srednjim vrednostima izmerenih širina linija. U slučaju linije širine 0.1 mm značajne razlike postoje između vrednosti u slučaju primenjenog osvetljavanja od 14 minuta u odnosu na 8, 10 i 12 minuta, dok za ostale parove nije utvrđena statistička značajnost. U slučaju linije inicijalne širine 0.3 mm, statistički značajnih razlika nema jedino u slučaju srednjih vrednosti širina linija kada vreme glavnog osvetljavanja iznosi 8 minuta u odnosu na vreme glavnog osvetljavanja od 10 minuta. Prema Koenovom kriterijumu, vrednosti eta kvadrta ukazuju da je uticaj razlike veliki (e.k. > 0.14) za sve ispitivane linije (tabela 4.12.).

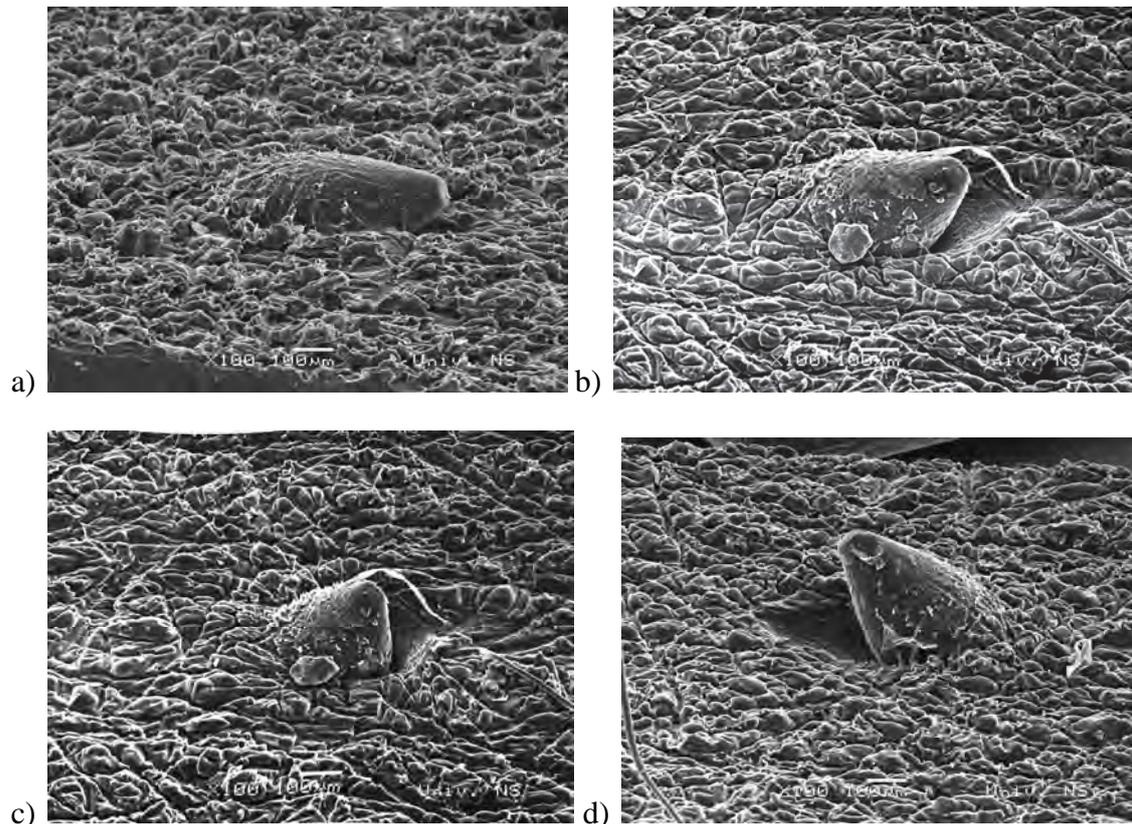
4.3.2. Analiza reprodukcije pojedinačnog elementa kružnog oblika (tačke)

Uticaj glavnog osvetljavanja i razvijanja na reprodukciju pojedinačnog kružnog elementa (tačke) praćen je preko promena u površini tačaka inicijalno definisanog prečnika od 0.1 – 0.5 mm (korak od 0.1 mm). Na slici 4.9. predstavljeni su mikroskopski snimci tačaka inicijalnog prečnika 0.1 mm dobijenih sa uređajem Viptronic Vipflex 333 (pogled odozgo).



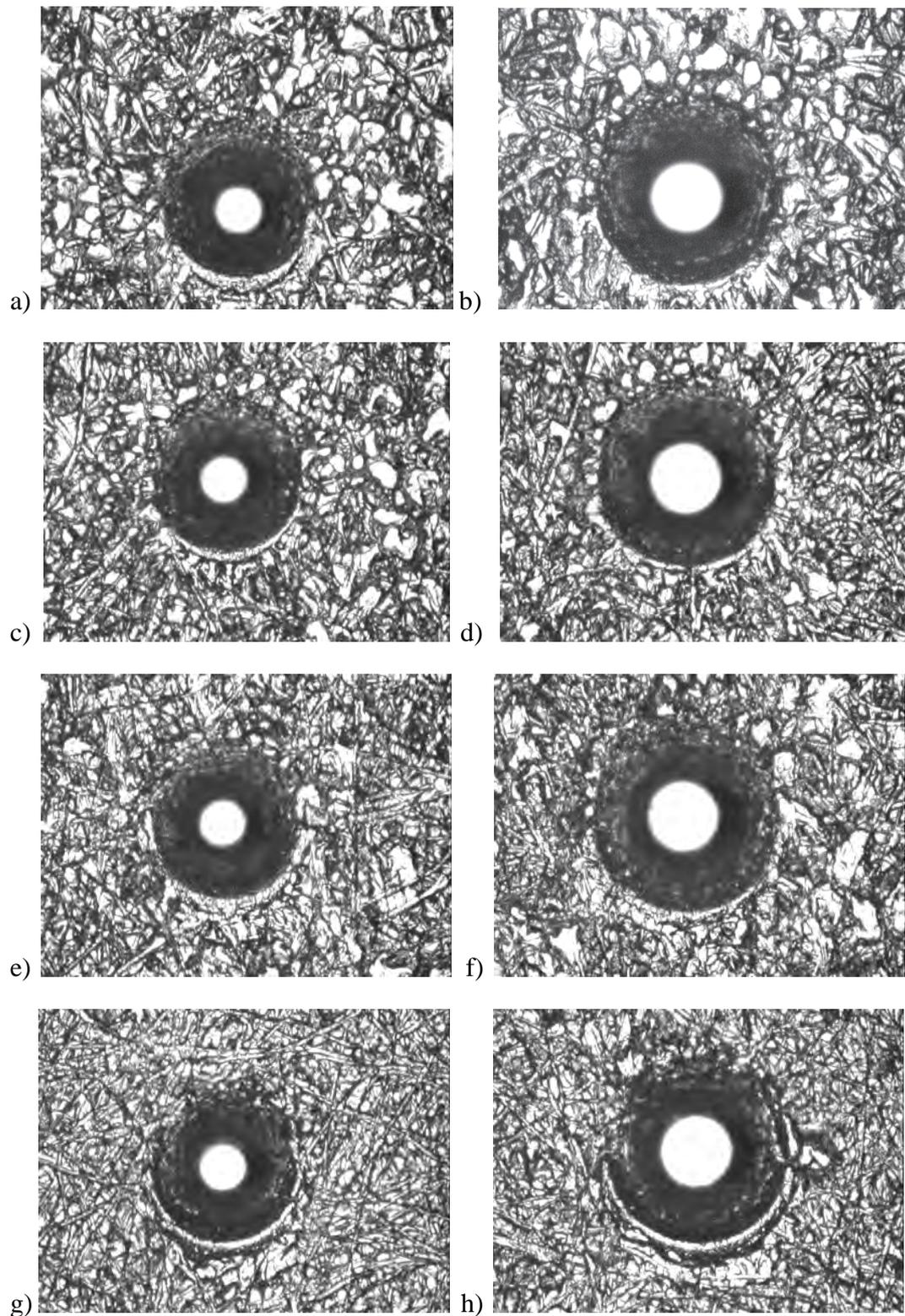
4.9: Mikroskopski snimci tačaka (pogled odozgo) inicijalnog prečnika 0.1 mm reprodukovanih primenom različitog vremena glavnog osvetljavanja i broja obrtaja pri termalnom razvijanju: a) 8 minuta/8 obrtaja, b) 8 minuta/10 obrtaja, c) 10 minuta/8 obrtaja, d) 10 minuta/10 obrtaja, e) 12 minuta/8 obrtaja, f) 12 minuta/10 obrtaja, g) 14 minuta/8 obrtaja, h) 14 minuta/10 obrtaja

Kako se sa snimaka može videti (slika 4.9.), niti jedno vreme glavnog osvetljavanja, nezavisno od procesa razvijanja, nije dalo stabilan element inicijalnog prečnika 0.1 mm koji bi mogao da ima zadovoljavajuća svojstva kako bi bio primenljiv u procesu štampe. Kako se sa SEM mikroskopskih snimaka može videti, evidentno je da sa porastom vremena glavnog osvetljavanja, tačka biva pravilnije reprodukovana, manje polegnuta te bolje i stabilnije vezana za osnovu, no ipak nedovoljno kako bi se u procesu štampe postiglo adekvatno štampanje (slika 4.10).

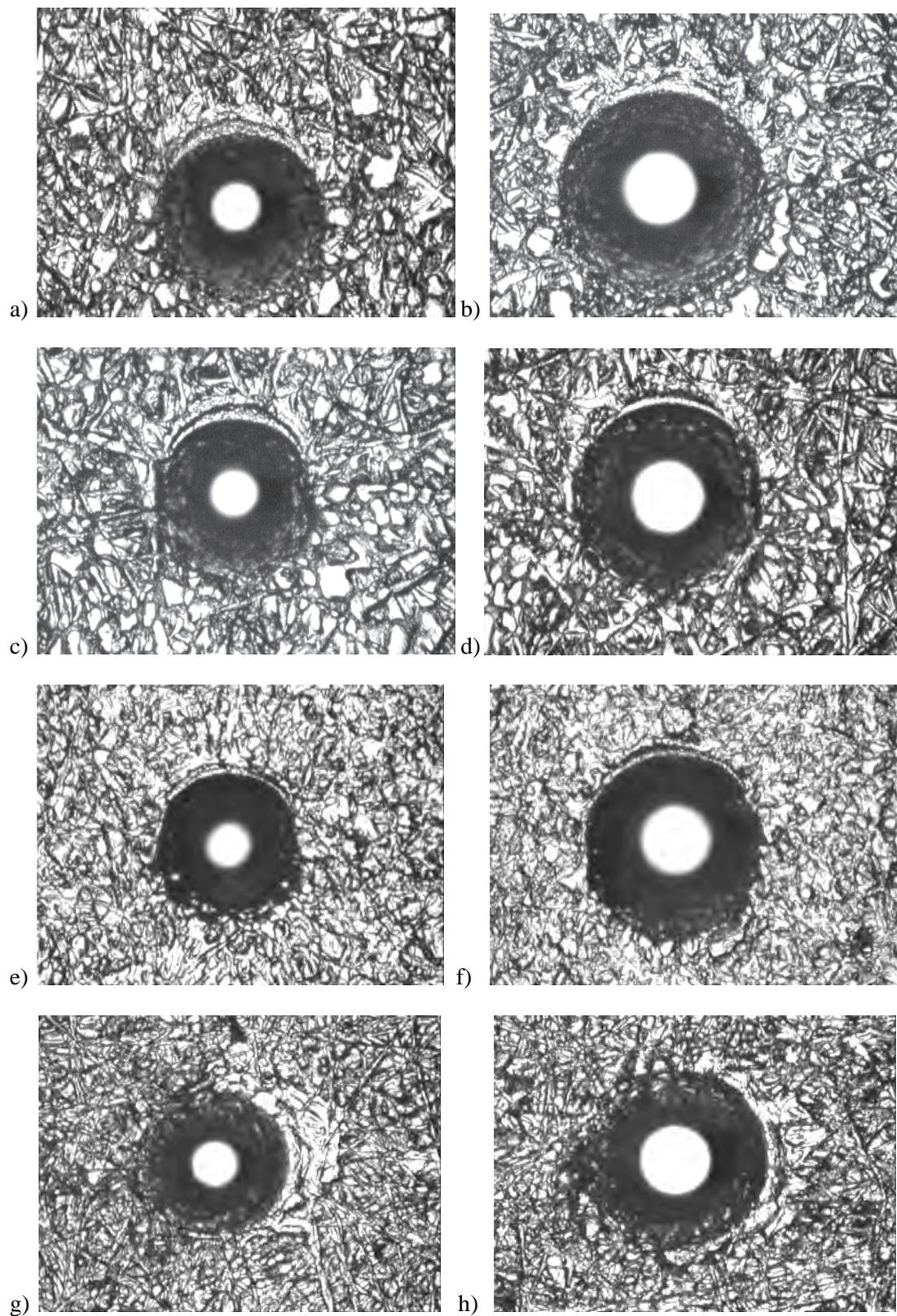


4.10: SEM mikroskopski snimci tačaka inicijalnog prečnika 0.1 mm reprodukovanih primenom različitog vremena glavnog osvetljavanja (uvećanje 100 x) (razvijanje primenom 8 obrtaja cilindra): a) 8 minuta, b) 10 minuta, c) 12 minuta, d) 14 minuta

Stoga je izvršena analiza promene površine tačka prečnika 0.2 mm do 0.5 mm (sa korakom od 0.1 mm), s obzirom da su date tačke bile adekvatno reprodukovane i merljive (primeri su predstavljeni na slikama 4.11. i 4.12.).



4.11: Mikroskopski snimci tačkica (pogled odozgo) inicijalnog prečnika 0.2 i 0.3 mm reprodukovanih primenom različitog vremena glavnog osvetljavanja i 8 obrtaja pri termalnom razvijanju: a),b) 8 minuta, c),d) 10 minuta, e),f) 12 minuta, g),h) 14 minuta, respektivno

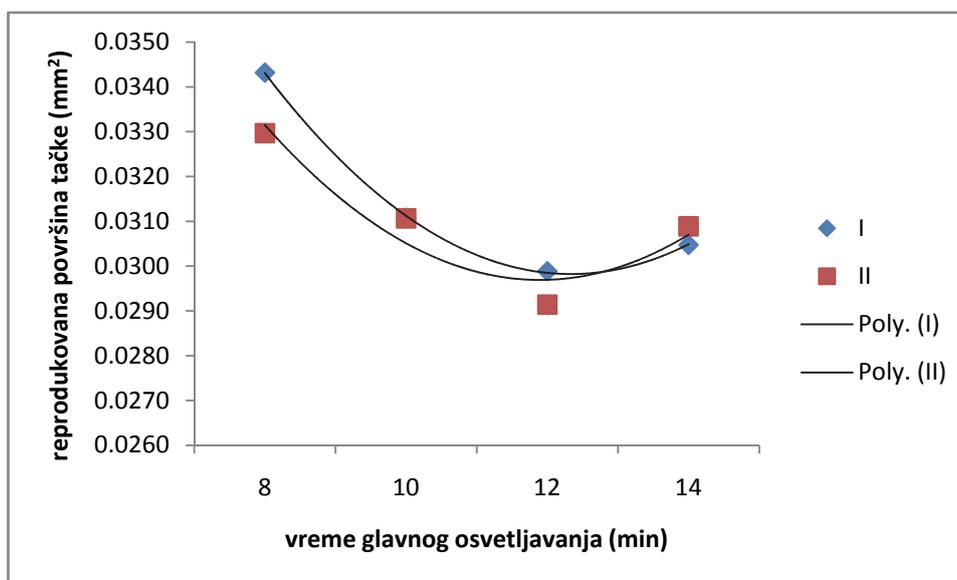


4.12: Mikroskopski snimci tačkaka (pogrd odozgo) inicijalnog prečnika 0.2 i 0.3 mm reprodukovanih primenom različitog vremena glavnog osvetljavanja i 10 obrtaja pri termalnom razvijanju: a),b) 8 minuta, c),d) 10 minuta, e),f) 12 minuta, g),h) 14 minuta, respektivno

Srednje vrednosti merenja površine tačaka inicijalnog prečnika 0.2 – 0.5 mm predstavljene su tabelarno (tabela 4.14.) i grafički (slike 4.13 – 4.16.).

Tabela 4.14: Srednje vrednosti površine tačke u zavisnosti od vremena glavnog osvetljavanja i primenjenog razvijanja (mereno za tačke inicijalnog prečnika 0.2 – 0.5 mm (korak 0.1 mm))

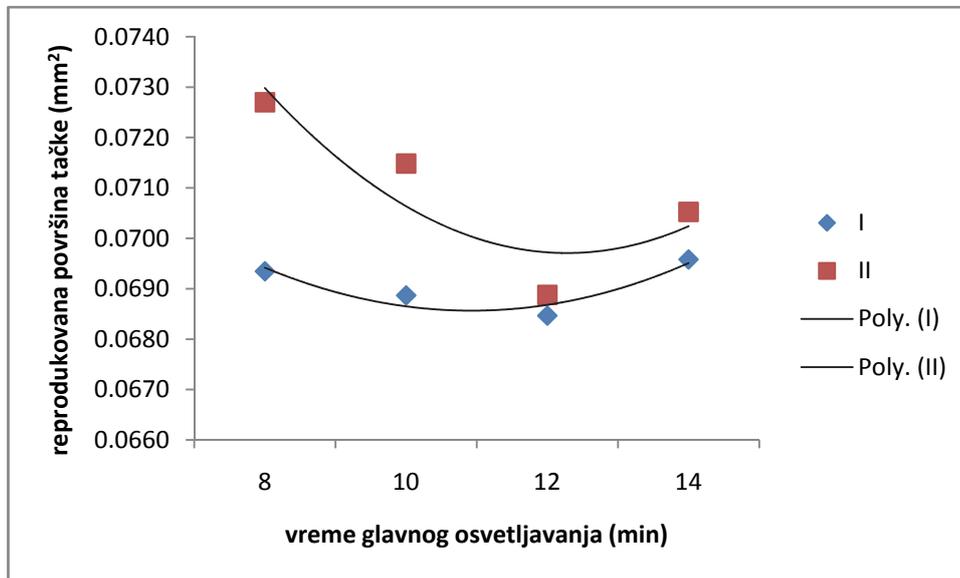
Štamparska forma	Tačka (inicijalnog prečnika/mm)			
	0.2	0.3	0.4	0.5
	Površina tačke (mm ²)			
8-I	0.0343	0.0693	0.1245	0.1998
10-I	0.0311	0.0689	0.1232	0.1991
12-I	0.0299	0.0685	0.1213	0.1894
14-I	0.0305	0.0696	0.1238	0.1972
8-II	0.0330	0.0727	0.1309	0.2061
10-II	0.0311	0.0715	0.1257	0.1920
12-II	0.0291	0.0689	0.1245	0.1913
14-II	0.0309	0.0705	0.1247	0.1907



4.13: Grafički prikaz srednjih vrednosti merenja površine štampajućeg elementa oblika tačke (inicijalni prečnik 0.2 mm) u zavisnosti od vremena glavnog osvetljavanja i primenjenog broja obrtaja prilikom termalnog razvijanja (I – 8 obrtaja cilindra, II – 10 obrtaja cilindra)

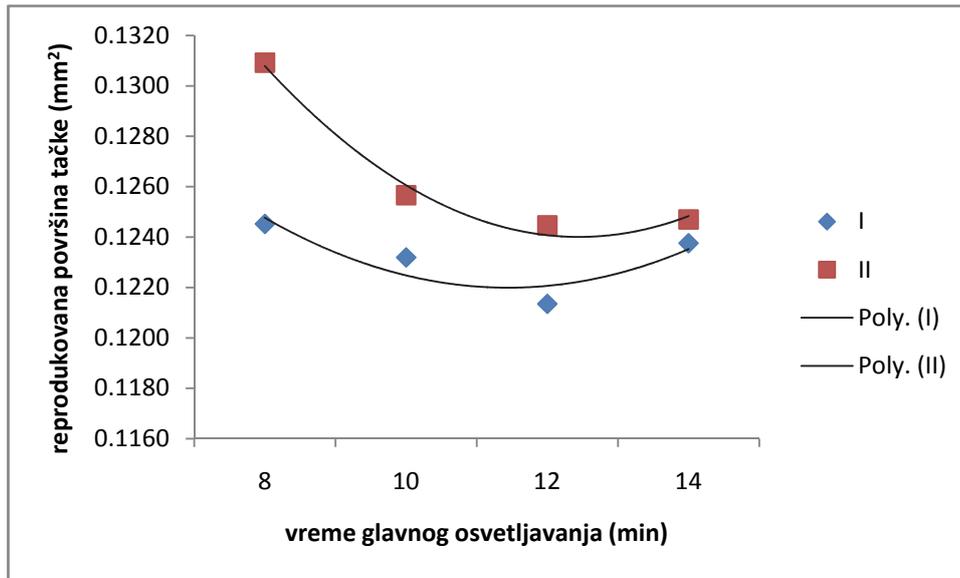
Grafički prikaz promene površine štampajućeg elementa oblika tačke inicijalnog prečnika 0.2 mm u zavisnosti od promene vremena glavnog osvetljavanja i primenjenog broja obrtaja pri termalnom razvijanju dat je na slici 4.13. Predstavljene vrednosti prate polinomnu funkciju drugog reda. Pri tome, u slučaju oba primenjena broja obrtaja pri termalnom razvijanju, površina tačke opada sa povećanjem vremena glavnog osvetljavanja, do vremena glavnog osvetljavanja od 14 minuta, kada se beleži ponovni rast vrednosti. U slučaju kada je razvijanje vršeno primenom 8 obrtaja cilindra, procentualno razlike u površini tačke između primenjenih 8 i 10, 10 i 12 odnosno 14 i

12 minuta pri glavnom osvetljavanju iznose 9.33%, 3.86% i 2%, respektivno. Pri primenjenom razvijanju sa 10 obrtaja cilindra date razlike iznose 5.75% (8 i 10 minuta), 6.43% (10 i 12 minuta) i 5.82% (14 i 12 minuta).



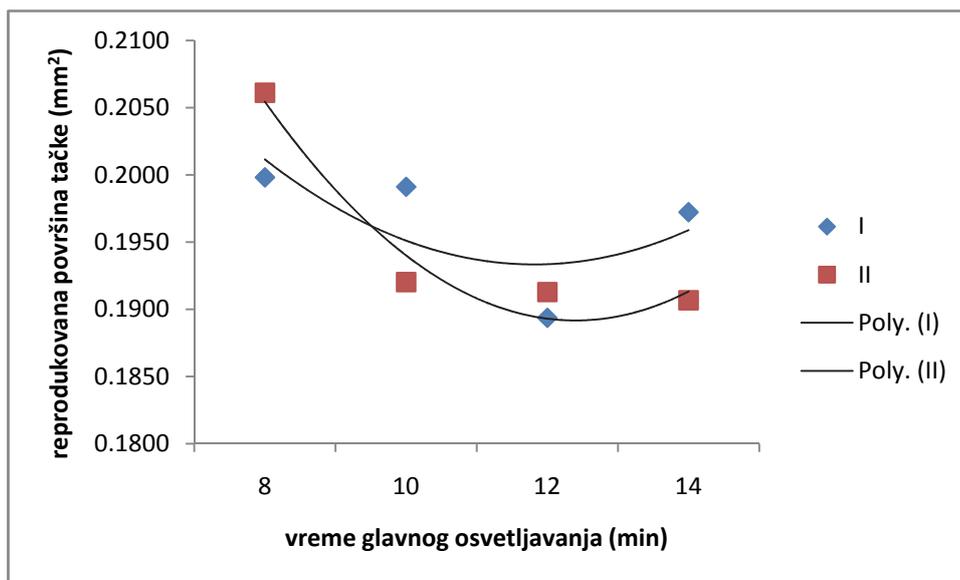
4.14: Grafički prikaz srednjih vrednosti merenja površine štampanog elementa oblika tačke (inicijalni prečnik 0.3 mm) u zavisnosti od vremena glavnog osvetljavanja i primenjenog broja obrtaja prilikom termalnog razvijanja (I – 8 obrtaja cilindra, II – 10 obrtaja cilindra)

Na slici 4.14. dat je grafički prikaz promene površine štampanog elementa oblika tačke inicijalnog prečnika 0.3 mm shodno promeni parametara osvetljavanja i razvijanja. Date vrednosti prate polinomnu funkciju drugog reda. U slučaju oba primenjena broja obrtaja pri termalnom razvijanju, površina tačke opada sa povećanjem vremena glavnog osvetljavanja, do vremena glavnog osvetljavanja od 14 minuta, kada se beleži ponovni rast vrednosti. Veće vrednosti površine tačke zabeležene su u slučaju razvijanja primenom 10 obrtaja cilindra, nezavisno od vremena trajanja glavnog osvetljavanja. Promene u površini tačke su izražajnije i skokovitije u slučaju primene većeg broja obrtaja cilindra. Razlika u površini tačke između primenjenih 8 i 10, 10 i 12 odnosno 14 i 12 minuta pri glavnom osvetljavanju, izraženo u procentima, respektivno iznosi 0.58%, 0.57% i 1.58% u slučaju razvijanja sa 8 obrtaja cilindra, odnosno 1.65%, 3.64% i 2.27% pri razvijanju primenom 10 obrtaja cilindra.



4.15: Grafički prikaz srednjih vrednosti merenja površine štampajućeg elementa oblika tačke (inicijalni prečnik 0.4 mm) u zavisnosti od vremena glavnog osvetljavanja i primenjenog broja obrtaja prilikom termalnog razvijanja (I – 8 obrtaja cilindra, II – 10 obrtaja cilindra)

Na slici 4.15. grafički je predstavljena promena površine štampajućeg elementa oblika tačke inicijalnog prečnika 0.4 mm u zavisnosti od promene glavnog osvetljavanja i razvijanja. Vrednosti prate polinomnu funkciju drugog reda. Opadajući trend se beleži do vremena glavnog osvetljavanja od 14 minuta, kada vrednosti ponovno rastu. Veće vrednosti površine tačke zabeležene su u slučaju kada se termalno razvijanje vrši primenom 10 obrtaja cilindra. Pri tome razlike u površini tačke između 8 i 10, 10 i 12, te 14 i 12 minuta pri glavnom osvetljavanju procentualno iznose 3.97%, 0.95% i 0.16%, respektivno. U slučaju primenjenog razvijanja sa 8 obrtaja cilindra, date razlike izražene u procentima iznose 1.04% (8 i 10 minuta), 1.54% (10 i 12 minuta) i 2.02% (14 i 12 minuta).



4.16: Grafički prikaz srednjih vrednosti merenja površine štampajućeg elementa oblika tačke (inicijalni prečnik 0.5 mm) u zavisnosti od vremena glavnog osvetljavanja i primenjenog broja obrtaja prilikom termalnog razvijanja (I – 8 obrtaja cilindra, II – 10 obrtaja cilindra)

Grafički prikaz promene površine štampajućeg elementa oblika tačke inicijalnog prečnika 0.5 mm u zavisnosti od promene vremena glavnog osvetljavanja i primenjenog broja obrtaja pri termalnom razvijanju dat je na slici 4.16. Predstavljene vrednosti prate polinomnu funkciju drugog reda pri čemu vrednosti površine tačke u slučaju razvijanja sa 8 obrtaja cilindra opadaju sa povećanjem vremena glavnog osvetljavanja, do vremena glavnog osvetljavanja od 14 minuta, kada se beleži ponovni rast vrednosti. Pri razvijanju primenom 10 obrtaja cilindra vrednosti imaju opadajući trend. Procentualno razlike u površini tačke, u slučaju kada je razvijanje vršeno primenom 8 obrtaja cilindra, između primenjenih 8 i 10, 10 i 12 odnosno 14 i 12 minuta pri glavnom osvetljavanju iznose 0.35%, 4.87% i 3.95% , respektivno. Pri primenjenom razvijanju sa 10 obrtaja cilindra date razlike iznose 6.84% (8 i 10 minuta), 0.36% (10 i 12 minuta) i 0.31% (12 i 14 minuta).

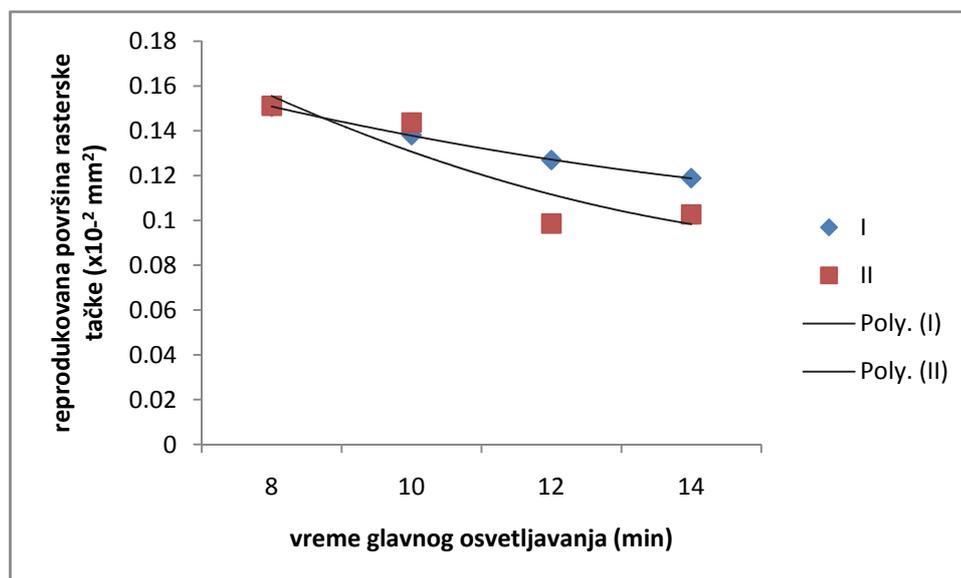
Statistička obrada rezultata nije bila moguća s obzirom na jako malu veličinu uzorka.

4.3.3. Analiza reprodukcije pojedinačne rasterske tačke

Analiza uticaja promene vremena glavnog osvetljavanja te primenjenog broja obrtaja cilindra pri termalnom razvijanju vršena je na mikronskom nivou preko promene u površini rasterske tačke polja određene tonske vrednosti. Rezultati ispitivanja su prikazani u tabeli 4.15. i grafički na slikama 4.17 - 4.19.

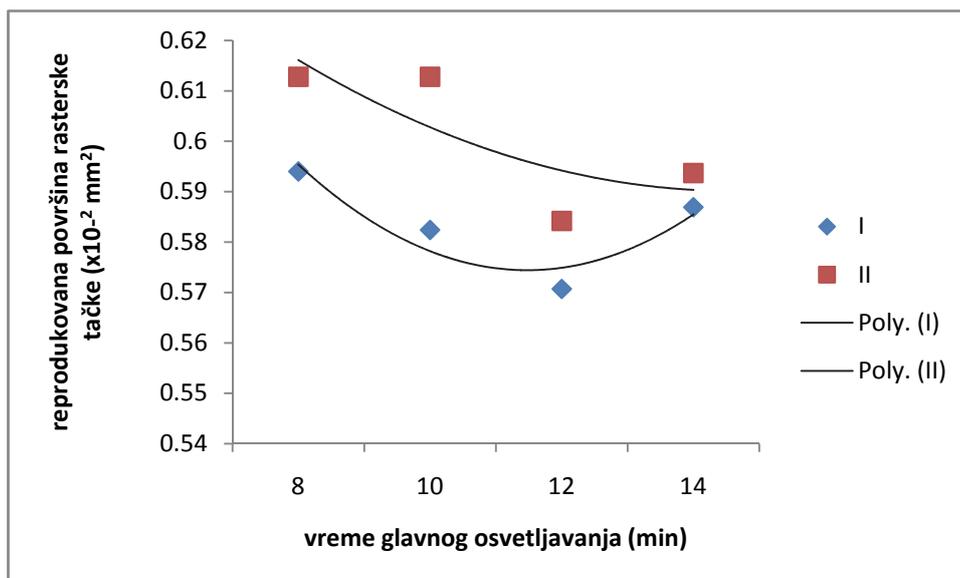
Tabela 4.15: Srednje vrednosti površine pojedinačne rasterske tačke u zavisnosti od vremena glavnog osvetljavanja i primenjenog razvijanja (mereno na tonskim poljima od 8, 30 i 50%)

Štamparska forma	Tonska vrednost polja (TV%)					
	8%		30%		50%	
	Površina pojedinačne rasterske tačke ($\times 10^{-2} \text{mm}^2$)					
	površina	st.dev.	površina	st.dev.	površina	st.dev.
8-I	0.1508	0.0107	0.5940	0.0112	1.0637	0.0166
10-I	0.1381	0.0098	0.5824	0.0110	1.0532	0.0165
12-I	0.1270	0.0090	0.5707	0.0107	1.0216	0.0160
14-I	0.1189	0.0139	0.5869	0.0214	1.0484	0.0219
8-II	0.1512	0.0104	0.6128	0.0123	1.1250	0.0105
10-II	0.1437	0.0099	0.6128	0.0120	1.0684	0.0100
12-II	0.0986	0.0082	0.5842	0.0086	1.0194	0.0184
14-II	0.1027	0.0085	0.5937	0.0088	1.0297	0.0186

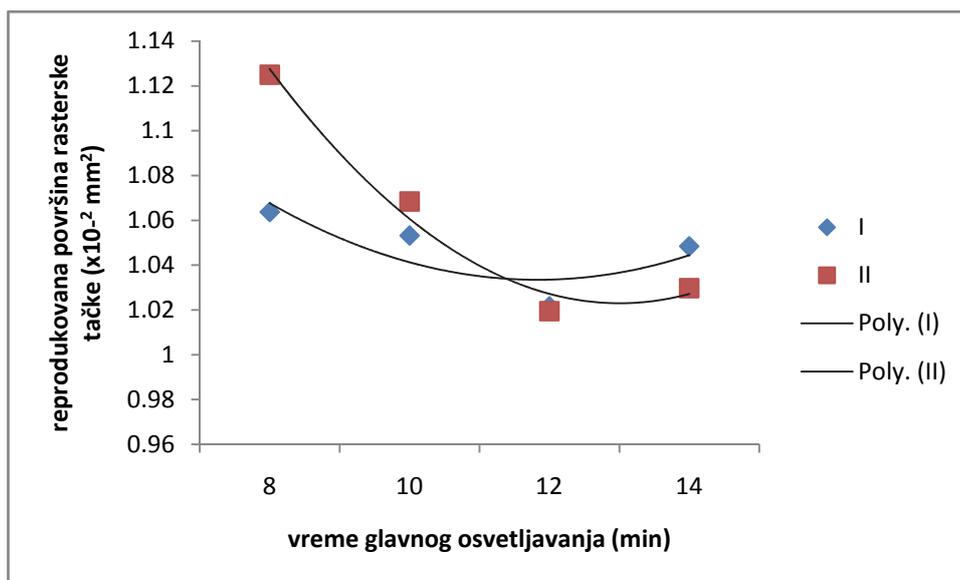


4.17: Grafički prikaz srednjih vrednosti merenja površine pojedinačne rasterske tačke na polju tonske vrednosti od 8% u zavisnosti od vremena glavnog osvetljavanja i primenjenog broja obrtaja prilikom termalnog razvijanja (I – 8 obrtaja cilindra, II – 10 obrtaja cilindra)

Na slici 4.17. dat je grafički prikaz promene u površini rasterske tačke na polju tonske vrednosti od 8%. Vrednosti prate polinomnu funkciju drugog reda. Sa povećanjem vremena glavnog osvetljavanja u slučaju razvijanja primenom 8 obrtaja cilindra površina rasterske tačke se smanjuje sa naznakom da međusobne razlike između prethodne i naredne vrednosti bivaju manje kako vreme osvetljavanja raste. U slučaju razvijanja sa 10 obrtaja cilindra, sa povećanjem vremena glavnog osvetljavanja površina rasterske tačke se smanjuje do vremena glavnog osvetljavanja od 14 minuta, kada vrednost ponovno blago raste.



4.18: Grafički prikaz srednjih vrednosti merenja površine pojedinačne rasterske tačke na polju tonske vrednosti od 30% u zavisnosti od vremena glavnog osvetljavanja i primenjenog broja obrtaja prilikom termalnog razvijanja (I – 8 obrtaja cilindra, II – 10 obrtaja cilindra)



4.19: Grafički prikaz srednjih vrednosti merenja površine pojedinačne rasterske tačke na polju tonske vrednosti od 50% u zavisnosti od vremena glavnog osvetljavanja i primenjenog broja obrtaja prilikom termalnog razvijanja (I – 8 obrtaja cilindra, II – 10 obrtaja cilindra)

Zavisnost promene u površini rasterske tačke na polju tonske vrednosti od 30% u funkciji vremena glavnog osvetljavanja i razvijanja prikazana je grafički na slici 4.18. Vrednosti prate polinomnu funkciju drugog reda. U slučaju oba primenjena razvijanja površina rasterske tačke opada sa povećanjem vremena glavnog osvetljavanja do vremena od 14 minuta kada vrednosti ponovo beleže rast. Veće vrednosti u samoj površini zabeležene su u slučaju primenjenog razvijanja II (deset obrtaja cilindra).

Grafički prikaz promene površine rasterske tačke na polju tonske vrednosti od 50% u funkciji vremena glavnog osvetljavanja i razvijanja dat je na slici 4.19. Kao i u prethodnom slučaju, vrednosti prateći polinomnu funkciju opadaju do vremena glavnog osvetljavanja od 14 minuta kada se beleži ponovni rast. U slučaju razvijanja II, beleže se skokovitije promene u površini rasterske tačke u funkciji vremena glavnog osvetljavanja.

Dobijeni rezultati površine tačaka analizirani su primenom statističkih parametrijskih tehnika kako bi se utvrdilo da li postoji statistički značajna razlika između dobijenih vrednosti površine rasterske tačke usled promene vremena glavnog osvetljavanja i/ili parametra razvijanja. Primenjena je dvofaktorska analiza varijanse različitih grupa (dvofaktorska ANOVA). Rezultat analize je pokazao da u slučaju svih analiziranih rasterskih tačaka značajnost interakcije nezavisnih promenljivih vremena osvetljavanja i primenjenog broja obrtaja pri razvijanju iznosi 0.000, što ukazuje da uticaj interakcije jeste značajan. Stoga je za daljnu analizu izvršena podela uzoraka prema faktoru razvijanja, odnosno analizirani su uticaji vremena glavnog osvetljavanja u slučaju razvijanja primenom 8 odnosno 10 obrtaja cilindra zasebno. Analiza je izvršena primenom jednofaktorske ANOVA-e različitih grupa. Rezultati analize predstavljeni su u tabelama 4.16 - 4.19.

Tabela 4.16: Rezultati statističke analize površine rasterske tačke odgovarajućeg tonskog polja (jednofaktorska ANOVA) u slučaju razvijanja primenom 8 obrtaja cilindra

Površina rasterske tačke odgovarajućeg tonskog polja		Suma kvadrata	Statistička značajnost	e.k.
8%	Između grupa	0.021	0.000	0.55
	Unutar grupe	0.017		
	Ukupno	0.038		
30%	Između grupa	0.010	0.000	0.26
	Unutar grupe	0.029		
	Ukupno	0.039		
50%	Između grupa	0.035	0.000	0.44
	Unutar grupe	0.045		
	Ukupno	0.080		

U tabeli 4.16. predstavljeni su zbrovi kvadrata odstupanja (reziduala) rezultata od njihove srednje vrednosti, statistička značajnost i eta kvadrat za analizu površine reprodukovane rasterske tačke polja odgovarajuće tonske vrednosti pri različitim vremenima glavnog osvetljavanja u slučaju kada je razvijanje vršeno primenom 8 obrtaja cilindra.

Dobijena vrednost statističke značajnosti ukazuje da postoji statistički značajna razlika između srednje vrednosti površina svih ispitanih rasterskih tačaka. Za utvrđivanje koja grupa se razlikuje od kojih drugih grupa, izvršeni su naknadni testovi gde su date statističke značajnosti razlika između svakog para grupa (tabela 4.17.).

Tabela 4.17: Rezultati statističke analize površine rasterske tačke odgovarajućeg tonskog polja (ANOVA naknadni Tukeyev HSD test) u slučaju razvijanja sa 8 obrtaja cilindra (vremena glavnog osvetljavanja 8,10,12 i 14 minuta)

Površina RT tonskog polja	Vreme (min) I	Vreme (min) J	Srednja razlika (I-J)	Statistička značajnost	95% Interval poverenja	
					Donja granica	Gornja granica
8%	8	10	0.0127111*	0.000	0.005969	0.019454
		12	0.0237639*	0.000	0.017021	0.030506
		14	0.0318750*	0.000	0.025132	0.038618
	10	12	0.0110528*	0.000	0.004310	0.017795
		14	0.0191639*	0.000	0.012421	0.025906
	12	14	0.0081111*	0.011	0.001369	0.014854
30%	8	10	0.0116389*	0.004	0.002864	0.020414
		12	0.0232778*	0.000	0.014503	0.032053
		14	0.0071083	0.156	-0.001667	0.015883
	10	12	0.0116389*	0.004	0.002864	0.020414
		14	-0.0045306	0.538	-0.013306	0.004244
	12	14	-0.0161694*	0.000	-0.024944	-0.007394
50%	8	10	0.0105250	0.065	-0.000450	0.021500
		12	0.0421139*	0.000	0.031139	0.053089
		14	0.0153167*	0.002	0.004342	0.026292
	10	12	0.0315889*	0.000	0.020614	0.042564
		14	0.0047917	0.668	-0.006183	0.015767
	12	14	-0.0267972*	0.000	-0.037772	-0.015822

U tabeli 4.17. predstavljeni su rezultati naknadnih testova gde su date vrednosti srednje razlike, statističke značajnosti i gornja i donja granica 95% intervala poverenja. Naknadni test (Tukeyev HSD test) ukazuje gde su razlike između grupa.

Prema rezultatima prikazanim u tabeli 4.17, u slučaju merene površine rasterske tačke tonskog polja od 8% postoji statistički značajna razlika između svakog para grupa. Kod rasterske tačke tonskog polja od 30%, statistički značajna razlika ne postoji između parova 14 i 8 te 14 i 10. Drugim rečima, statistički značajne razlike u površini reprodukovane rasterske tačke postoje u slučaju svakog vremena glavnog osvetljavanja izuzev vremena od 14 minuta u odnosu na vreme od 8 i 10 minuta. Kod tačke tonskog polja od 50%, statistički značajne razlike u srednjim vrednostima ne postoje između primenjenog vremena glavnog osvetljavanja od 10 minuta u odnosu na vreme glavnog osvetljavanja od 8 i 14 minuta. Prema Koenovom kriterijumu, vrednosti eta kvadrta ukazuju na veliki uticaj utvrđene razlike (e.k. >0.14 za sve ispitivane tačke (tabela 4.16)).

Tabela 4.18: Rezultati statističke analize površine rasterske tačke odgovarajućeg tonskog polja (jednofaktorska ANOVA) u slučaju razvijanja primenom 10 obrtaja cilindra

Površina rasterske tačke odgovarajućeg tonskog polja		Suma kvadrata	Statistička značajnost	e.k.
8%	Između grupa	0.080	0.000	0.87
	Unutar grupe	0.012		
	Ukupno	0.092		
30%	Između grupa	0.049	0.000	0.75
	Unutar grupe	0.016		
	Ukupno	0.065		
50%	Između grupa	0.247	0.000	0.89
	Unutar grupe	0.031		
	Ukupno	0.278		

U tabeli 4.18. predstavljeni su zbrovi kvadrata odstupanja (reziduala) rezultata od njihove srednje vrednosti, statistička značajnost i eta kvadrat za analizu površine reprodukovane rasterske tačke polja odgovarajuće tonske vrednosti (istih subjekata) pri različitim vremenima glavnog osvetljavanja (različitih grupa) u slučaju kada je razvijanje vršeno primenom 10 obrtaja cilindra.

Dobijena vrednost u koloni statistička značajnost ukazuje da postoji statistički značajna razlika između srednje vrednosti površina svih ispitanih rasterskih tačaka. Za utvrđivanje razlike između grupa izvršeni su naknadni testovi gde su date statističke značajnosti razlika između svakog para grupa (tabela 4.19.).

Tabela 4.19: Rezultati statističke analize površine rasterske tačke odgovarajućeg tonskog polja (ANOVA naknadni Tukeyev HSD test) u slučaju razvijanja sa 10 obrtaja cilindra (vremena glavnog osvetljavanja 8,10,12 i 14 minuta)

Površina RT tonskog polja	Vreme (min) I	Vreme (min) J	Srednja razlika (I-J)	Statistička značajnost	95% Interval poverenja	
					Donja granica	Gornja granica
8%	8	10	0.0074694*	0.005	0.001762	0.013177
		12	0.0525944*	0.000	0.046887	0.058302
		14	0.0484944*	0.000	0.042787	0.054202
	10	12	0.0451250*	0.000	0.039418	0.050832
		14	0.0410250*	0.000	0.035318	0.046732
	12	14	-0.0041000	0.247	-0.009807	0.001607
30%	8	10	0.0196056*	0.000	0.013127	0.026084
		12	0.0481750*	0.000	0.041696	0.054654
		14	0.0386750*	0.000	0.032196	0.045154
	10	12	0.0285694*	0.000	0.022091	0.035048
		14	0.0190694*	0.000	0.012591	0.025548
	12	14	-0.0095000*	0.001	-0.015979	-0.003021
50%	8	10	0.0566389*	0.000	0.047487	0.065791
		12	0.1055694*	0.000	0.096417	0.114722
		14	0.0952750*	0.000	0.086123	0.104427
	10	14	0.0386361*	0.000	0.029484	0.047788
	12	14	-0.0102944*	0.021	-0.019447	-0.001142

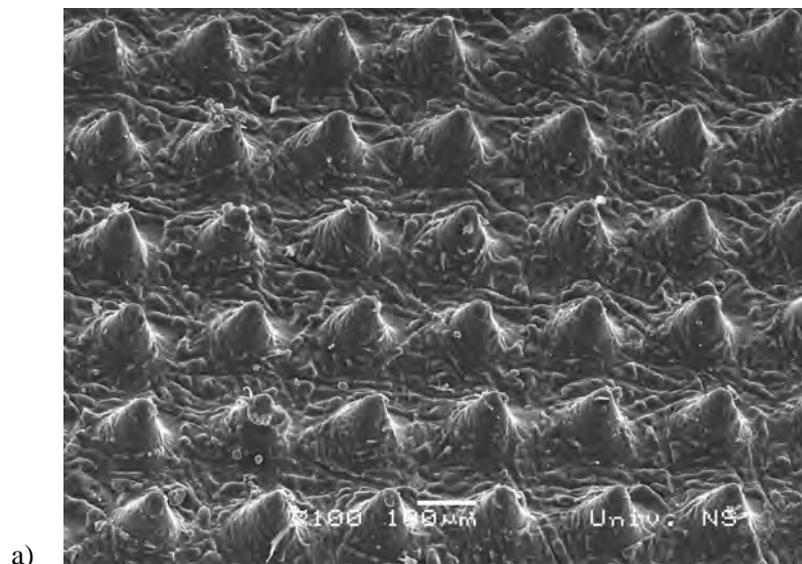
U tabeli 4.19. predstavljeni su rezultati naknadnog Tukeyev HSD testa, koji ukazuje na razlike među grupama, gde su date vrednosti srednje razlike, statističke značajnosti i gornja i donja granica 95% intervala poverenja.

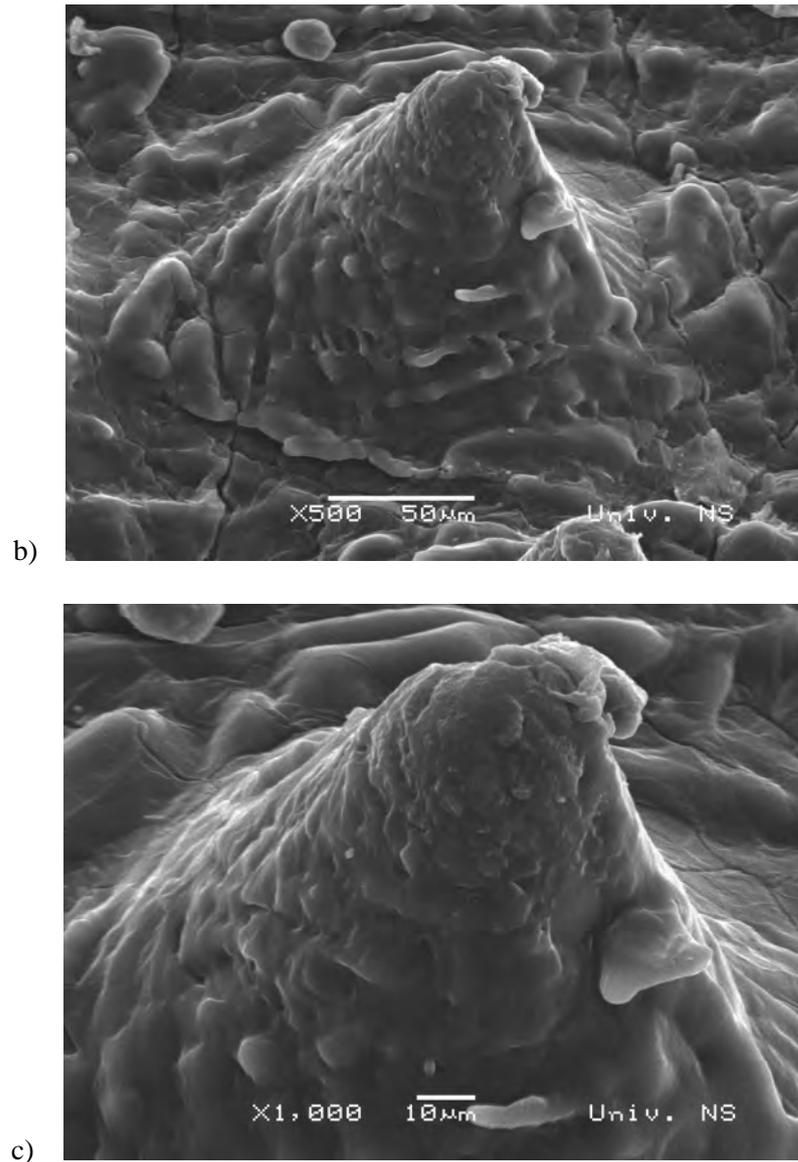
Prema rezultatima prikazanim u tabeli 4.19, u slučaju merene površine rasterske tačke svakog tonskog polja postoji statistički značajna razlika između svakog para grupa sa izuzetkom za rastersku tačku tonskog polja od 8% i vremena glavnog osvetljavanja od 12 minuta u odnosu na vreme glavnog osvetljavanja od 14 minuta. Vrednosti eta kvadrta ukazuju na izuzetno veliki uticaj utvrđene razlike (stubac e.k. u tabeli 4.18.; vrednosti su veće od 0,14 što se prema Koenu klasifikuje kao veliki uticaj).

4.4. Mikroskopska analiza reprodukcije elemenata na štamparskim formama

4.4.1. Analiza mikroskopskih snimaka reprodukovanih elemenata na štamparskoj formi sa termalnim postupkom razvijanja (A)

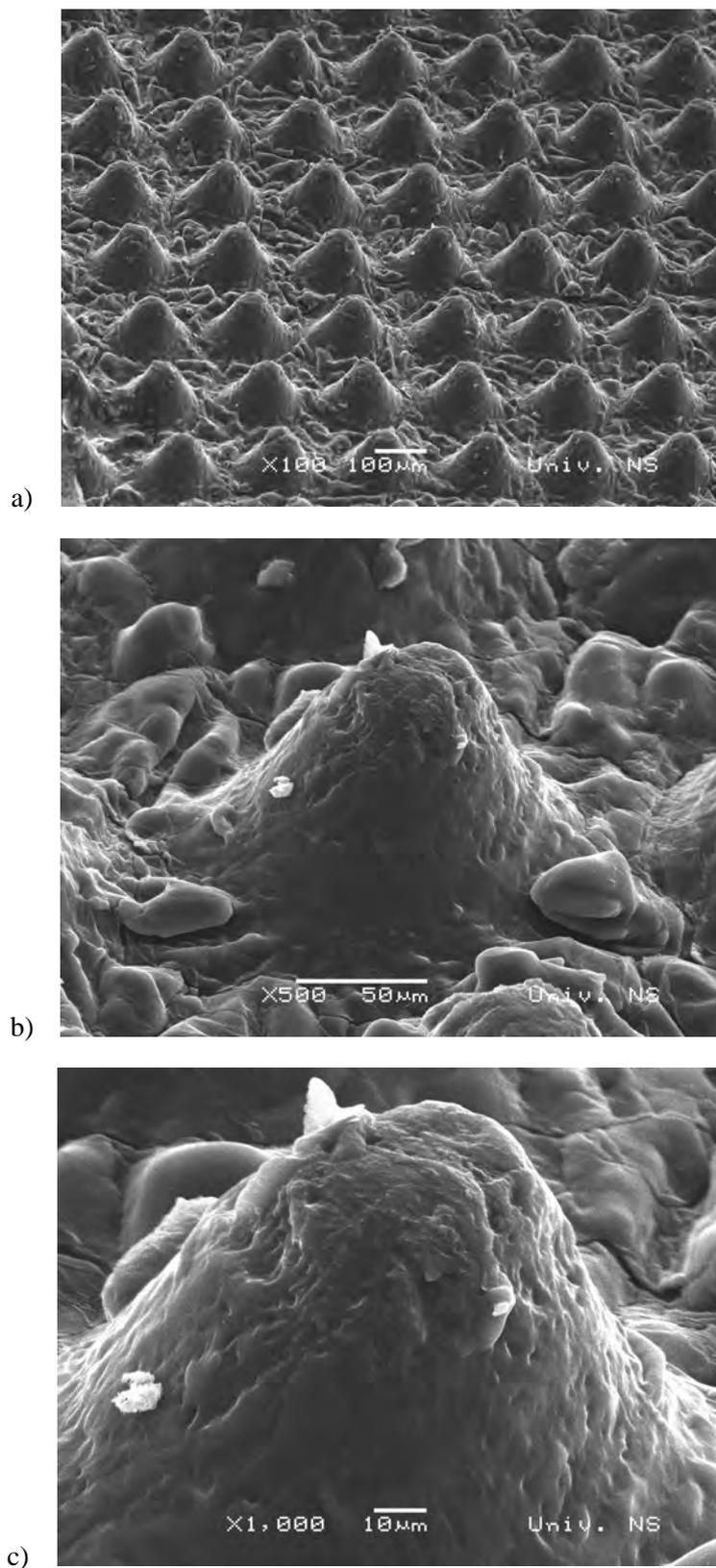
U cilju detaljne analize reprodukcije štampajućih elemenata, u okviru sprovedenog istraživanja, vršeno je mikroskopsko snimanje reprodukovanih štampajućih elemenata na štamparskoj formi koja se razvija termalnim postupkom - štamparska forma A (izrađena prema unapred utvrđenim optimalnim parametrima izrade) sa skenirajućim elektronskim mikroskopom i optičkim mikroskopom. Na slici 4.20. predstavljeni su SEM mikroskopski snimci polja od 1% tonske vrednosti.





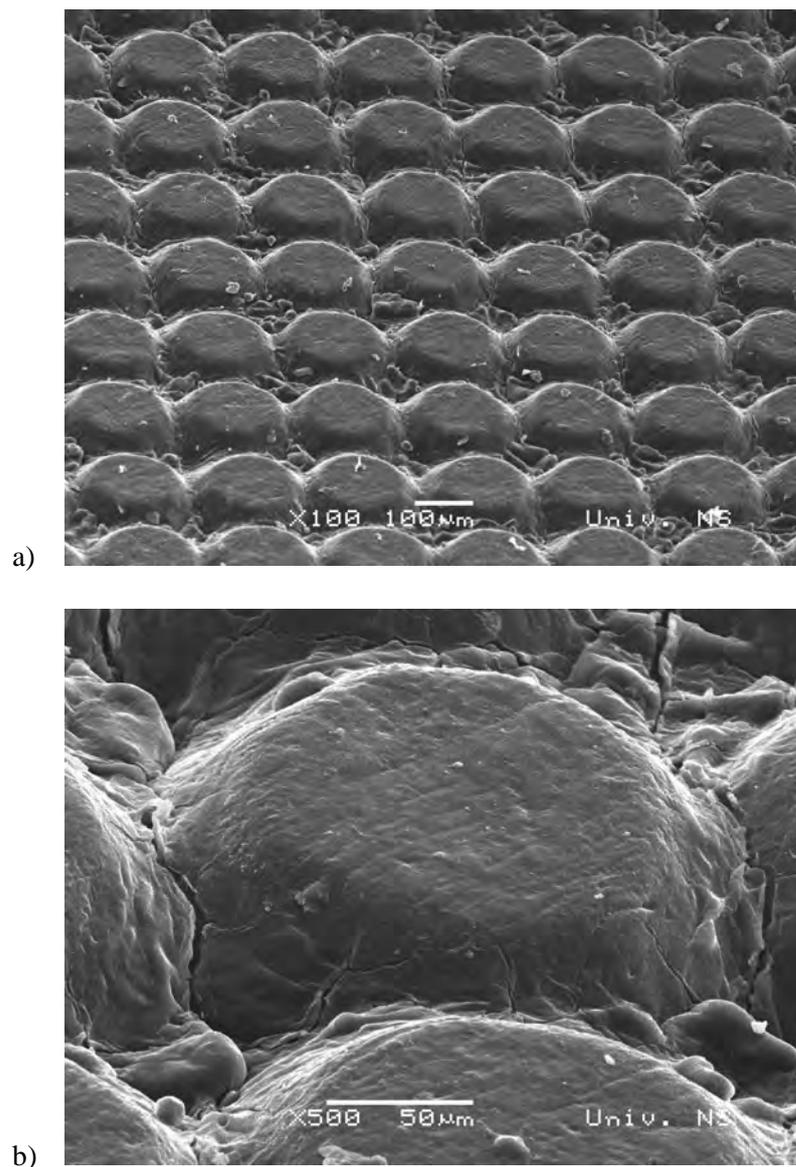
Slika 4.20: SEM mikroskopski snimak polja od 1% tonske vrednosti na štampaskoj formi A: a) polje od 1% tonske vrednosti, uvećanje 100x; b) pojedinačni rasterski element, uvećanje 500x, c) b) pojedinačni rasterski element, uvećanje 1000x

Kako se sa slike 4.20. može videti, rasterske tačke imaju jasno formiran oblik kupe, te u potpunosti i ujednačeno polimerizovanu površinu. U delu između rasterskih tačaka nesovetljeni polimer je uklonjen. Nečistoća koje se mogu uočiti na mikroskopskom snimku (slika 4.20b,c)) su najverovatnije posledica ostataka čestica prašine.



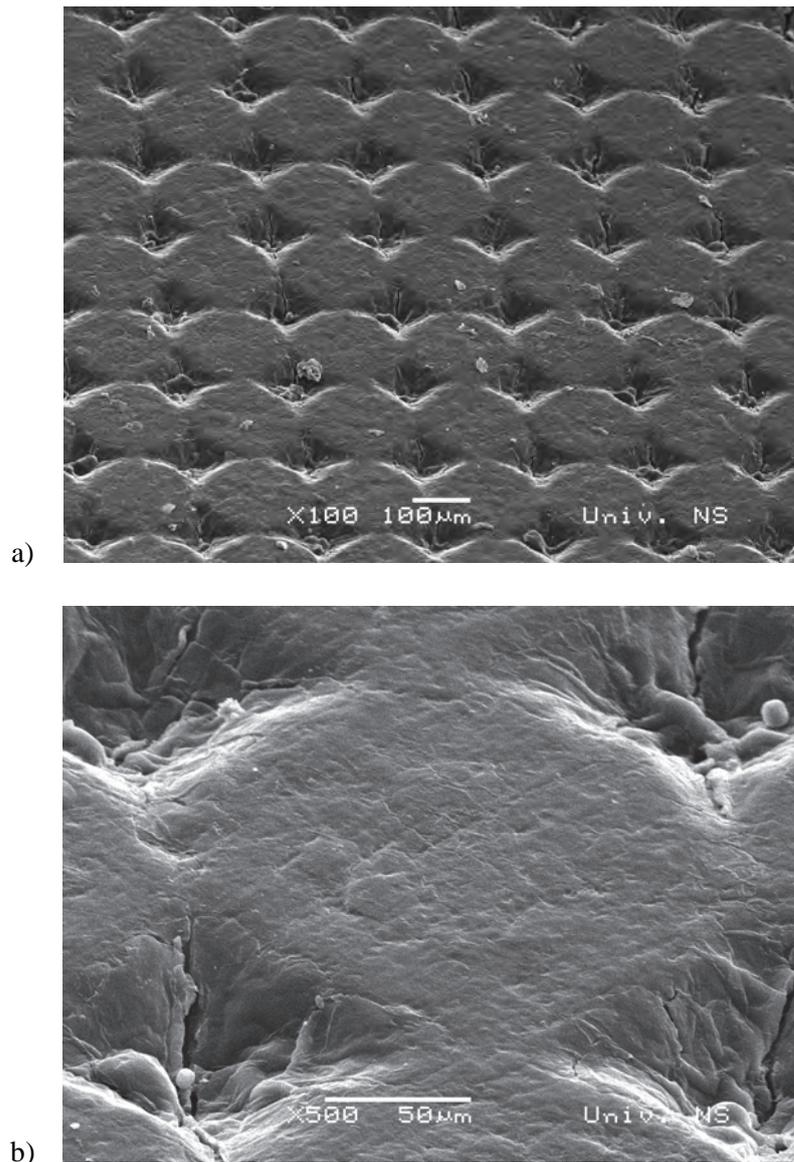
Slika 4.21: SEM mikroskopski snimak polja od 5% tonske vrednosti na štampaskoj formi A: a) polje od 5% tonske vrednosti, uvećanje 100x; b) pojedinačni rasterski element, uvećanje 500x; c) pojedinačni rasterski element, uvećanje 1000x

Na slici 4.21. predstavljeni su SEM mikroskopski snimci polja od 5% tonske vrednosti. Kako je pokazano mikroskopskim snimkom na slici 4.21, rasterske tačke na polju od 5% su takođe jasno formirane, sa telom oblika kupe. Neosvetljeni polimer je u postupku razvijanja uklonjen sa površine štamparske forme. Prečnik tačke, jasno, raste sa porastom tonske vrednosti, što se i sa priloženih mikroskopskih snimka može i videti. Nečistoće koje se mogu uočiti na mikroskopskim snimcima pretpostavlja se da su posledica ostataka čestica prašine. Na slici 4.21c) primećuje se da rasterska tačka nema idealno kružni oblik kao ni idealno ravnu površinu. Primetne su mikroneravnine i mikropukotine kako po obodu tako i po gornjoj površini rasterskog elementa.



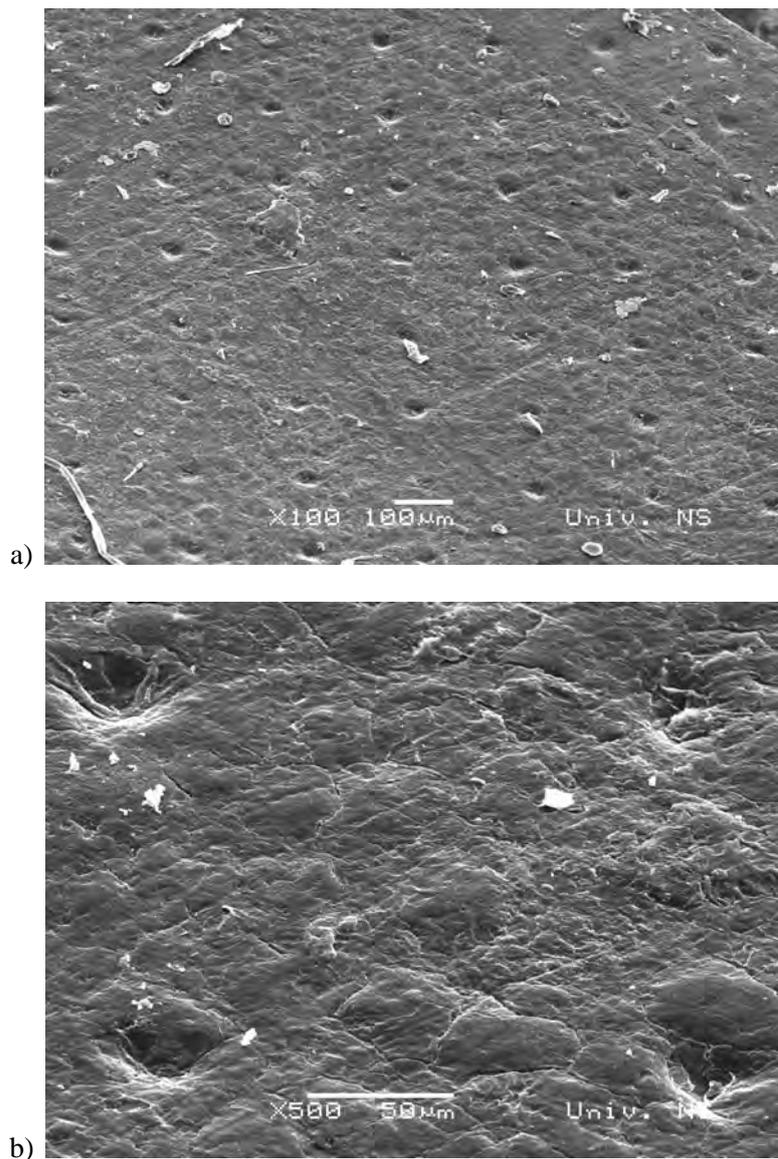
Slika 4.22: SEM mikroskopski snimak polja od 50% tonske vrednosti na štamparskoj formi A: a) polje od 50% tonske vrednosti, uvećanje 100x; b) pojedinačni rasterski element, uvećanje 500x

Na slici 4.22. dati su mikroskopski snimci polja od 50% tonske vrednosti. Prikazani snimci ukazuju da je eksponirana površina u potpunosti polimerizovana te da je neosvetljeni fotopolimer u procesu razvijanja uklonjen sa površine štamparske forme, odnosno u delu između rasterskih tačaka. Rasterska tačka je, shodno tonskoj vrednosti, većeg prečnika, te je slobodan prostor između rasterskih elemenata smanjen. Kako je reč o polju od 50% tonske vrednosti, to se tačke spajaju donjim delom tela, dok su u gornjem delu tačke i dalje razdvojene. Površina tačke ima jasnu formu kružnog oblika (slika 4.22b).



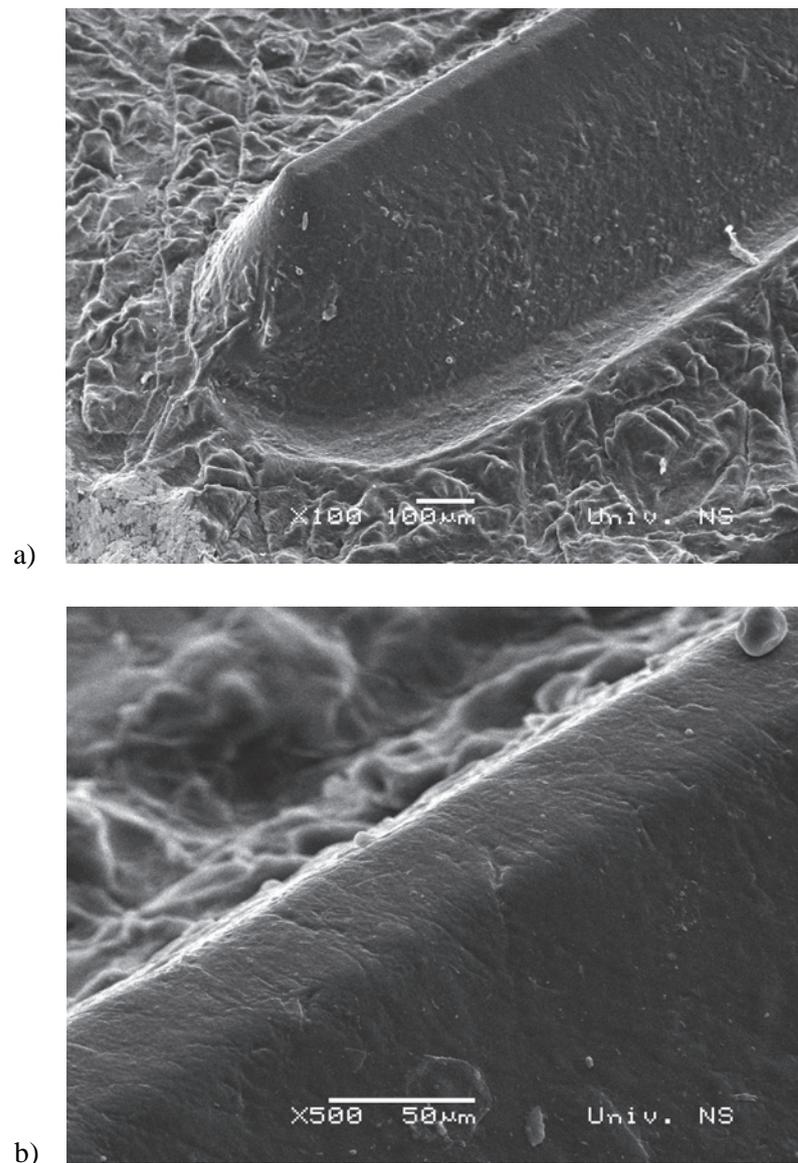
Slika 4.23: SEM mikroskopski snimak polja od 75% tonske vrednosti na štampaskoj formi A: a) polje od 75% tonske vrednosti, uvećanje 100x; b) pojedinačni rasterski element, uvećanje 500x

Mikroskopski snimci polja od 75% tonske vrednosti predstavljeni su na slici 4.23. Shodno povećanju tonske vrednosti, prečnik tačke raste te se tačke delimično spajaju po obodu. Potpuna polimerizacija je i ovde postignuta, dok je procesom razvijanja uklonjen neosvetljeni polimer između rasterskih tačaka. Kako je rasterska tačka, shodno tonskoj vrednosti, većeg prečnika, to je slobodan prostor između rasterskih elemenata smanjen. Potpuno uklanjanje polimera je od izuzetne važnosti jer bi u suprotnom izazvalo u procesu štampe povećanje tonske vrednosti, s obzirom da bi time neštampajući deo štamparske forme postao štampajući (polimerizacija bi se izvršila u fazi naknadnog osvetljavanja).



Slika 4.24: SEM mikroskopski snimak polja od 98% tonske vrednosti na štampaskoj formi A: a) polje od 98% tonske vrednosti, uvećanje 100x; b) pojedinačni rasterski element, uvećanje 500x

Mikroskopski snimci polja od 98% tonske vrednosti predstavljani su na slici 4.24. Shodno tonskoj vrednosti, rasterske tačke su gotovo u potpunosti spojene. Kod polja od 98% tonske vrednosti prostor između rasterskih tačaka je svakako relevantniji za ocenu reprodukcije. Potpuna polimerizacija je i ovde postignuta, dok je u procesu razvijanja između rasterskih elemenata uklonjen neosvetljeni polimer. Kako je rasterska tačka, shodno tonskoj vrednosti, većeg prečnika, te je slobodan prostor između rasterskih elemenata smanjen. Zato je uklanjanje polimera od izuzetne važnosti jer bi u suprotnom dovelo do toga da polje od 98% tonske vrednosti pređe u polje punog tona. Nečistoće koje su uočljive na mikroskopskim snimcima pretpostavlja se da su posledica čestica prašine.

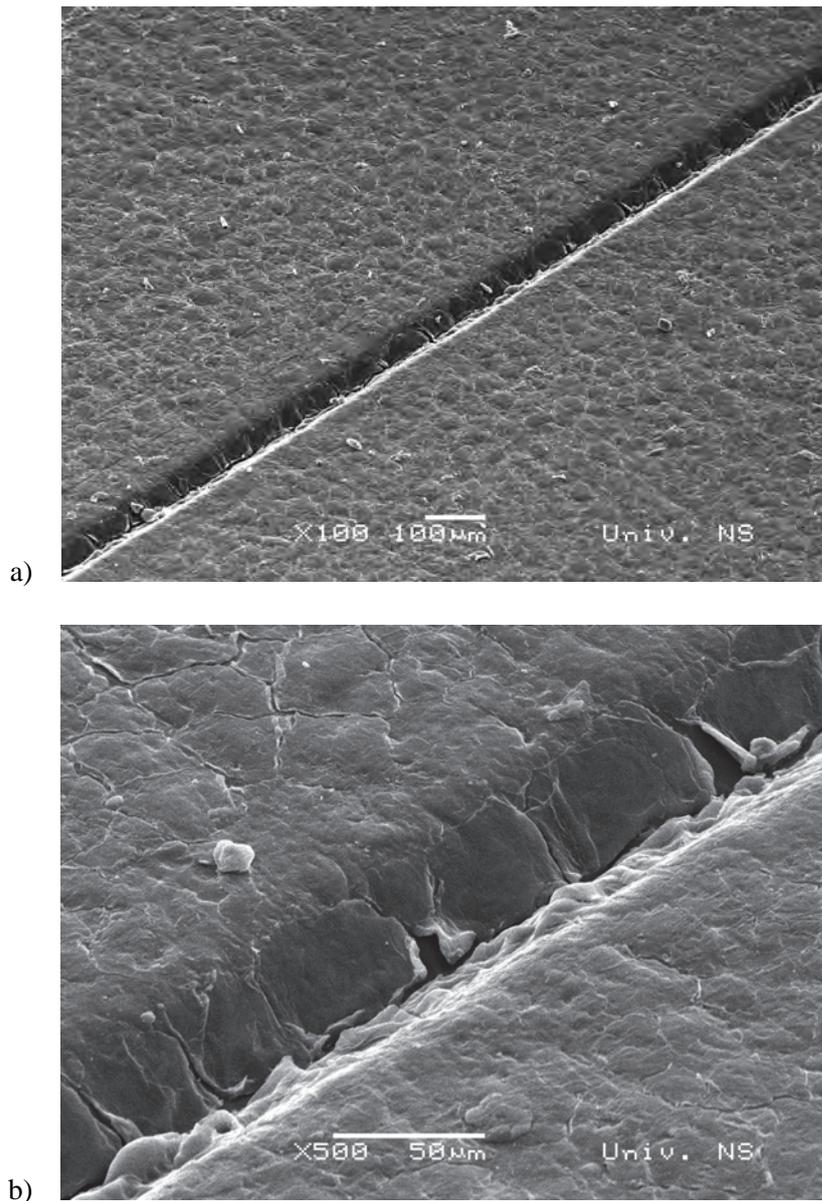


Slika 4.25: SEM mikroskopski snimak linijskog elementa širine 0.05 mm (pozitiv) na štampaskoj formi A: a) uvećanje 100x; b) uvećanje 500x

Rezultati istraživanja

U cilju analize reprodukcije linijskih elemenata, što se direktno reflektuje na reprodukciju tekstualnih elemenata, vršeno je SEM mikroskopsko snimanje linijskog elementa širine 0.05 mm, kako u pozitivu, tako i u negativu (slike 4.25. i 4.26.).

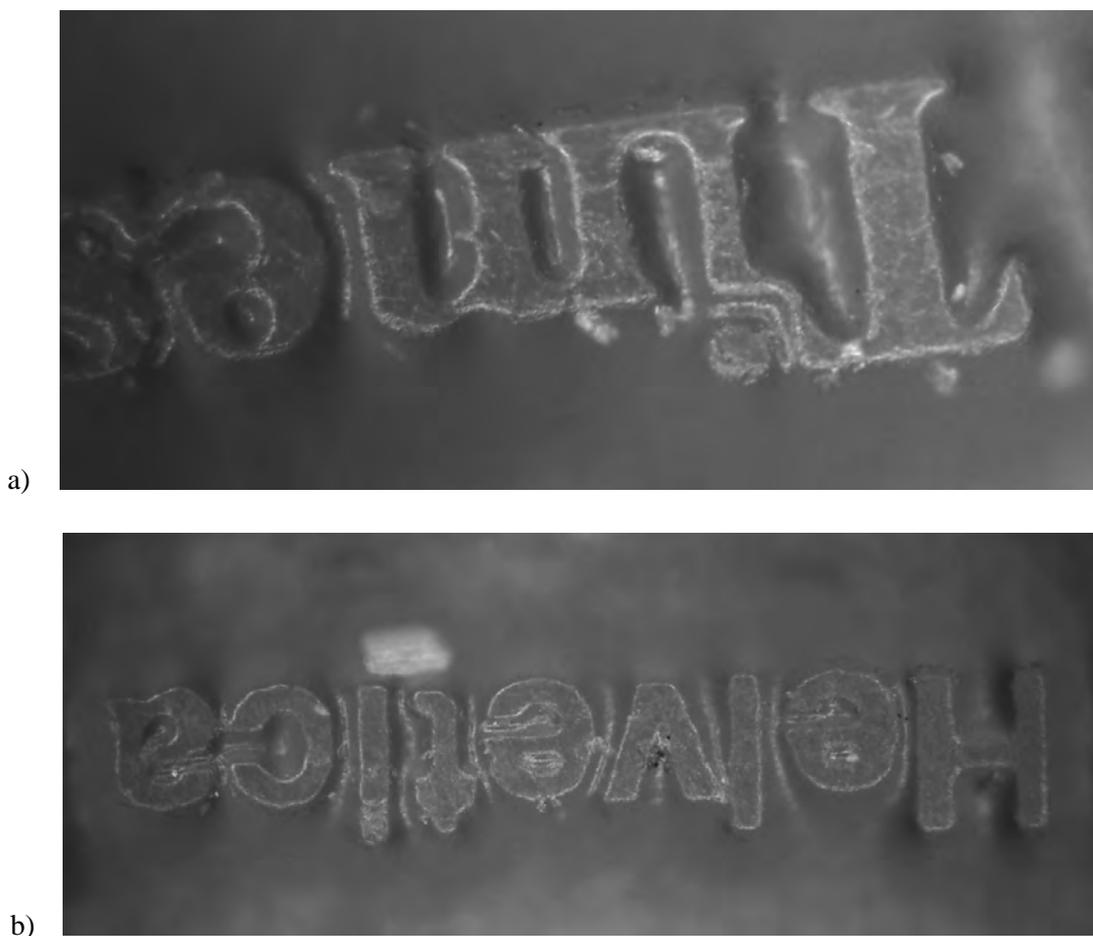
Na slici 4.25. prikazani su mikroskopski snimci linije u pozitivu širine 0.05 mm. Mikroskopski snimak jasno pokazuje da je linijski element jasno reprodukovano, ravnih ivca (slika 4.25b) i stabilno formiranog donjeg, nosećeg dela. Potpuna polimerizacija kao i uklanjanje neosvetljenog polimera karakteriše posmatranu površinu, odnosno budući štampajući element.



Slika 4.26: SEM mikroskopski snimak linijskog elementa širine 0.05 mm (negativ) na štampaskoj formi A: a) uvećanje 100x; b) uvećanje 500x

Na slici 4.26. predstavljeni su mikroskopski snimci linije širine 0.05 mm u negativu. Površina štamparske forme koja predstavlja budući štampajući element (područje oko udubljenja) je u potpunosti polimerizovana. Budući neštampajući element predstavlja usek odnosno linija predstavljena na mikroskopskom snimku gde se vidi da je neosvetljeni polimer uklonjen u postupku razvijanja. Jasno reprodukovane ivice linije u negativu ukazuju na buduću adekvatnu reprodukciju na otisku.

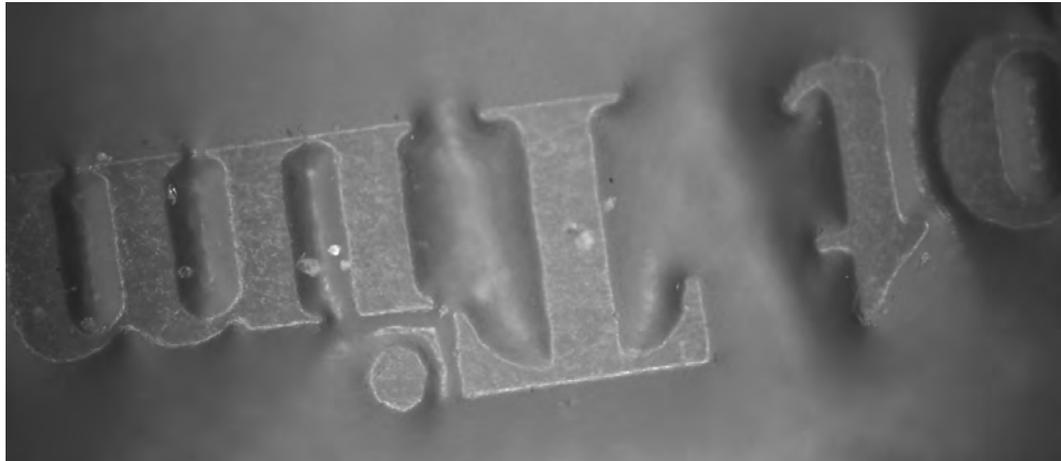
Reprodukcija tekstualnih elemenata karakterisna je na osnovu mikroskopskih snimaka dobijenih optičkim mikroskopom. Na slikama 4.27 – 4.32. predstavljeni su dati mikroskopski snimci reprodukovanih tekstualnih elemenata različite veličine (izraženo u tipografskim tačkama), kako u pozitivu tako i u negativu.



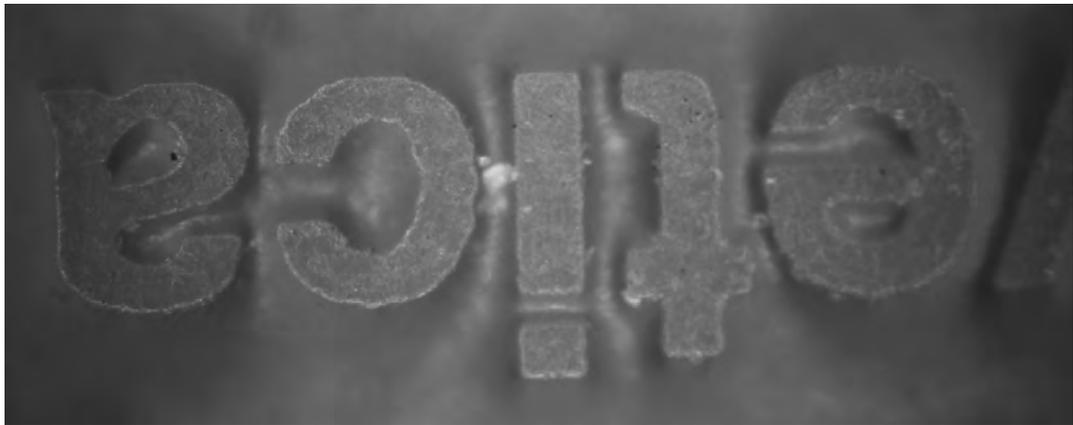
Slika 4.27: Mikroskopski snimak tekstualnog elementa (pozitiv) na štampaskoj formi A; uvećanje 100x: a) serifni font veličine 1 pt b) bezserifni font veličine 1 pt

Na slici 4.27. predstavljen je mikroskopski snimak tekstualnog elementa veličine 1 tipografske tačke za serifni i bezserifni font (pozitiv). Mikroskopski snimak ukazuje da je tekstualni element reprodukovao, ali sa određenim uočenim nepravilnostima. Oštrina reprodukcije slovnog znaka je narušena, naročito kod slovnih znakova „e“ i „t“. Takođe, telo slovnog znaka „l“ kod bezserifnog fonta nema pravilnu formu. Nadalje,

slovni znaci su spojeni na mestima gde to nije predviđeno – „T“ i „i“ kod serifnog fonta. Takođe, tačka na slovnom znaku „i“ reprodukovna je u formi nepravilnog kruga.



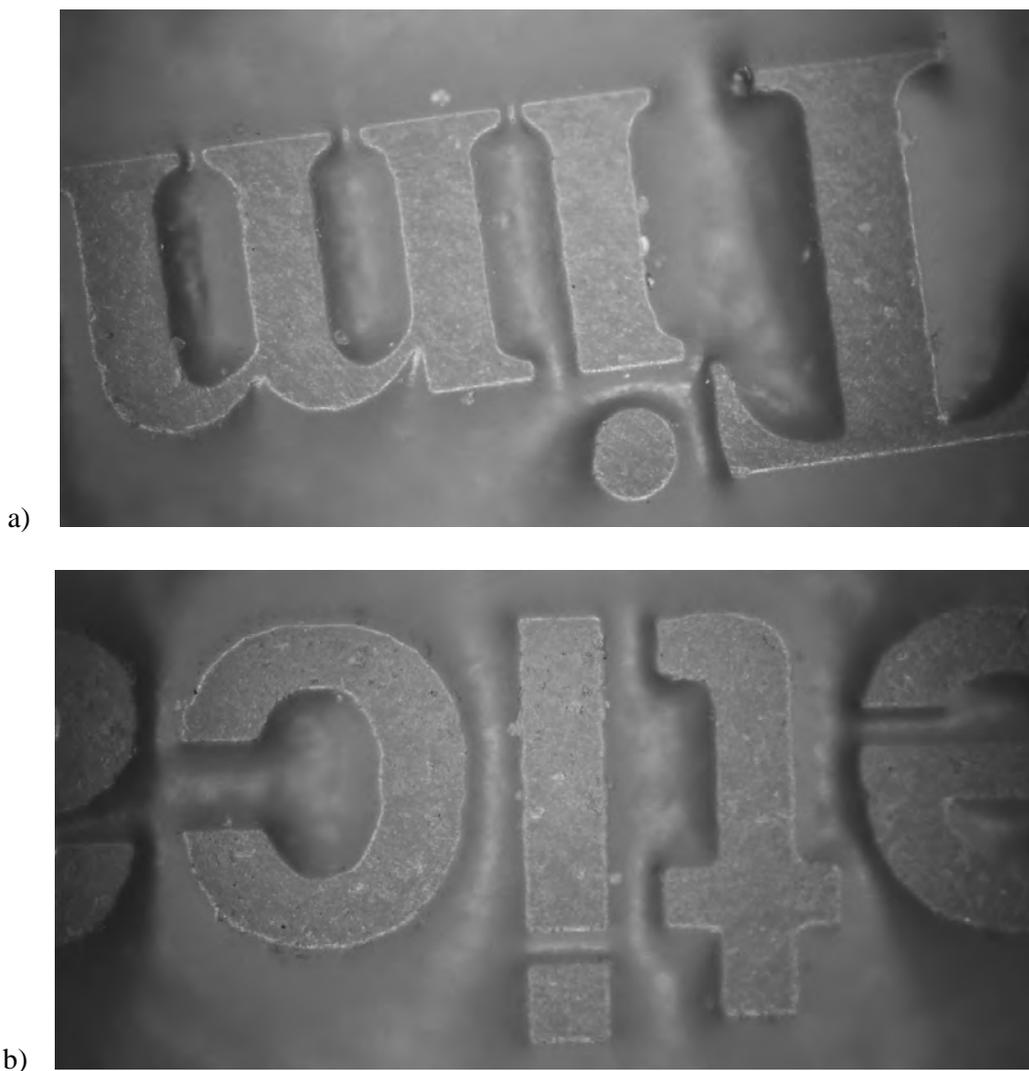
a)



b)

Slika 4.28: Mikroskopski snimak tekstualnog elementa (pozitiv) na štampaskoj formi A; uvećanje 100x: a) serifni font veličine 2 pt b) bezserifni font veličine 2 pt

Na slici 4.28. predstavljen je mikroskopski snimak tekstualnog elementa veličine 2 tipografske tačke za serifni i bezserifni font (pozitiv). Jasna reprodukcija svakog od slovnih znakova, sa pravilno oblikovanim, stabilnim telom tekstualnog znaka jasno je uočljiva sa mikroskopskog snimka. Slovni znaci su međusobno razdvojeni, sa jasnim, prilično oštro reprodukovanim ivicama.



Slika 4.29: Mikroskopski snimak tekstualnog elementa (pozitiv) na štampaskoj formi A; uvećanje 100x: a) serifni font veličine 3 pt b) bezserifni font veličine 3 pt

Mikroskopski snimak tekstualnog elementa veličine 3 tipografske tačke za serifni i bezserifni font (pozitiv) predstavljen je na slici 4.29. Kao i u slučaju slovnog znaka veličine 2 tipografske tačke, i ovde se uočava jasna i oštra reprodukcija svakog od slovnih znakova, sa pravilno formiranim i stabilnim telom tekstualnog elementa.



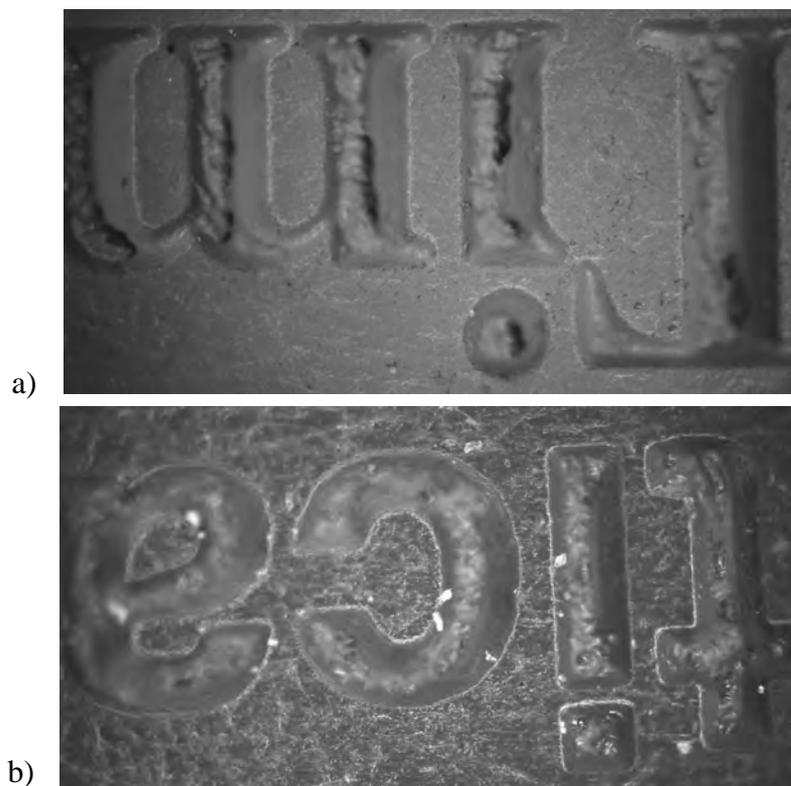
Slika 4.30: Mikroskopski snimak tekstualnog elementa (negativ) na štampaskoj formi A; uvećanje 100x: a) serifni font veličine 1 pt b) bezserifni font veličine 1 pt

Na slici 4.30. predstavljen je mikroskopski snimak tekstualnog elementa veličine 1 tipografske tačke za serifni i bezserifni font (negativ). Izgled mikroskopskog snimka može delovati zbunjujuće, s obzirom da na prvi pogled, tekstualni elementi se doimaju kao da su reprodukovani u pozitivu, a ne u negativu. Ovakav vizuelni utisak se stiče zbog podešenog fokusa optičkog mikroskopa te refleksije svetlosti sa zidova udubljenja. Mikroskopski snimak ukazuje da reprodukovane tekstualne elemente ne karakteriše jasna i oštra ivica, već naprotiv, blago deformisana, sa nejasnim završecima slovnog znaka pogotovo u slučaju serifnog fonta.

Na slici 4.31. dat je mikroskopski snimak tekstualnog elementa veličine 2 tipografske tačke reprodukovanog u negativu. Jasnoća reprodukcije, te oštrina ivice slovnog znaka sa pravilnim završecima je uočljiva. Tekstualni elementi ne pokazuju nepravilnosti u reprodukciji u pogledu forme i oblika.



Slika 4.31: Mikroskopski snimak tekstualnog elementa (negativ) na štampaskoj formi A; uvećanje 100x: a) serifni font veličine 2 pt b) bezserifni font veličine 2 pt

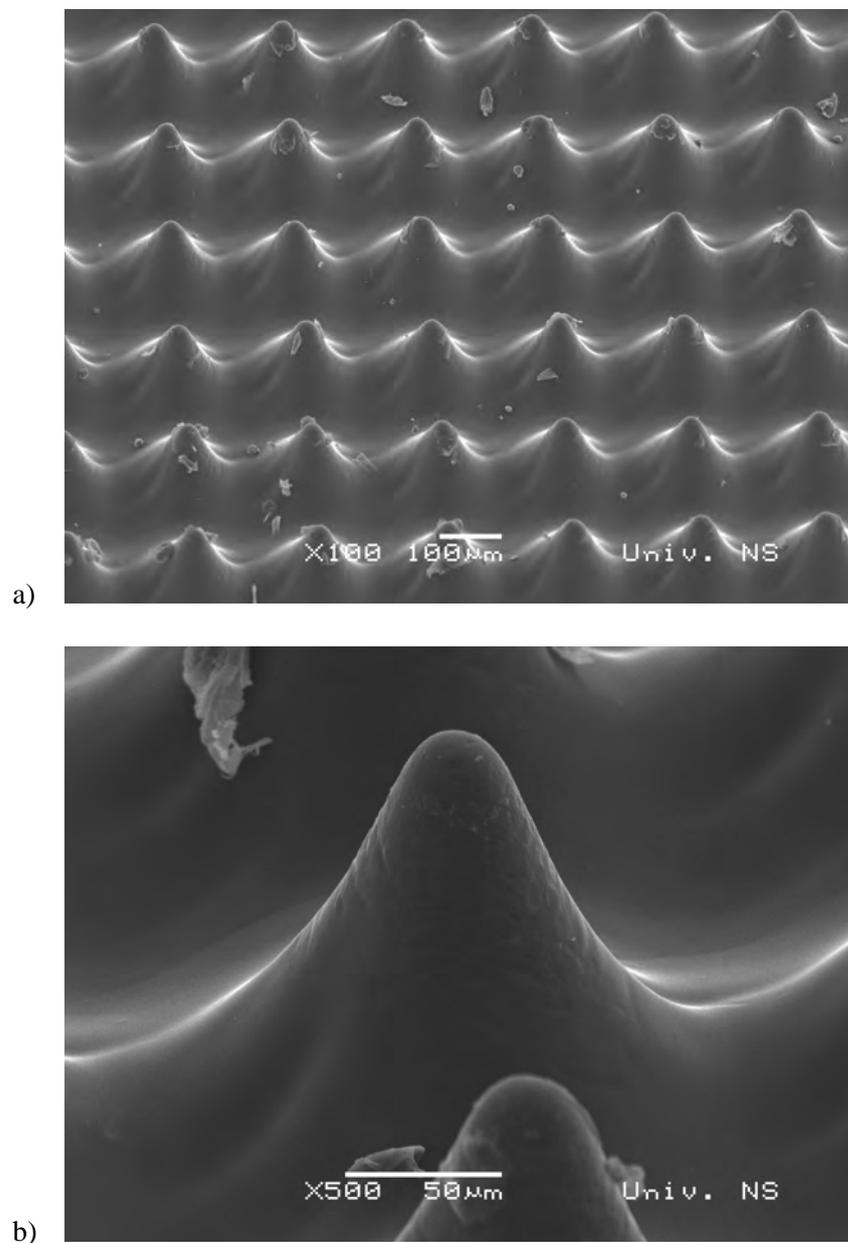


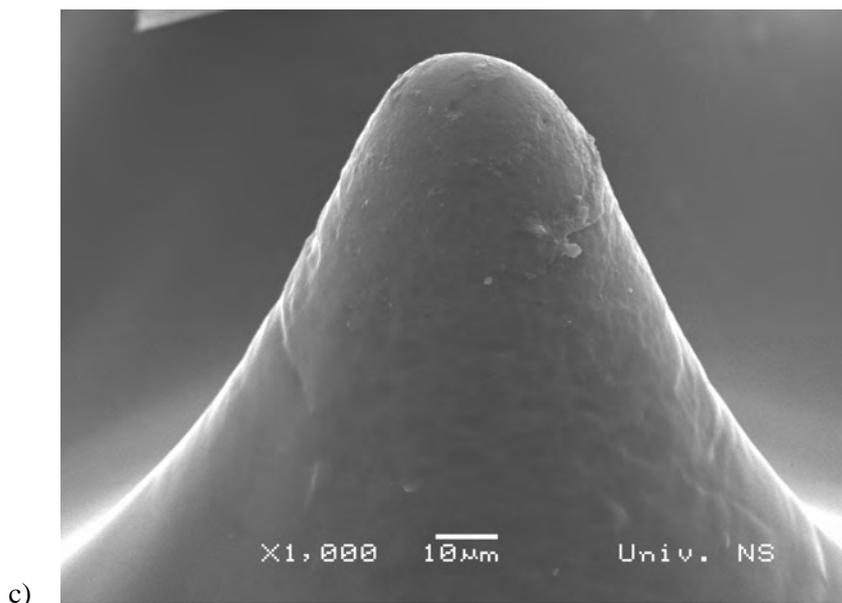
Slika 4.32: Mikroskopski snimak tekstualnog elementa (negativ) na štampaskoj formi A; uvećanje 100x: a) serifni font veličine 3 pt b) bezserifni font veličine 3 pt

Mikroskopski snimak tekstualnog elementa veličine 3 tipografske tačke reprodukovanog u negativu (slika 4.32.) ukazuje na jasnu, oštru reprodukciju ivica slovnog znaka pravilne forme i jasnih, adekvatno oblikovanih završetaka slovnog znaka.

4.4.2. Analiza mikroskopskih snimaka reprodukovanih elemenata na štamparskoj formi na sa kovencionalnim postupkom razvijanja (B)

Istraživanja su obuhvatila i ispitivanja mikroskopskih snimaka reprodukovanih karakterističnih elemenata na štamparskoj formi koja se razvija konvencionalnim postupkom, primenom odgovarajućeg organskog razvijanja (štamparska forma B). Na slici 4.33. predstavljeni su SEM mikroskopski snimci polja od 1% tonske vrednosti.

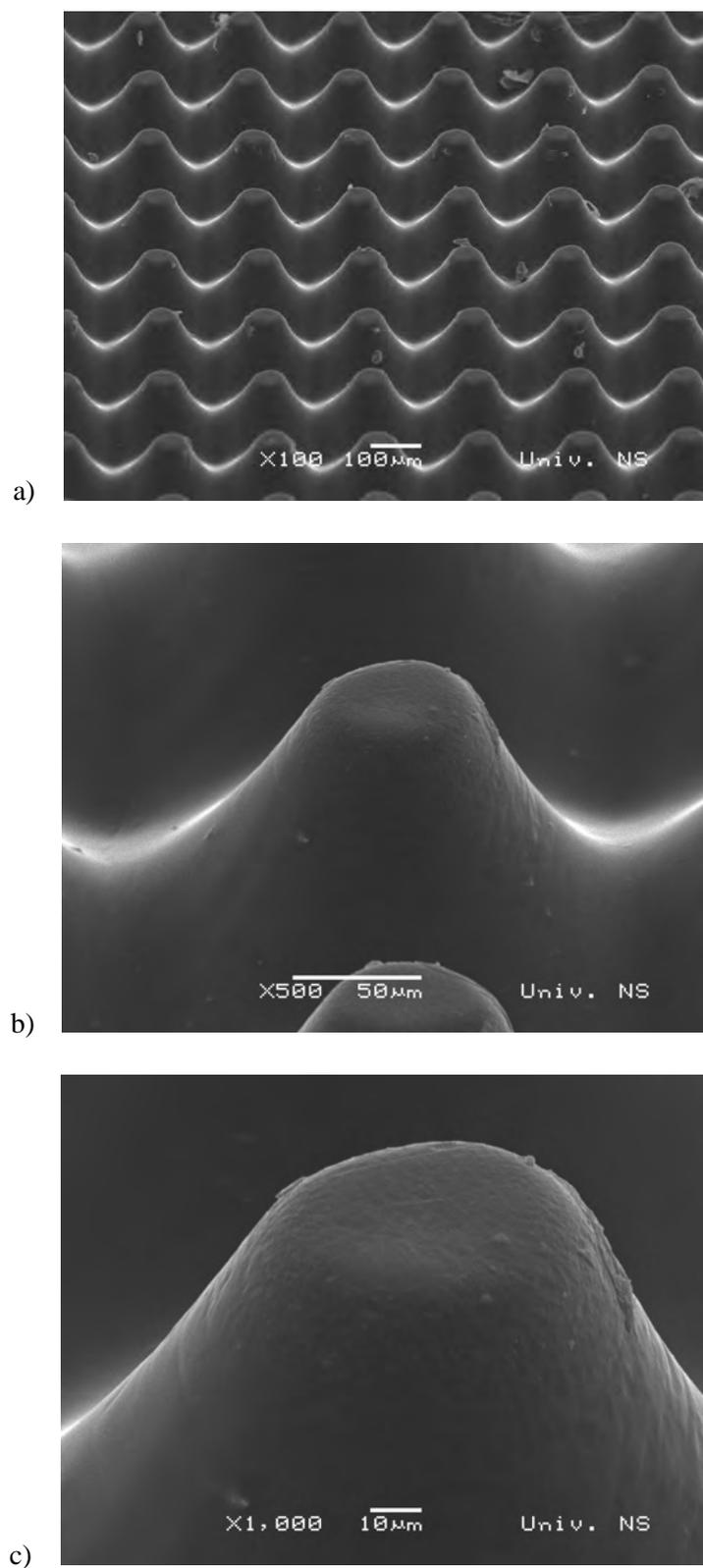




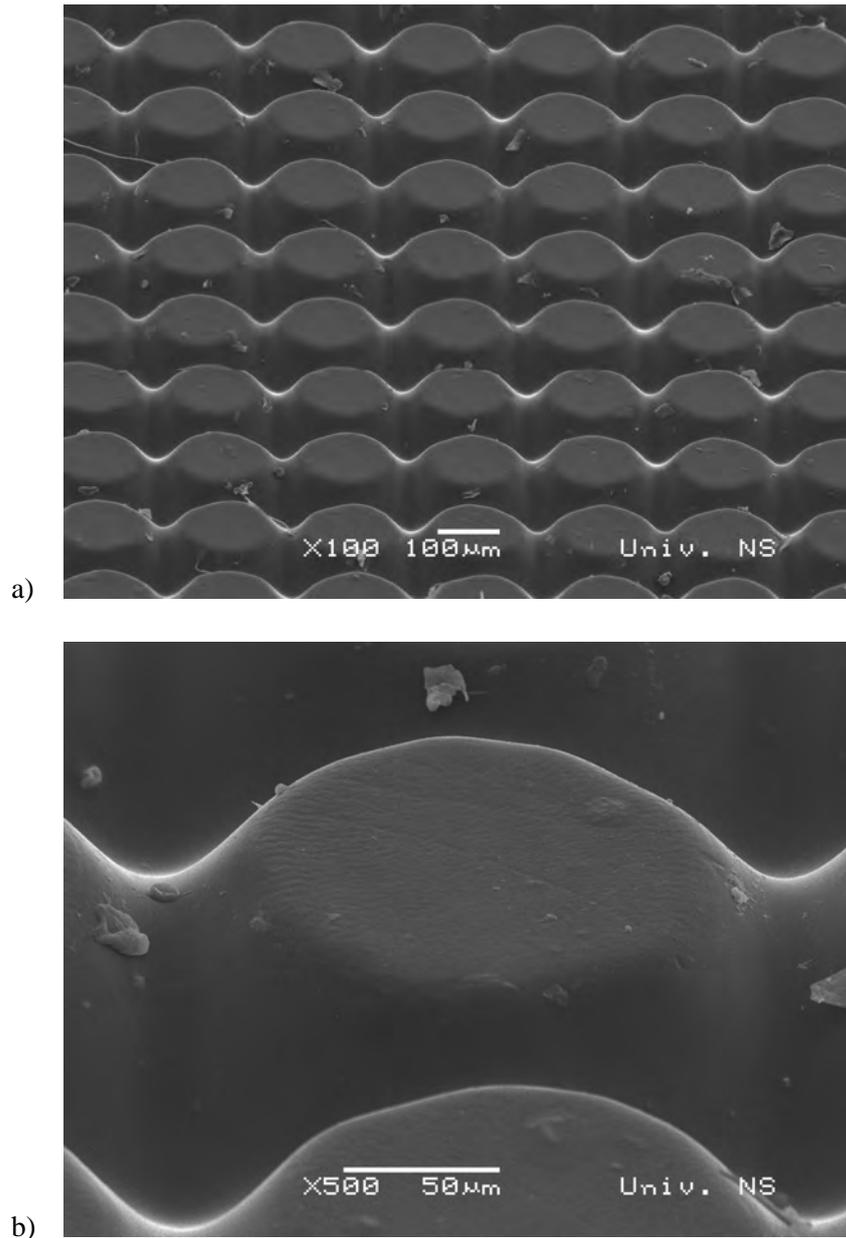
Slika 4.33: SEM mikroskopski snimak polja od 1% tonske vrednosti na štampaskoj formi B: a) polje od 1% tonske vrednosti, uvećanje 100x; b) pojedinačni rasterski element, uvećanje 500x; c) pojedinačni rasterski element, uvećanje 1000x

Mikroskopski snimci predstavljeni na slici 4.33. ukazuju da rasterske tačke imaju jasan, pravilan oblik kupe, te u potpunosti polimerizovanu površinu sa izuzetno pravilnim rasporedom rasterskih elemenata. U delu između rasterskih tačaka neosvetljeni polimer je uklonjen. Nečistoće koje se mogu uočiti na mikroskopskim snimcima su najverovatnije posledica ostataka čestica prašine.

Rasterske tačke na polju od 5% (slika 4.34.) su takođe pravilno formirane, sa telom tačke oblika kupe. Neosvetljeni polimer je u postupku razvijanja uklonjen sa površine štamparske forme. Prečnik tačke, jasno, raste sa porastom tonske vrednosti, što se i sa priloženih mikroskopskih snimka može i videti. Nečistoće koje se mogu uočiti na mikroskopskim snimcima pretpostavlja se da su posledica ostataka čestica prašine. Rasterska tačka nema idealno ravnu površinu niti idealno kružan oblik (slika 4.34 c)). Primećuje se blago udubljenje u središnjem delu gornje površine tačke.

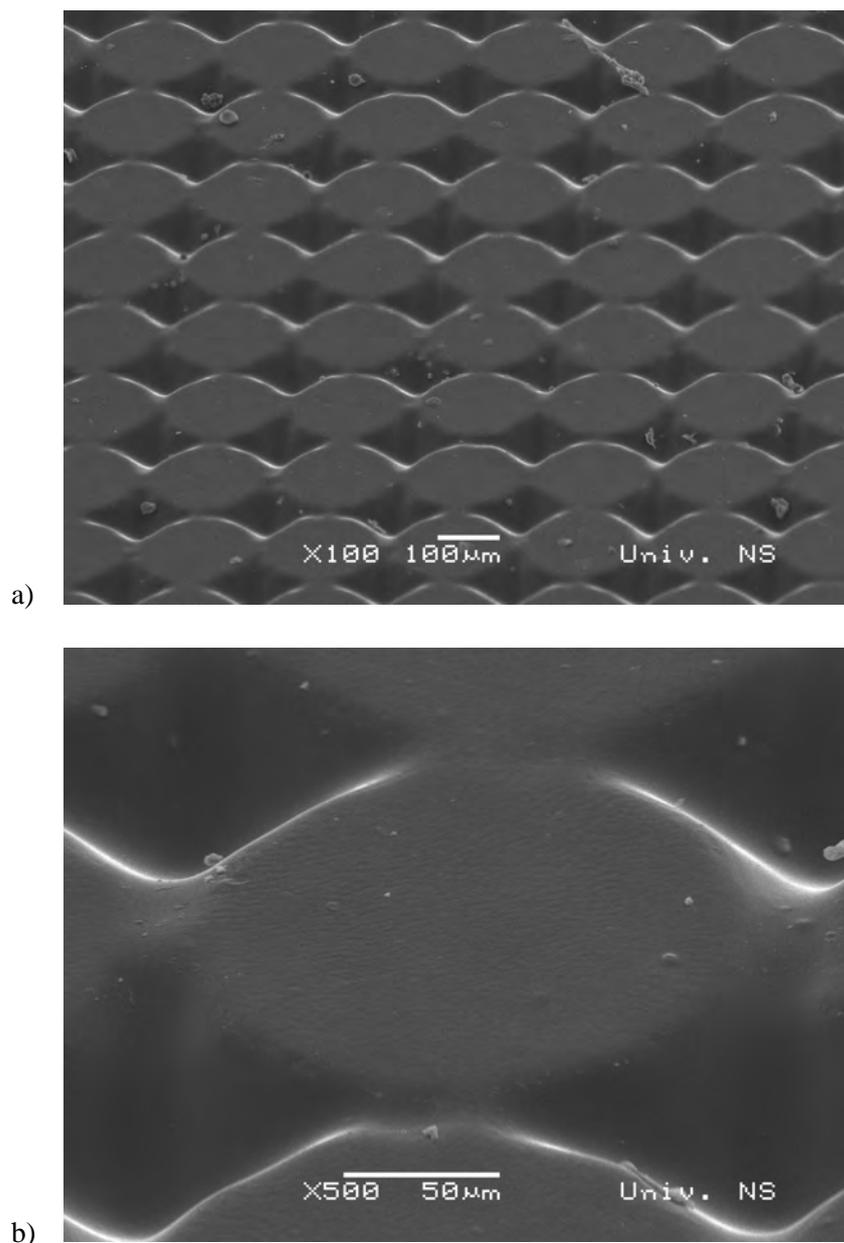


Slika 4.34: SEM mikroskopski snimak polja od 5% tonske vrednosti na štampaskoj formi B: a) polje od 5% tonske vrednosti, uvećanje 100x; b) pojedinačni rasterski element, uvećanje 500x; c) pojedinačni rasterski element, uvećanje 1000x



Slika 4.35: SEM mikroskopski snimak polja od 50% tonske vrednosti na štampaskoj formi B: a) polje od 50% tonske vrednosti, uvećanje 100x; b) pojedinačni rasterski element, uvećanje 500x

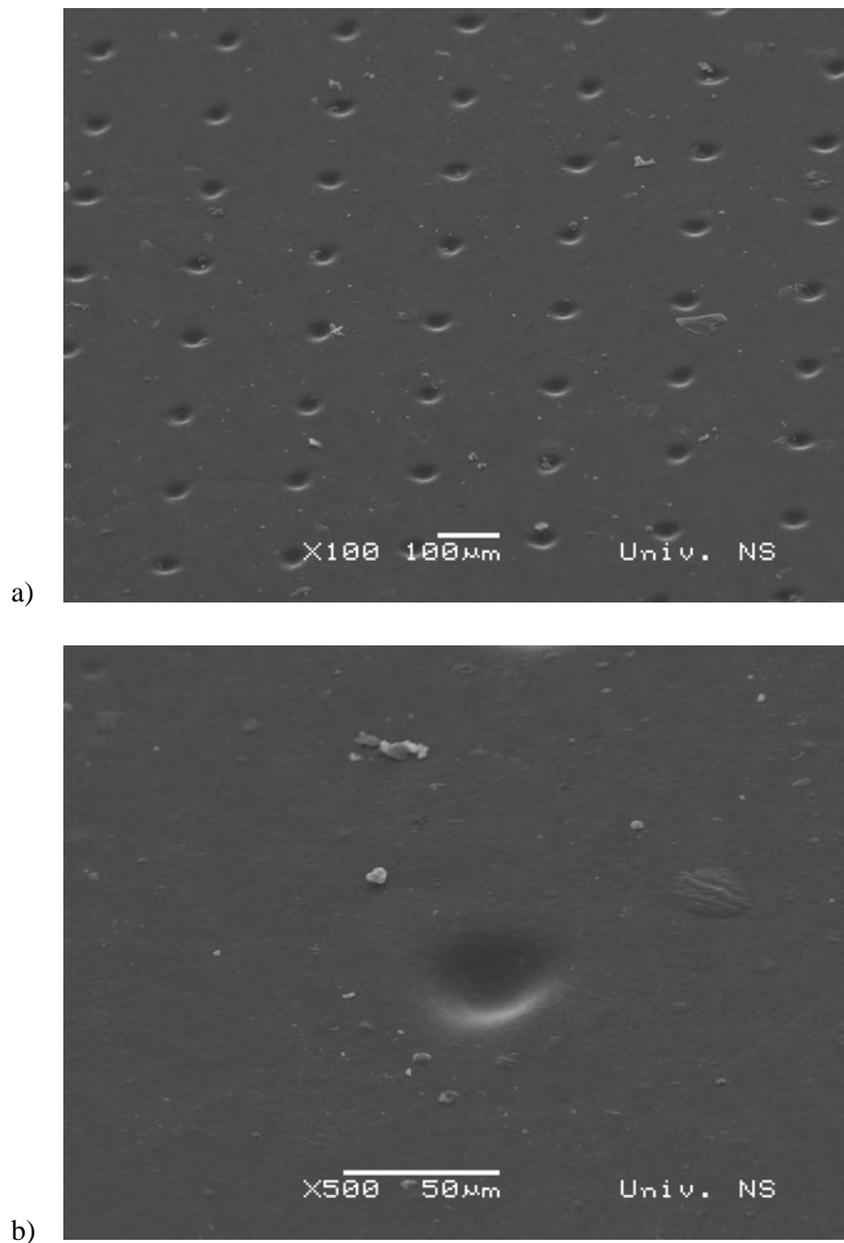
Prikazani mikroskopski snimci polja od 50% tonske vrednosti (slika 4.35.) ukazuju da je površina štamparske forme u potpunosti polimerizovana te da je neosvetljeni fotopolimer u procesu razvijanja uklonjen. Na snimcima su uočljive čestice koje ne predstavljaju neuklonjeni fotopolimer, već su najverovatnije čestice prašine. Rasterska tačka je, shodno tonskoj vrednosti, većeg prečnika, te je slobodan prostor između rasterskih elemenata smanjen. Kako je reč o polju od 50% tonske vrednosti, to se tačke spajaju u donjem delu, dok su u gornjem delu tačke i dalje razdvojene. Površina tačke ima približnu formu kružnog oblika (slika 4.35b).



Slika 4.36: SEM mikroskopski snimak polja od 75% tonske vrednosti na štampaskoj formi B : a) polje od 75% tonske vrednosti, uvećanje 100x; b) pojedinačni rasterski element, uvećanje 500x

Mikroskopski snimci polja od 75% tonske vrednosti predstavljeni su na slici 4.36. Shodno povećanju tonske vrednosti, prečnik tačke raste te se tačke delimično spajaju po obodu. Potpuna polimerizacija je i ovde postignuta, dok je u procesu razvijanja u potpunosti uklonjen neosvetljeni polimer. Kako je rasterska tačka, shodno tonskoj vrednosti, većeg prečnika, te je slobodan prostor između rasterskih elemenata smanjen, potpuno uklanjanje polimera je od izuzetne važnosti jer bi u suprotnom dovelo do

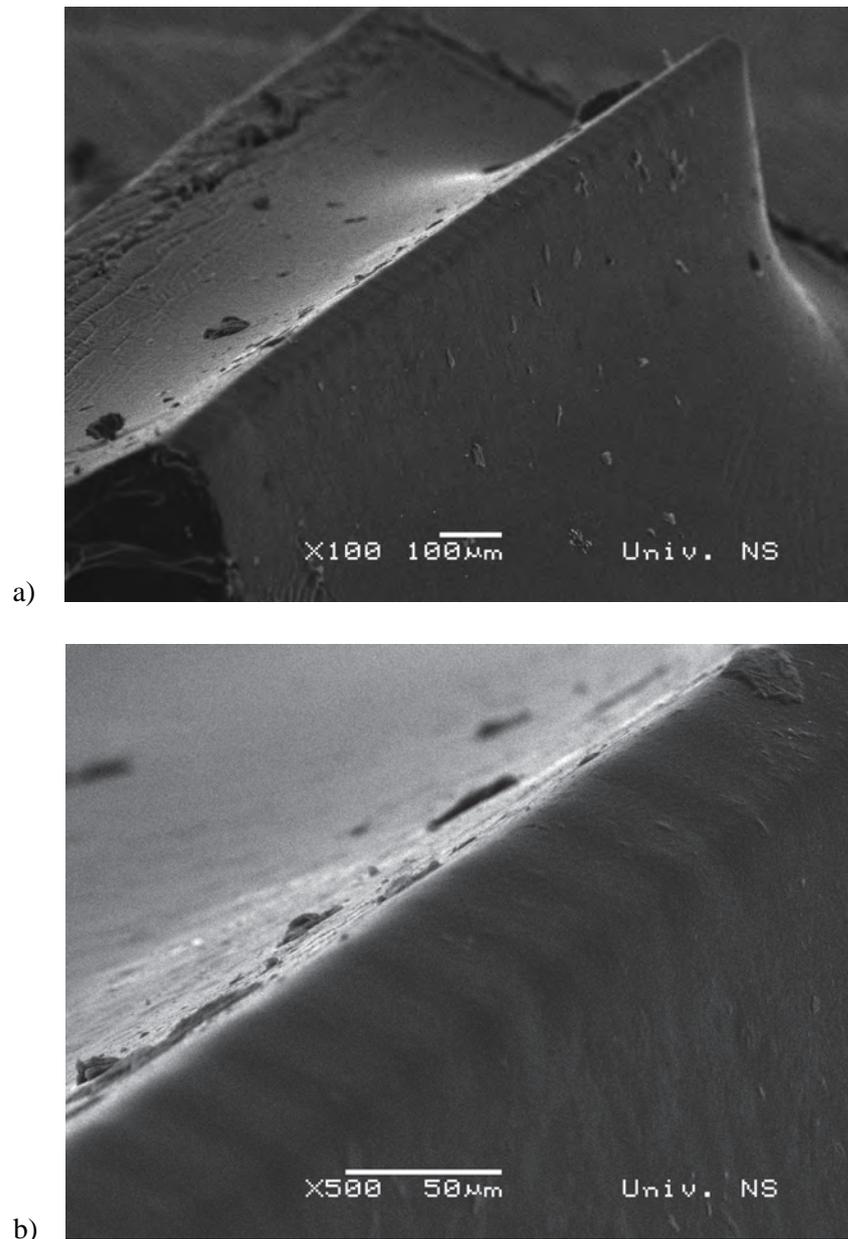
povećanja tonske vrednosti, s obzirom da bi time neštampajući deo štamparske forme postao štampajući (polimerizacija bi se izvršila u fazi naknadnog osvetljavanja).



Slika 4.37: SEM mikroskopski snimak polja od 98% tonske vrednosti na štamparskoj formi B: a) polje od 98% tonske vrednosti, uvećanje 100x; b) pojedinačni rasterski element, uvećanje 500x

Shodno tonskoj vrednosti od 98%, rasterske tačke su gotovo u potpunosti spojene u celinu (slika 4.38). Kod polja od 98% tonske vrednosti prostor između rasterskih tačaka je svakako relevantniji za ocenu reprodukcije. Potpuna polimerizacija je postignuta, dok je procesom razvijanja uklonjen neosvetljeni polimer između rasterskih elemenata. Kako je rasterska tačka većeg prečnika, to je slobodan prostor između rasterskih

elemenata smanjen. Stoga je potpuno uklanjanje polimera od izuzetne važnosti kako polje od 98% tonske vrednosti ne bi prešlo u polje punog tona. Nečistoće koje su uočljive na mikroskopskim snimcima pretpostavlja se da su posledica čestica prašine. Pored polja tonskih vrednosti, u cilju analize reprodukcije linijskih elemenata, posledično i tekstualnih elemata, izvršeno je SEM mikroskopsko snimanje linijskog elementa širine 0.05 mm, kako u pozitivu, tako i u negativu (slike 4.37. i 4.38.).

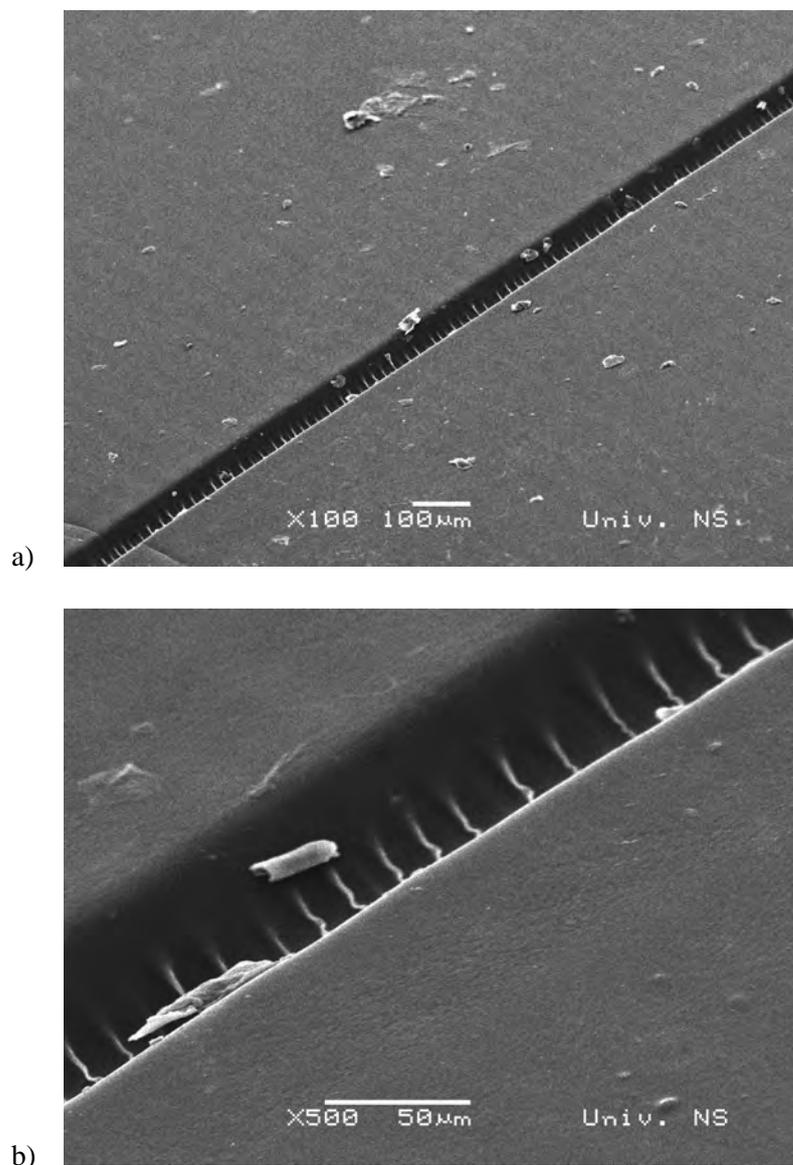


Slika 4.37: SEM mikroskopski snimak linijskog elementa širine 0.05 mm (pozitiv) na štampaskoj formi B: a) uvećanje 100x; b) uvećanje 500x

Na slici 4.37. prikazani su mikroskopski snimci linije u pozitivu širine 0.05 mm. Mikroskopski snimak ukazuje na linijski element jasno reprodukovanih ivca i stabilno

formiranog donjeg, nosećeg dela. Potpuna polimerizacija kao i uklanjanje neosvetljenog polimera karakteriše posmatranu površinu, odnosno budući štampajući element.

Na slici 4.38. predstavljeni su mikroskopski snimci linije širine 0.05 mm ali u negativu. Površina štamparske forme koja predstavlja budući štampajući element (područje oko udubljenja) je u potpunosti polimerizovana. Budući neštampajući element predstavlja usek odnosno linija predstavljena na mikroskopskom snimku gde se vidi da je neosvetljeni polimer uklonjen u postupku razvijanja. Jasno reprodukovane ivice linije u negativu ukazuju na buduću adekvatnu reprodukciju na otisku. Nečistoće uočene na snimcima posledica su zaostalih čestica prašine.



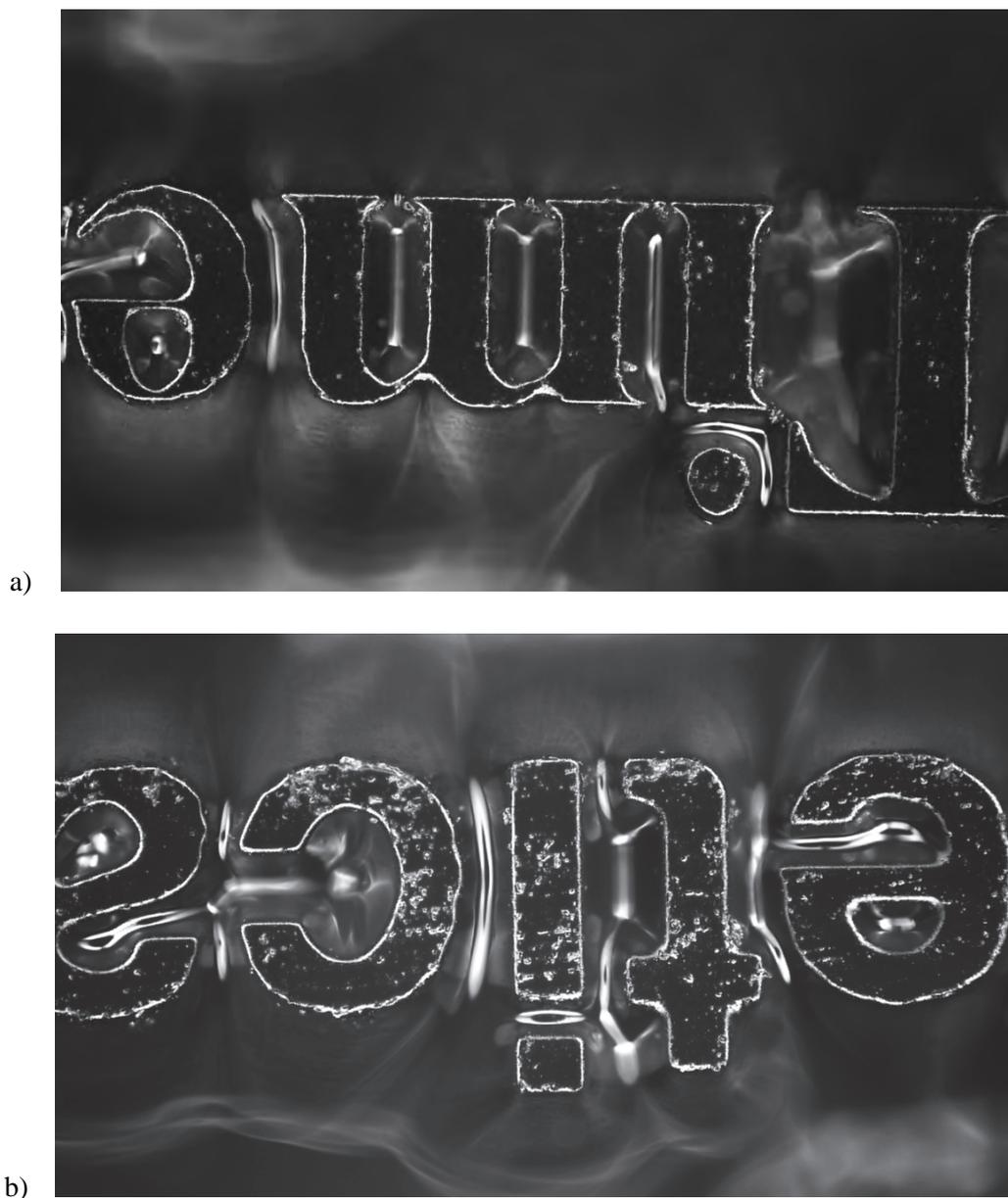
Slika 4.38: SEM mikroskopski snimak linijskog elementa širine 0.05 mm (negativ) na štampaskoj formi B: a) uvećanje 100x; b) uvećanje 500x

Reprodukcija tekstualnih elemenata karakterisna je preko analize mikroskopskih snimaka dobijenih primenom optičkog mikroskopa. Na slikama 4.39 - 4.44. predstavljeni su reprodukovani tekstualni elementi u pozitivu različite veličine (izraženo u tipografskim tačkama).



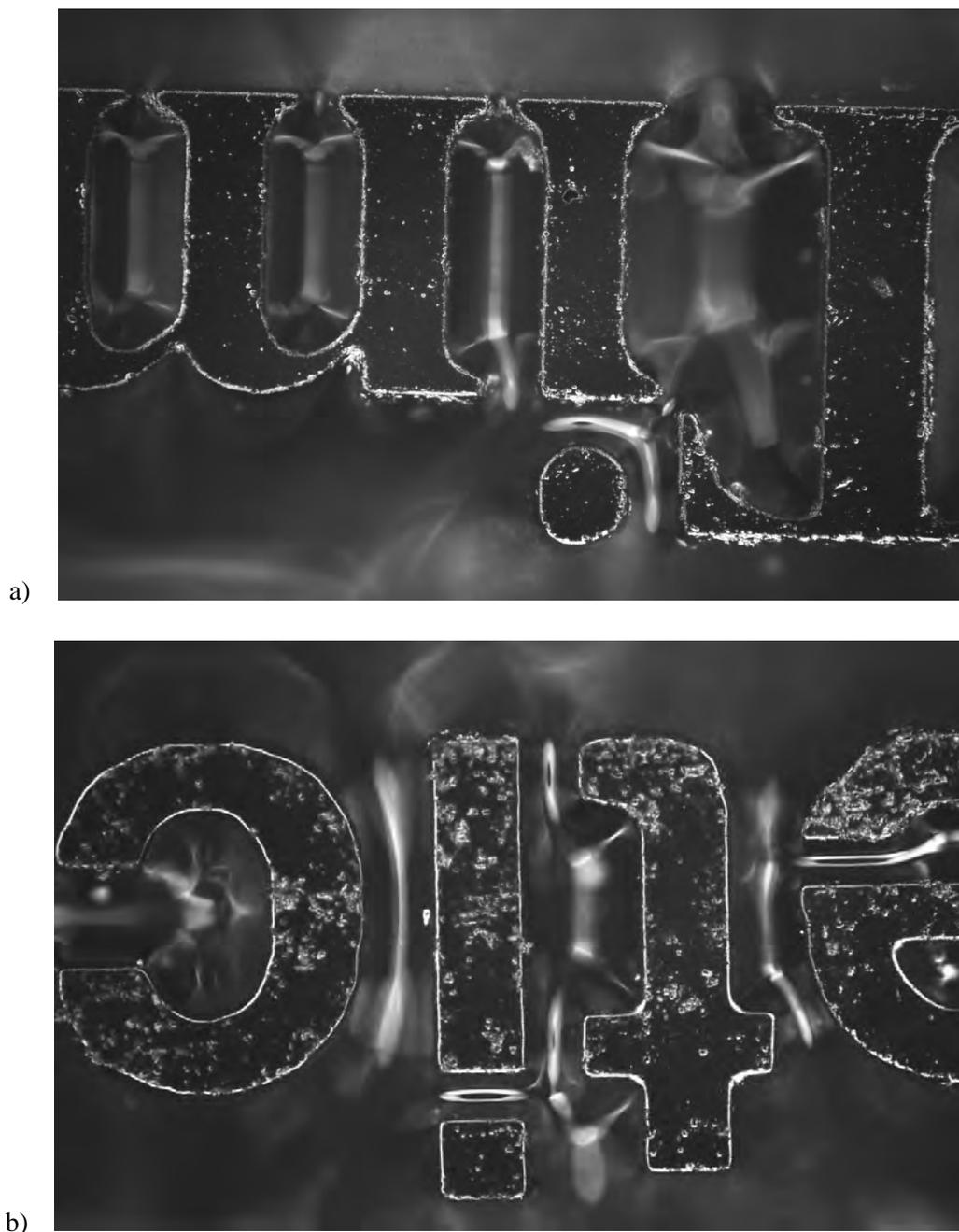
Slika 4.39: Mikroskopski snimak tekstualnog elementa (pozitiv) na štampaskoj formi B; uvećanje 100x: a) serifni font veličine 1 pt b) bezserifni font veličine 1 pt

Na osnovu mikroskopskih snimaka serifnog i bezserifnog fonta veličine 1 tipografske tačke predstavljenih na slici 4.39, uočavaju se određene nepravilnosti u reprodukciji tekstualnih elemenata. Ivice slovnih znakova nisu jasne i oštre, dok se određeni slovni znaci spajaju jednim delom svoga tela – „i“ i „m“, te „e“ i „s“ u slučaju serifnog fonta. Nepravilan oblik slovnog znaka „e“ uočljiv je i kod serifnog i bezserifnog fonta.



Slika 4.40: Mikroskopski snimak tekstualnog elementa (pozitiv) na štampaskoj formi B; uvećanje 100x: a) serifni font veličine 2 pt b) bezserifni font veličine 2 pt

U slučaju reprodukcije slovnog znaka u pozitivu veličine 2 tipografske tačke (slika 4.40), značajnih nepravilnosti u reprodukciji nema. Slovni znaci su razdvojeni, sa pravilnim oblikom tela. Ivice slovnih znakova na određenim mestima su neznatno krzave (slovnii znakovi „c“, „e“ i „a“).



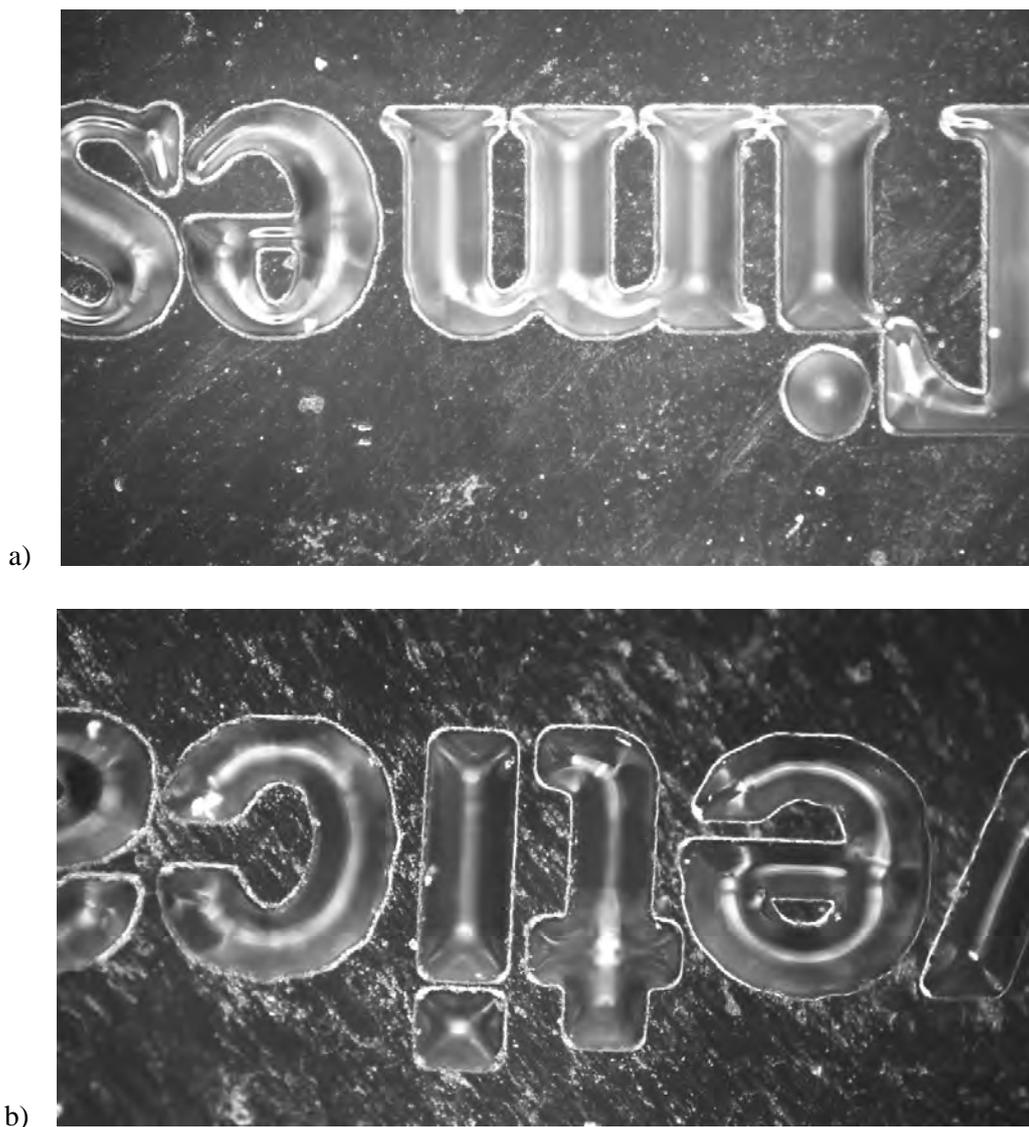
Slika 4.41: Mikroskopski snimak tekstualnog elementa (pozitiv) na štampaskoj formi B; uvećanje 100x: a) serifni font veličine 3 pt b) bezserifni font veličine 3 pt

U slučaju reprodukcije slovnog znaka u pozitivu veličine 3 tipografske tačke (slika 4.41), ne uočavaju se nepravilnosti u reprodukciji - slovni znaci su jasno razdvojeni, sa pravilnim oblikom tela slovnog znaka i ostrim jasnim ivicama.



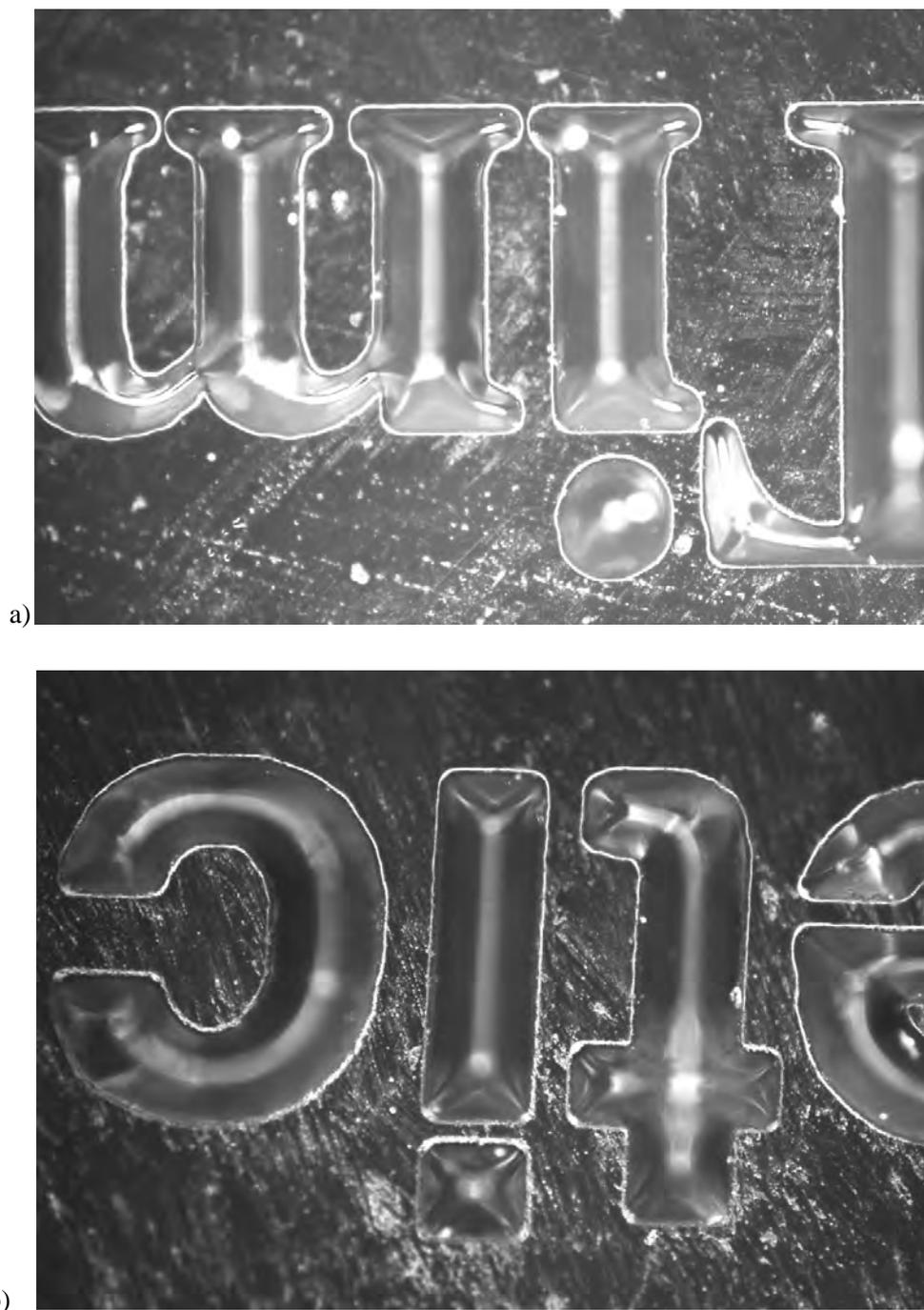
Slika 4.42: Mikroskopski snimak tekstualnog elementa (negativ) na štampaskoj formi B; uvećanje 100x: a) serifni font veličine 1 pt b) bezserifni font veličine 1 pt

Na slici 4.42. predstavljen je mikroskopski snimak tekstualnog elementa veličine 1 tipografske tačke za serifni i bezserifni font u negativu. Mikroskopski snimak ukazuje da reprodukovane tekstualne elemente ne karakteriše jasna i oštra ivica, već naprotiv, blago deformisana, sa nejasnim završecima slovnog znaka pogotovo u slučaju serifnog fonta. Takođe, uočljivo je da se slovni znaci na određenim mestima spajaju, što predstavlja negativnu stranu reprodukcije.



Slika 4.43: Mikroskopski snimak tekstualnog elementa (negativ) na štampaskoj formi B; uvećanje 100x: a) serifni font veličine 2 pt b) bezserifni font veličine 2 pt

Na slici 4.43. dat je mikroskopski snimak tekstualnog elementa veličine 2 tipografske tačke reprodukovanog u negativu. Jasnoća reprodukcije, te oštrina ivice slovnog znaka sa pravilnim završecima ovde je uočljiva kod tekstualnih znakova koji nemaju zakrivljenu formu, dok slovni znaci „a“, „e“ i „c“ imaju blago reckavu ivicu. Uočljivo je takođe da razdojenost svakog slovnog znaka nije u potpunosti postignuta („T“, „i“ i „m“ u slučaju serifnog fonta).



Slika 4.44: Mikroskopski snimak tekstualnog elementa (negativ) na štampaskoj formi B; uvećanje 100x: a) serifni font veličine 3 pt b) bezserifni font veličine 3 pt

Na slici 4.44. dat je mikroskopski snimak tekstualnog elementa veličine 3 tipografske tačke reprodukovanog u negativu. Jasnoća reprodukcije, te oštrina ivice slovnog znaka sa pravilno reprodukovanom formom je uočljiva kod svih slovnih znakova i u slučaju serifnog i bezserivnog fonta. Uočljivo je takođe da je razdvojenost svakog slovnog znaka u potpunosti postignuta.

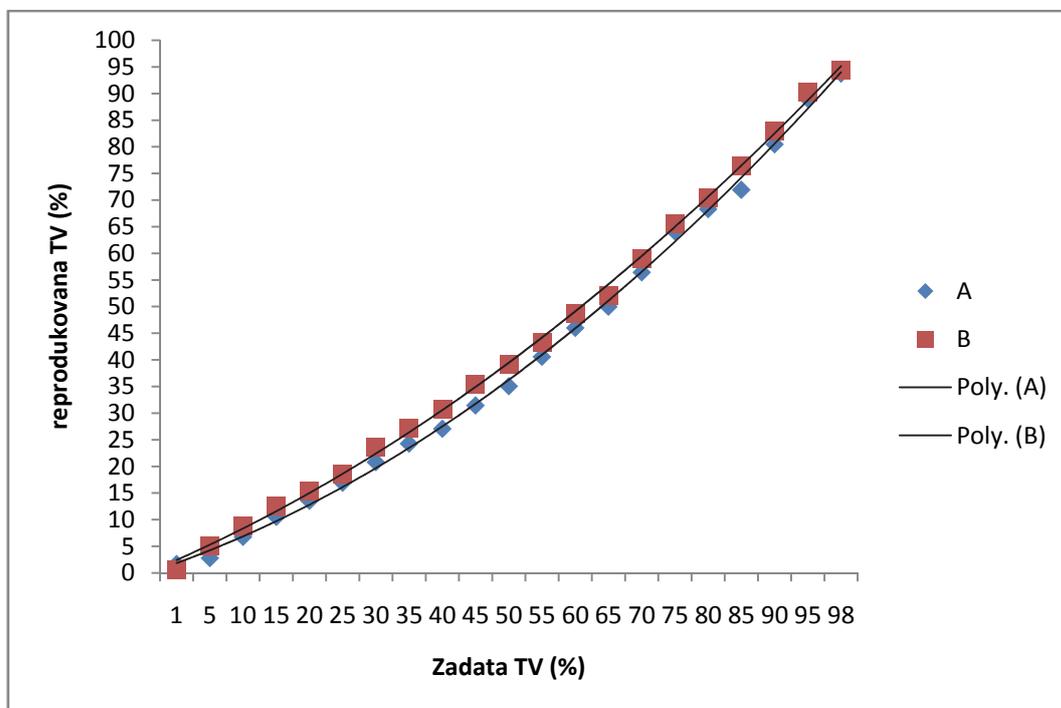
4.4.3. Analiza reprodukovanih elemenata na štamparskim formama A i B – analiza opto – elektronskim uređajem

Mikroskopski snimci posmatranih štampajućih elemenata na štamparskim formama A i B dobijeni skenirajućim elektronskim mikroskopom i optičkim mikroskopom omogućili su adekvatnu morfološku karakterizaciju posmatranih površina. Data kvalitativna analiza mora biti upotpunjena kvantitativnom analizom, odnosno utvrđivanjem veličine reprodukovanih elemenata, u smislu utvrđivanja reprodukovane TV (tonske vrednosti %), te veličine odnosno širine linijskih elemenata, kako u pozitivu tako i u negativu i površine pojedinačnog kružnog elementa.

U tabeli 4.20. predstavljene su srednje vrednosti za odgovarajuće reprodukovane TV na štamparskim formama. Izračunate srednje vrednosti merenja predstavljene su grafički na slici 4.45.

Tabela 4.20: Reprokovane tonske vrednosti na štamparskoj formi A i štamparskoj formi B

TV%											
	1	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
forma A	1.64	2.77	6.77	10.05	13.53	16.92	20.79	24.27	27.05	31.43	35.06
forma B	0.63	5.14	8.78	12.61	14.40	18.62	23.66	27.18	30.65	35.48	39.11
TV%											
	55	60	65	70	75	80	85	90	95	98	
forma A	40.58	45.99	49.98	56.43	64.14	68.29	71.91	80.46	89.03	93.74	
forma B	43.20	48.76	52.09	58.95	65.57	70.45	76.47	83.03	90.29	94.50	

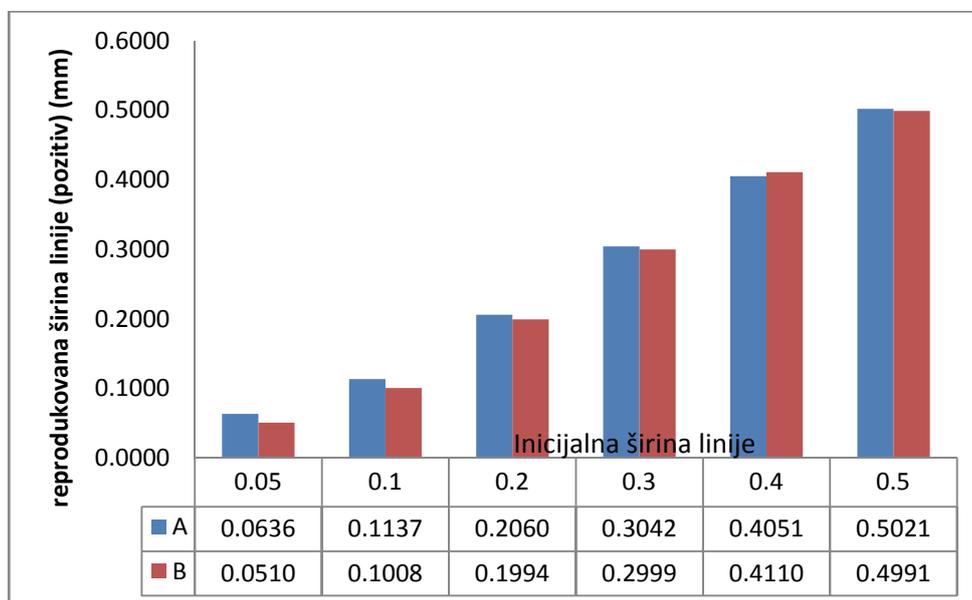


Slika 4.45: Grafički prikaz reprodukcije tonskih vrednosti na štamparskoj formi A i B

Prema grafiku predstavljenom na slici 4.45, TV kod obe štamparske forme prate polinomnu funkciju. Za svako tonsko polje, reprodukovana tonska vrednost na štamparskoj formi je niža u odnosu na traženu vrednost. Najveći stepen redukcije TV je u oblasti srednjih tonova. Primetno je da su TV na štamparskoj formi B nešto veće od reprodukovanih tonskih vrednosti na štamparskoj formi A, za svako posmatrano tonsko polje, izuzevši polje od 1% (tabela 4.20). Najveća razlika je na polju od 80%, gde je reprodukovana tonska vrednost za 7.84% veća na štamparskoj formi B.

Na osnovu mikroskopskih snimaka reprodukovanih linijskih elemenata u softveru PerfectEye izvršeno je merenje širine reprodukovanih linijskih elemenata u pozitivu i negativu, za obe štamparske forme.

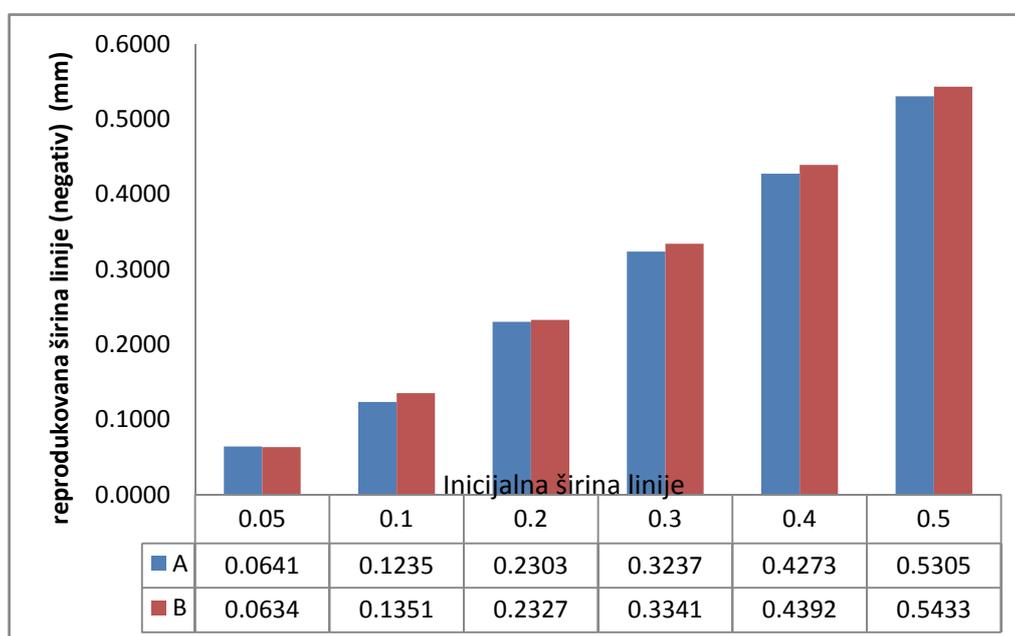
Na graficima na slikama 4.46. i 4.47. predstavljene su dobijene srednje vrednosti širine analiziranih linija u pozitivu i negativu, za štamparsku formu A i B.



Slika 4.46: Grafički prikaz srednjih vrednosti širina linija u pozitivu širine 0.05 mm, 0.1 – 0.5 mm (sa korakom od 0.1 mm) za štamparsku formu A i B

Na osnovu vrednosti prikazanih na histogramu na slici 4.46, može se videti da su sve linije reprodukovane sa gotovo idealnom reprodukcijom u slučaju štamparske forme B. Kod štamparske forme A, reprodukovane vrednosti nešto su veće od zadatih u slučaju svih linija. Kako širina reprodukovane linije raste, to je veća tačnost reprodukcije. Procentualno, razlika između tražene i reprodukovane vrednosti širine linije iznosi 21.07%, 12%, 2.91%, 1.38%, 1.26% i 0.41%, za linije od 0.05 mm, 0.1 mm, 0.2 mm, 0.3 mm, 0.4 mm i 0.5 mm, respektivno. U slučaju štamparske forme B, srednje vrednosti reprodukovanih linija su manje od traženih u slučaju linija širine 0.2 mm, 0.3 mm i 0.5 mm. Kod linija od 0.05 mm, 0.1 mm i 0.4 mm, rezultati su pokazali reprodukciju šire linije. Razlika između tražene i reprodukovane vrednosti širine linije

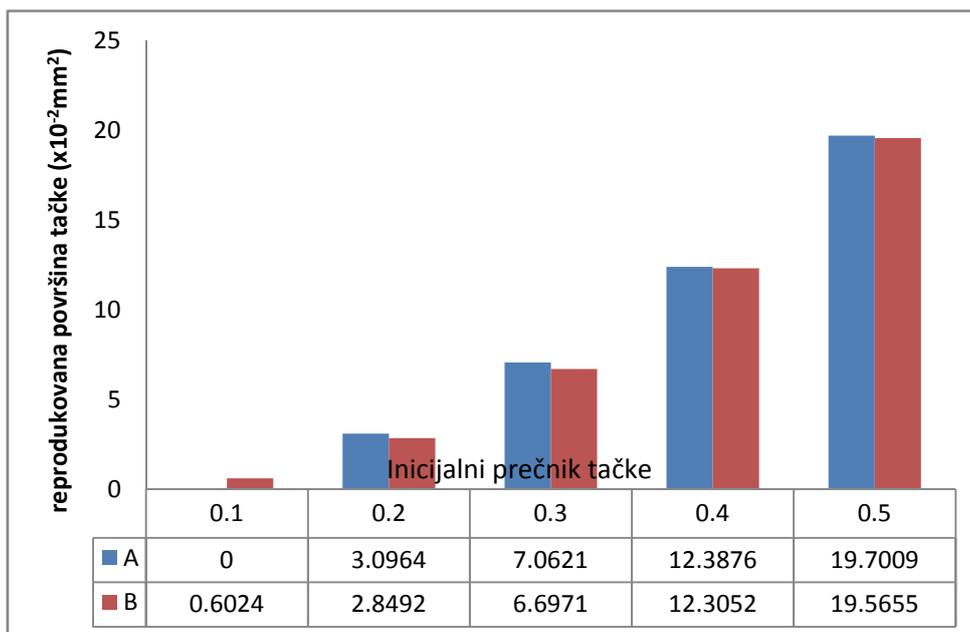
procentualno iznosi 1.96% (0.05 mm), 0.79% (0.1 mm), 0.3 % (0.2 mm), 0.03% (0.3 mm), 2.68 % (0.4 mm) i 0.18% (0.5 mm).



Slika 4.47: Grafički prikaz srednjih vrednosti linija u negativu širine 0.05mm, 0.1 – 0.5 mm, (sa korakom od 0.1 mm) za štamparsku formu A i B

Histogram predstavljen na slici 4.47. ukazuje na reprodukciju linija u negativu. Kod obe štamparske forme primetno je da su sve reprodukovane linije nešto šire od traženih, a data razlika ne prelazi 0.04 mm u slučaju štamparske forme B, odnosno 0.03 mm u slučaju štamparske forme A. Procentualno razlika između tražene i reprodukovane vrednosti širine linije u slučaju štamparske forme A iznosi 23% (0.05 mm), 19% (0.1 mm), 13.16 % (0.2 mm), 7.32% (0.3 mm), 6.39 % (0.4 mm) i 5.75% (0.5 mm), a u slučaju štamparske forme B 21,13% (0.05%), 25.98% (0.1 mm), 14.05 % (0.2 mm), 10.21% (0.3 mm), 8.92 % (0.4 mm) i 7.97% (0.5 mm). Sa porastom širine linije raste i tačnost u reprodukciji iste na štamparskoj formi.

Na osnovu mikroskopskih snimaka reprodukovanih pojedinačnih kružnih elemenata (tačaka) u pozitivu, primenom funkcije softvera PerfectEye izvršeno je merenje njihove površine. Na grafiku na slici 4.48. predstavljene su dobijene srednje vrednosti površine analiziranih tačaka u pozitivu, za štamparsku formu A i B.



Slika 4.48: Grafički prikaz srednjih vrednosti površine tačaka u pozitivu inicijalnog prečnika 0.1 – 0.5 mm (sa korakom od 0.1) za štamparsku formu A i B

Prema vrednostima predstavljenim na histogramu na slici 4.48. u slučaju štamparske forme A nije bilo moguće reprodukovati tačku prečnika 0.1 mm. Nezavisno od inicijalno definisanog prečnika tačke, u slučaju štamparske forme B, reprodukovane tačke imaju manju površinu. U idealnom slučaju (reprodukcija 1:1) površina tački bi iznosila redom: 0.00785 mm^2 , 0.0314 mm^2 , 0.07065 mm^2 , 0.1256 mm^2 , 0.19625 mm^2 . Stoga redukcija u površini kružnog štampajućeg elementa u slučaju štamparske forme A iznosi: 1.39 % (inicijalni prečnik 0.2 mm), 0.04% (inicijalni prečnik 0.3 mm), 1.37% (inicijalni prečnik 0.4 mm), a u slučaju štamparske forme B: 23.26 % (inicijalni prečnik 0.1 mm), 9.26 % (inicijalni prečnik 0.2 mm), 5.21 % (inicijalni prečnik 0.3 mm), 1.37 % (inicijalni prečnik 0.4 mm), 0.3% (inicijalni prečnik 0.5 mm). U slučaju štamparske forme A i tačke inicijalnog prečnika 0.5 mm, reprodukovana je tačka veće površine (za 0.37%).

4.5. Rezultati merenja površinskih karakteristika

Karakterizacija strukture površine predstavlja važnu kariku u okviru sveobuhvatne analize i karakterizacije određenog materijala s obzirom da je upravo pomenuta karakterizacija najčešće jedan od osnovnih parametara koji definiše njegova kasnija upotrebna svojstva. Pa tako i kada je reč o flekso štamparskim formama, analiza strukture površine daće relevantne podatke na osnovu kojih se može predvideti ponašanje iste u toku eksploatacije, odnosno tokom procesa štampe. Karakterizacija topografije površine kroz različite amplitudne parametre hrapavosti, kao mere vertikalnih karakteristika odstupanja površine, pružiće uvid u površinsku strukturu ispitivanih flekso štamparskih formi.

S obzirom da literarni podaci ukazuju da postoji više od trideset različitih amplitudnih parametara hrapavosti (Mahović, 2007), koji od datih parametara će se analizirati, zavisi od oblasti primene i koje se funkcionalno svojstvo posmatranog materijala želi opisati. Odabrani parametri treba da su takvi da daju potrebnu karakterizaciju i da sinergijski pružaju celovitu sliku površinske hrapavosti. Podaci iz literature ukazuju da su kao najčešći amplitudni parametri hrapavosti koji se koriste za karakterizaciju strukture površine parametri R_a (srednje aritmetičko odstupanje profila), R_q (ili R_{ms} , srednje geometrijsko odstupanje profila), R_z (srednja visina neravnina), R_p (najveća visina vrha profila) i R_v (najveća dubina udubljenja profila) (Mahović, 2007, Risović et al., 2009, Pavlović et al., 2010, Dedijer et al., 2010).

Shodno primenjenim mernim metodama i s ciljem sveobuhvatne analize strukture površine štampajuće površine fleksa štamparskih formi (polje punog tona) odabrani su sledeći amplitudni parametri hrapavosti za analizu: R_a , R_q , R_z , R_p i R_v .

4.5.1. Rezultati merenja površinskih karakteristika punog tona fleksa štamparske forme u zavisnosti od različitih procesnih parametara izrade

S obzirom da je istraživanjem bio obuhvaćen set štamparskih formi koje se razvijaju termalnim postupkom (varijacije u vremenu glavnog osvetljavanja i broju obrtaja pri termalnom razvijanju), prvobitno je izvršena analiza pomenutih parametara hrapavosti kako bi se utvrdilo postojanje promena u površinskoj hrapavosti usled različitih uslova izrade kao i pravca merenja.

U tabelama 4.21. i 4.22. date su srednje vrednosti amplitudnih parametara hrapavosti, dok su grafički prikazi istih dati su na slikama 4.49 – 4.63. Oznake 8-I, 10-I, 12-I i 14-I odnose se na štamparske forme kod kojih je prilikom razvijanja primenjeno 8 obrtaja cilindra (I), dok su vremena glavnog osvetljavanja iznosila 8, 10, 12 i 14 minuta dok se oznake 8-II, 10-II, 12-II i 14-II odnose na štamparske forme kod kojih je prilikom razvijanja primenjeno 10 obrtaja cilindra (II) a vremena glavnog osvetljavanja iznosila su 8, 10, 12 i 14 minuta.

Tabela 4.21: Srednje vrednosti amplitudnih parametara hrapavosti u slučaju različitog vremena glavnog osvetljavanja i razvijanja primenom 8 obrtaja cilindra

		R_a (μm)	R_q (μm)	R_z (μm)	R_p (μm)	R_v (μm)
8-I	Uzdužni pravac (srednje vrednosti)	0.40	0.50	2.17	1.06	1.12
	Standardna devijacija	0.05	0.06	0.31	0.17	0.18
	Poprečni pravac (srednje vrednosti)	0.42	0.52	2.25	1.16	1.09
	Standardna devijacija	0.07	0.09	0.48	0.36	0.17
	Srednja vrednost	0.41	0.51	2.21	1.11	1.11
	Standardna devijacija	0.06	0.08	0.40	0.28	0.17
10-I	Uzdužni pravac (srednje vrednosti)	0.47	0.57	2.47	1.22	1.25
	Standardna devijacija	0.03	0.04	0.23	0.15	0.15
	Poprečni pravac (srednje vrednosti)	0.52	0.64	2.81	1.45	1.37
	Standardna devijacija	0.05	0.06	0.25	0.21	0.18

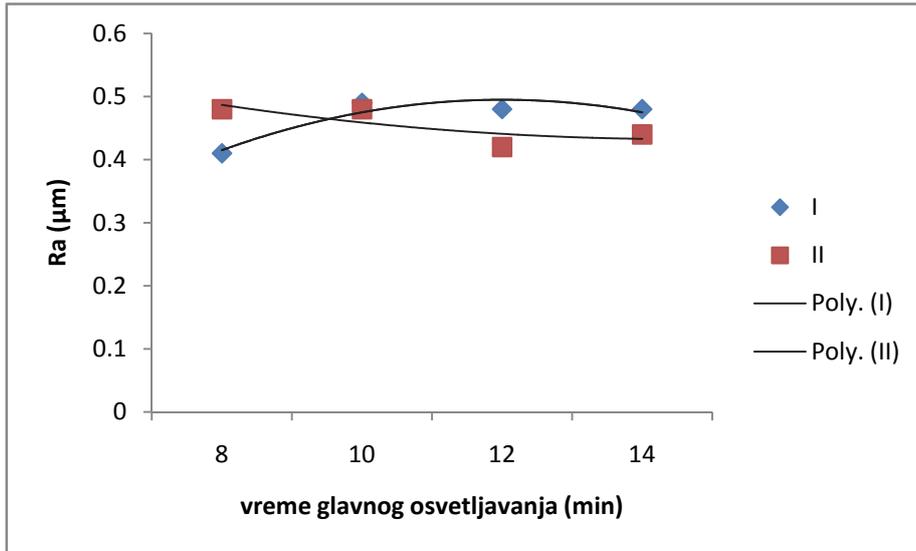
Rezultati istraživanja

Tabela 4.21 nastavak

10-I	Srednja vrednost	0.49	0.61	2.64	1.33	1.31
	Standardna devijacija	0.05	0.06	0.29	0.22	0.17
12-I	Uzdužni pravac (srednje vrednosti)	0.46	0.57	2.42	1.18	1.24
	Standardna devijacija	0.04	0.05	0.24	0.12	0.17
	Poprečni pravac (srednje vrednosti)	0.5	0.61	2.54	1.32	1.22
	Standardna devijacija	0.06	0.07	0.38	0.24	0.23
	Srednja vrednost	0.48	0.59	2.48	1.25	1.23
14-I	Standardna devijacija	0.05	0.06	0.32	0.20	0.20
	Uzdužni pravac (srednje vrednosti)	0.46	0.57	2.37	1.16	1.21
	Standardna devijacija	0.07	0.08	0.39	0.26	0.18
	Poprečni pravac (srednje vrednosti)	0.49	0.6	2.47	1.23	1.24
	Standardna devijacija	0.06	0.08	0.36	0.23	0.16
	Srednja vrednost	0.48	0.58	2.42	1.19	1.23
	Standardna devijacija	0.07	0.08	0.37	0.24	0.17

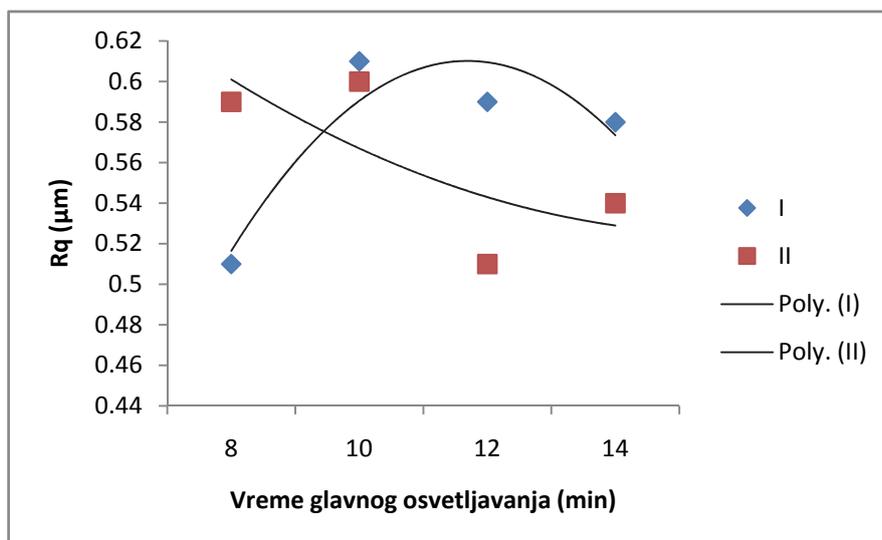
Tabela 4.22: Srednje vrednosti amplitudnih parametara hrapavosti u slučaju različitog vremena glavnog osvetljavanja i razvijanja primenom 10 obrtaja cilindra

		R_a (μm)	R_q (μm)	R_z (μm)	R_p (μm)	R_v (μm)
8-II	Uzdužni pravac (srednje vrednosti)	0.47	0.58	2.5	1.25	1.25
	Standardna devijacija	0.04	0.05	0.31	0.18	0.14
	Poprečni pravac (srednje vrednosti)	0.48	0.59	2.52	1.37	1.27
	Standardna devijacija	0.04	0.06	0.33	0.53	0.17
	Srednja vrednost	0.48	0.59	2.51	1.31	1.26
	Standardna devijacija	0.04	0.06	0.32	0.40	0.16
10-II	Uzdužni pravac (srednje vrednosti)	0.48	0.59	2.56	1.31	1.25
	Standardna devijacija	0.07	0.1	0.5	0.29	0.24
	Poprečni pravac (srednje vrednosti)	0.49	0.61	2.62	1.44	1.19
	Standardna devijacija	0.05	0.07	0.4	0.34	0.14
	Srednja vrednost	0.48	0.60	2.59	1.37	1.22
12-II	Standardna devijacija	0.06	0.08	0.45	0.32	0.20
	Uzdužni pravac (srednje vrednosti)	0.4	0.5	2.1	1.05	1.05
	Standardna devijacija	0.06	0.08	0.35	0.23	0.15
	Poprečni pravac (srednje vrednosti)	0.43	0.53	2.22	1.10	1.12
	Standardna devijacija	0.06	0.07	0.29	0.15	0.17
	Srednja vrednost	0.42	0.51	2.16	1.07	1.08
14-II	Standardna devijacija	0.06	0.08	0.32	0.19	0.17
	Uzdužni pravac (srednje vrednosti)	0.42	0.51	2.14	1.09	1.05
	Standardna devijacija	0.06	0.07	0.3	0.18	0.15
	Poprečni pravac (srednje vrednosti)	0.46	0.57	2.46	1.25	1.2
	Standardna devijacija	0.07	0.08	0.4	0.25	0.21
	Srednja vrednost	0.44	0.54	2.30	1.17	1.12
	Standardna devijacija	0.07	0.08	0.39	0.23	0.20



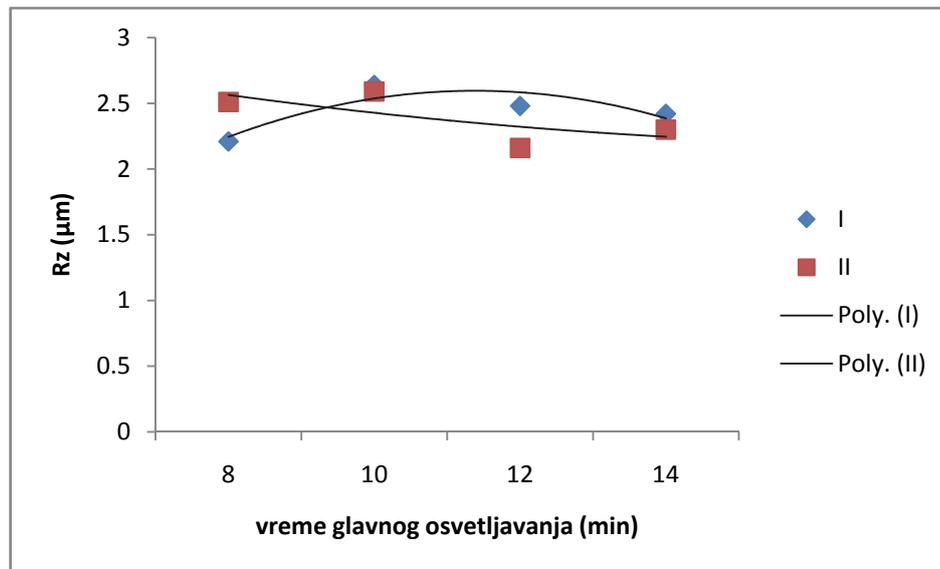
Slika 4.49: Grafički prikaz promene R_a parametara hrapavosti (razvijanje – 8(I) i 10 (II) obrtaja cilindra; vreme glavnog osvetljavanja 8,10,12 i 14 minuta; srednja vrednost poprečnog i uzdužnog pravca merenja)

Prema rezultatima prikazanim na slici 4.49, jasno je da su vrednosti srednjeg aritmetičkog odstupanja profila R_a veće u slučaju razvijanja sa 8 obrtaja cilindra, izuzev u slučaju najkraćeg vremena glavnog osvetljavanja (8 minuta). Promena datog parametra ima polinomni karakter, ali opozitan za različite vrednosti razvijanja. Pa tako, u slučaju razvijanja sa 8 obrtaja (I), vrednosti imaju blagi porast ($R_a = 0.41 \mu\text{m}$ u slučaju glavnog osvetljavanja od 8 minuta do vrednosti $R_a = 0.48 \mu\text{m}$, u slučaju glavnog osvetljavanja od 14 minuta). Prilikom razvijanja sa 10 obrtaja cilindra, vrednosti opadaju sa povećanjem vremena osvetljavanja ($R_a = 0.48 \mu\text{m}$ /8 minuta, $R_a = 0.44 \mu\text{m}$ /14 minuta).



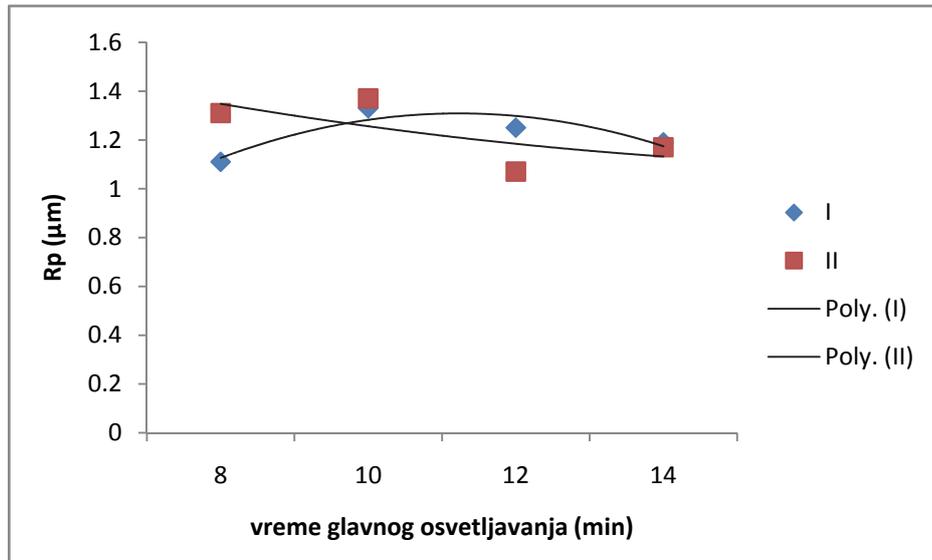
Slika 4.50: Grafički prikaz promene R_q parametara hrapavosti (razvijanje – 8(I) i 10 (II) obrtaja cilindra; vreme glavnog osvetljavanja 8,10,12 i 14 minuta; srednja vrednost poprečnog i uzdužnog pravca merenja)

Grafički prikaz promene srednjeg geometrijskog odstupanja profila, R_q , predstavljen je na slici 4.50. Kao i u slučaju parametra R_q , veće vrednosti se beleže u slučaju kada se razvijanje vrši sa 8 obrtaja cilindra, sa izuzetkom kada vreme glavnog osvetljavanja iznosi 8 minuta. Promena datog parametra je polinomnog karaktera, gde vrednosti imaju blagi rast u slučaju razvijanja sa 8 obrtaja ($R_q = 0.51 \mu\text{m} / 8 \text{ minuta}$, $0.58 \mu\text{m} / 14 \text{ minuta}$), dok kod razvijanja sa 10 obrtaja cilindra vrednosti opadaju kako vreme glavnog osvetljavanja raste ($R_q = 0.59 \mu\text{m} / 8 \text{ minuta}$, $R_q = 0.54 \mu\text{m} / 14 \text{ minuta}$).



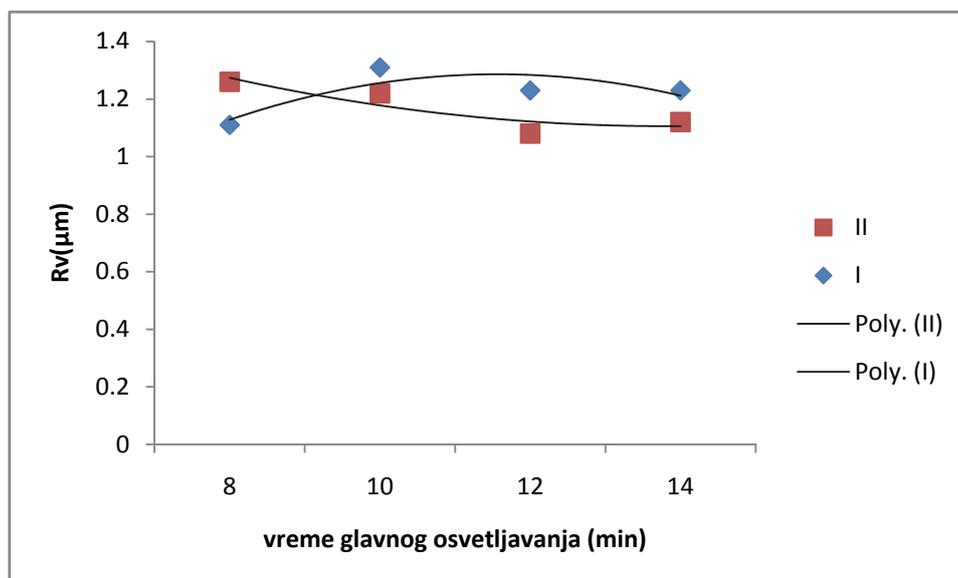
Slika 4.51: Grafički prikaz promene R_z parametara hrapavosti (razvijanje – 8(I) i 10 (II) obrtaja cilindra; vreme glavnog osvetljavanja 8,10,12 i 14 minuta; srednja vrednost poprečnog i uzdužnog pravca merenja)

Promena parametra R_z predstavljena je na grafiku na slici 4.51. U slučaju razvijanja sa 8 obrtaja cilindra, parametar R_z raste sa povećanjem vremena glavnog osvetljavanja ($R_z = 2.21 \mu\text{m} / 8 \text{ minuta}$, $R_z = 2.42 \mu\text{m} / 14 \text{ minuta}$). Promena parametra R_z u slučaju razvijanja sa 10 obrtaja cilindra ima opadajući karakter ($R_z = 2.51 \mu\text{m} / 8 \text{ minuta}$, $R_z = 2.30 \mu\text{m} / 14 \text{ minuta}$).



Slika 4.52: Grafički prikaz promene R_p parametara hrapavosti (razvijanje – 8(I) i 10 (II) obrtaja cilindra; vreme glavnog osvetljavanja 8,10,12 i 14 minuta; srednja vrednost poprečnog i uzdužnog pravca merenja)

Promene parametra hrapavosti R_p koji opisuje najveću visinu vrhova profila predstavljene su na grafiku na slici 4.52. Polinomni trend promene uočljiv je i kod datog parametra. U slučaju razvijanja sa 8 obrtaja cilindra najveća visina vrhova profila raste sa povećanjem vremena glavnog osvetljavanja ($R_p = 1.11 \mu\text{m}/8$ minuta, $R_p = 1.19 \mu\text{m}/14$ minuta). U slučaju razvijanja sa 10 obrtaja cilindra trend promene ima opozitan karakter. Naime, vrednost parametra R_p opada sa povećanjem vremena glavnog osvetljavanja ($R_p = 1.31 \mu\text{m}/8$ minuta, $R_p = 1.07 \mu\text{m}/14$ minuta).



Slika 4.53: Grafički prikaz promene R_v parametara hrapavosti (razvijanje – 8(I) i 10 (II) obrtaja cilindra; vreme glavnog osvetljavanja 8,10,12 i 14 minuta; srednja vrednost poprečnog i uzdužnog pravca merenja)

Na slici 4.53. predstavljena je promena amplitudnog parametra R_v , kao mere najveće dubine vrha profila. Promene u vrednostima datog parametra su istog karaktera kao i promene prethodno analiziranog parametra R_p . U slučaju razvijanja sa 8 obrtaja vrednost parametra raste ($R_v = 1.11 \mu\text{m}/8$ minuta, $R_v = 1.23 \mu\text{m}/14$ minuta), dok u slučaju razvijanja sa 10 obrtaja vrednosti datog parametra opadaju ($R_v = 1.26 \mu\text{m}/8$ minuta, $R_v = 1.12 \mu\text{m}/14$ minuta).

Da dužina trajanja vremena glavnog osvetljavanja i broj obrtaja cilindra prilikom termalnog razvijanja imaju uticaj na vrednosti amplitudnih parametara hrapavosti, pa samim tim i na topografiju površine punog tona na flekso štamparskim formama koje se razvijaju termalnim postupkom pokazano je izmerenim vrednostima predstavljenim grafički na slikama 4.49 – 4.53. Razlika između najveće i najmanje srednje vrednosti amplitudnih parametara hrapavosti u slučaju različitih vremena glavnog osvetljavanja i broja obrtaja cilindra prilikom razvijanja je u intervalu od $0.04 \mu\text{m}$ do $0.43 \mu\text{m}$, u zavisnosti od posmatranog parametra: $R_a - 0.08 \mu\text{m}$ (8 obrtaja) i $0.04 \mu\text{m}$ (10 obrtaja), $R_q - 0.1 \mu\text{m}$ (8 obrtaja) i $0.08 \mu\text{m}$ (10 obrtaja), $R_z - 0.43 \mu\text{m}$ (8 obrtaja) i $0.21 \mu\text{m}$ (10 obrtaja), $R_p - 0.22 \mu\text{m}$ (8 obrtaja) i $0.20 \mu\text{m}$ (10 obrtaja), $R_v - 0.20 \mu\text{m}$ (8 obrtaja) i $0.18 \mu\text{m}$ (10 obrtaja). Kako bi se utvrdila značajnost datih promena, te izvršila adekvatna analiza promene površinske strukture flekso štamparske forme preko R_a , R_p , R_q , R_v i R_z parametara u zavisnosti od vremena glavnog osvetljavanja i broja obrtaja prilikom termalnog razvijanja bilo je neophodno izvršiti statističku analizu podataka.

Prilikom statističke analize, korišten je T (Studentov) test nezavisnih uzoraka i jednofaktorska analiza varijanse, odnosno jednofaktorska ANOVA različitih grupa sa naknadnim testovima.

T test nezavisnih uzoraka se upotrebljava za poređenje srednje vrednosti neprekidne promenljive u dve različite grupe subjekata ili u različitim okolnostima. Ova vrsta T testa ukazuje da li postoji statistički značajna razlika u prosečnom rezultatu merenja nekog obeležja u dve grupe (Pallant, 2007).

Jednofaktorska ANOVA različitih grupa upotrebljava se kada postoji jedna nezavisna promenljiva s tri ili više nivoa i jedna zavisna neprekidna promenljiva (Pallant, 2007).

Datim testovima želi se utvrditi da li postoji statistički značajna razlika u srednjim vrednostima rezultata dobijenih kako pri različitim vremenima glavnog osvetljavanja, brojem obrtaja prilikom termalnog razvijanja tako i mernim pravcima (uzdužni i poprečni).

Prvim T testom izvršena je analiza parametara hrapavosti prema pravcu merenja, za svako vreme glavnog osvetljavanja i primenjeni broj obrtaja pri termalnom postupku razvijanja. Rezultati testa predstavljeni su u tabeli 4.23. E.k. predstavlja eta kvadrat odnosno pokazatelj veličine uticaja.

Tabela 4.23: Rezultati statističke analize parametara hrapavosti (T- test) za različite pravce merenja

	parametar hrapavosti	statistička značajnost	sr.vr. razlike	95% interval poverenja razlike		e.k.
				donji	gornji	
8-I	R _a	0.539	0.011	-0.030	0.060	0.008
	R _q	0.559	0.080	-0.197	0.356	0.010
	R _z	0.294	0.101	-0.090	0.291	0.033
	R _p	0.374	0.024	-0.030	0.077	0.023
	R _v	0.727	-0.021	-0.140	0.098	0.004
10-I	R _a	0.001	0.053	0.025	0.081	0.300
	R _q	0.000	0.341	0.177	0.505	0.344
	R _z	0.001	0.231	0.106	0.356	0.295
	R _p	0.000	0.072	0.037	0.106	0.346
	R _v	0.042	0.117	0.004	0.230	0.116
12-I	R _a	0.040	0.035	0.002	0.068	0.118
	R _q	0.242	0.125	-0.088	0.339	0.040
	R _z	0.036	0.139	0.011	0.266	0.126
	R _p	0.049	0.041	0.000	0.081	0.109
	R _v	0.837	0.066	-0.150	0.121	0.001
14-I	R _a	0.199	0.029	-0.016	0.073	0.048
	R _q	0.433	0.099	-0.155	0.353	0.018
	R _z	0.399	0.070	-0.096	0.235	0.021
	R _p	0.283	0.030	-0.026	0.086	0.034
	R _v	0.606	0.030	-0.087	0.146	0.008
8-II	R _a	0.598	0.008	-0.022	0.037	0.008
	R _q	0.864	0.018	-0.198	0.235	0.001
	R _z	0.380	0.070	-0.096	0.235	0.021
	R _p	0.746	0.030	-0.026	0.086	0.034
	R _v	0.823	0.030	-0.087	0.146	0.008
10-II	R _a	0.667	0.009	-0.034	0.052	0.006
	R _q	0.665	0.066	-0.240	0.372	0.006
	R _z	0.241	0.126	-0.088	0.340	0.040
	R _p	0.671	0.121	-0.045	0.069	0.005
	R _v	0.366	-0.060	-0.195	0.074	0.024
12-II	R _a	0.141	0.030	-0.010	0.070	0.063
	R _q	0.265	0.122	-0.097	0.341	0.036
	R _z	0.416	0.053	-0.078	0.185	0.020
	R _p	0.269	0.028	-0.023	0.079	0.036
	R _v	0.219	0.069	-0.043	0.180	0.044
14-II	R _a	0.036	0.047	0.003	0.091	0.123
	R _q	0.012	0.318	0.077	0.558	0.175
	R _z	0.034	0.160	0.013	0.307	0.126
	R _p	0.039	0.056	0.003	0.110	0.120
	R _v	0.015	0.158	0.032	0.284	0.160

Procena razlike između posmatranih grupa, rezultata merenja parametra hrapavosti u uzdužnom i poprečnom pravcu, vrši se na osnovu numeričke vrednosti statističke značajnosti. Ukoliko je vrednost statističke značajnosti jednak ili manji od 0.05, onda postoji značajna razlika između srednjih vrednosti zavisne promenljive u svakoj od posmatranih grupa (Pallant, 2007).

Eta kvadrat (e.k.) je jedan od najčešće korištenih pokazatelja veličine uticaja, koji je, prema Koenu, klasifikovan tako da vrednost 0.01 ukazuje na mali uticaj, 0.06 srednji uticaj a 0.14 ukazuje na veliki uticaj (Pallant, 2007).

Na osnovu rezultata predstavljenih u tabeli 4.23, značajna razlika između srednjih vrednosti merenih amplitudnih parametara hrapavosti u poprečnom i uzdužnom pravcu postoji u slučaju 10-I (vreme glavnog osvetljavanja 10 minuta i razvijanje primenom 10 obrtaja cilindra) i slučaju 14-II (vreme glavnog osvetljavanja 14 minuta i razvijanje 10 obrtaja cilindra). U slučaju 12-I (vreme glavnog osvetljavanja 12 minuta i razvijanje 8 obrtaja cilindra) značajna razlika rezultata merenja u poprečnom i uzdužnom pravcu postoji za amplitudne parametre R_a , R_z i R_p .

T – testom nezavisnih uzoraka pokazano je da u ostalim slučajevima nije bilo značajne razlike rezultata u slučaju merenja u uzdužnom, odnosno poprečnom pravcu. Takođe, u slučaju 8-I, 14-I, 8-II, 10-II i 12-II razlika između srednjih vrednosti obeležja po grupama bila je mala. U slučaju 10-I razlika između srednjih vrednosti merenja parametara u uzdužnom i poprečnom pravcu su bila velika (eta kvadrat: $R_a - 0.3$, $R_q - 0.344$, $R_z - 0.295$, $R_p - 0.346$, $R_v - 0.116$). Takođe, u slučaju 14-II velika vrednost eta kvadrata zabeležena je u slučaju amplitudnih parametara R_q (0.175) i R_v (0.160). Kod parametara R_a , R_z i R_p razlika između srednjih vrednosti po grupama bila je umerena (0.123, 0.126 i 0.120, respektivno). Umeren uticaj, shodno vrednostima eta kvadrata, pokazan je i u slučaju parametara R_a , za slučaj 12-II, i parametara R_a, R_z i R_p , za slučaj 12-I.

Kako bi se utvrdila značajnost uticaja vremena glavnog osvetljavanja na strukturu površine punog tona flekso štamparskih formi, izvršena je statistička analiza podataka primenom jednofaktorskog ANOVA testa različitih grupa s naknadnim testovima. Pri tome, analiza je izvršena za štamparske forme koje su razvijane primenom 8 i 10 obrtaja cilindra (označeno sa I i II, respektivno). Dobijeni rezultati prikazani su u tabelama 4.24 – 4.27.

Tabela 4.24: Rezultati statističke analize parametara hrapavosti (ANOVA) u slučaju razvijanja sa 8 obrtaja cilindra (vremena glavnog osvetljavanja 8,10,12 i 14 minuta)

Parametar hrapavosti		Suma kvadrata	Statistička značajnost	e.k.
R_a (I)	Između grupa	0.148	0.000	0.24
	Unutar grupe	0.459		
	Ukupno	0.607		
R_q (I)	Između grupa	0.195	0.000	0.21
	Unutar grupe	0.726		
	Ukupno	0.921		
R_z (I)	Između grupa	3.345	0.000	0.16
	Unutar grupe	17.082		
	Ukupno	20.428		
R_p (I)	Između grupa	0.968	0.001	0.11
	Unutar grupe	7.878		
	Ukupno	8.846		
R_v (I)	Između grupa	0.771	0.000	0.15
	Unutar grupe	4.495		
	Ukupno	5.266		

U tabeli 4.24. predstavljeni su zbrovi kvadrata odstupanja (reziduala) rezultata od njihove srednje vrednosti, statistička značajnost i eta kvadrat za analizu parametara hrapavosti (istih subjekata) pri različitim vremenima glavnog osvetljavanja (različitim grupa) u slučaju kada je razvijanje vršeno sa 8 obrtaja cilindra.

Dobijeni rezultati pokazuju da je rezultat neke od grupa statistički značajan, odnosno da postoji statistički značajna razlika između srednje vrednosti praćenih amplitudnih parametara hrapavosti R_a , R_q , R_z , R_p i R_v u zavisnosti od različitog vremena glavnog osvetljavanja. Za utvrđivanje koja grupa se razlikuje od kojih drugih grupa, izvršeni su naknadni testovi gde su date statističke značajnosti razlika između svakog para grupa (tabela 4.25.).

Tabela 4.25: Rezultati statističke analize parametara hrapavosti (ANOVA naknadni Tukeyev HSD test) u slučaju razvijanja sa 8 obrtaja cilindra (vremena glavnog osvetljavanja 8,10,12 i 14 minuta)

Parametar hrapavosti	Vreme (min) I	Vreme (min) J	Srednja razlika (I-J)	Statistička značajnost	95% Interval poverenja	
					Donja granica	Gornja granica
R_a (I)	8	10	-0.082611*	0.000	-0.12	-0.05
		12	-0.069278*	0.000	-0.10	-0.03
		14	-0.066444*	0.000	-0.10	-0.03
	10	12	0.013333	0.756	-0.02	0.05
		14	0.016167	0.629	-0.02	0.05
	12	14	0.002833	0.997	-0.03	0.04
R_q (I)	8	10	-0.097417*	0.000	-0.14	-0.05
		12	-0.077111*	0.000	-0.12	-0.03
		14	-0.071750*	0.000	-0.12	-0.03
	10	12	0.020306	0.630	-0.02	0.06
		14	0.025667	0.433	-0.02	0.07
	12	14	0.005361	0.989	-0.04	0.05
R_z (I)	8	10	-0.425361*	0.000	-0.64	-0.21
		12	-0.267111*	0.008	-0.48	-0.05
		14	-0.205528	0.065	-0.42	0.01
	10	12	0.158250	0.224	-0.06	0.37
		14	0.219833*	0.042	0.01	0.43
	12	14	0.061583	0.877	-0.15	0.28
R_p (I)	8	10	-0.224194*	0.001	-0.37	-0.08
		12	-0.141722	0.059	-0.29	0.00
		14	-0.082500	0.455	-0.23	0.06
	10	12	0.082472	0.455	-0.06	0.23
		14	0.141694	0.059	0.00	0.29
	12	14	0.059222	0.715	-0.09	0.20
R_v (I)	8	10	-0.204639*	0.000	-0.31	-0.09
		12	-0.125278*	0.018	-0.24	-0.02
		14	-0.123028*	0.021	-0.23	-0.01
	10	12	0.079361	0.242	-0.03	0.19
		14	0.081611	0.219	-0.03	0.19
	12	14	0.002250	1.000	-0.11	0.11

U tabeli 4.25. predstavljeni su rezultati naknadnih testova gde su date vrednosti srednje razlike, statističke značajnosti i gornja i donja granica 95% intervala poverenja. Naknadni test (Tukeyev HSD test) ukazuje gde su razlike između grupa. U slučaju da u koloni srednja razlika (I-J) pored numeričke vrednosti se nalazi oznaka zvezdica, onda se poređene dve grupe međusobno značajno razlikuju na nivou $p < 0.05$ (Pallant, 2007). U koloni statistička značajnost date su tačne vrednosti značajnosti.

Prema rezultatima prikazanim u tabeli 4.25, statistički značajno se razlikuju vrednosti amplitudnih parametara hrapavosti R_a , R_q i R_v u slučaju kada vreme osvetljavanja iznosi 8 minuta u odnosu na vrednosti pomenutih parametara u slučaju kada je vreme glavnog osvetljavanja 10, 12 i 14 minuta. Srednje vrednosti parametara R_a , R_q i R_v se statistički značajno ne razlikuju u slučaju vremena glavnog osvetljavanja od 10, 12 i 14 minuta. Takođe, statistički značajna razlika postoji u slučaju parametra R_z između vremena glavnog osvetljavanja od 8 minuta i vremena glavnog osvetljavanja od 10 i 12 minuta i između vremena glavnog osvetljavanja od 10 i 14 minuta. Statistički značajna razlika za parametar R_p zabeležena je samo između srednjih vrednosti za vreme glavnog osvetljavanja od 8 i 10 minuta.

Prema Koenovom kriterijumu, vrednosti eta kvadrata za parametre R_a (e.k.= 0.24), R_q (e.k.= 0.21), R_z (e.k.= 0.16) i R_v (e.k.= 0.15) ukazuju da je uticaj razlike veliki. Za parametar R_p (e.k.= 0.11) uticaj razlike klasifikuje se kao srednji.

Tabela 4.26: Rezultati statističke analize parametara hrapavosti (ANOVA) u slučaju razvijanja sa 10 obrtaja cilindra (vremena glavnog osvetljavanja 8,10,12 i 14 minuta)

Parametar hrapavosti		Suma kvadrata	Statistička značajnost	e.k.
R_a (II)	Između grupa	0.105	0.000	0.17
	Unutar grupe	0.497		
	Ukupno	0.602		
R_q (II)	Između grupa	0.189	0.000	0.19
	Unutar grupe	0.796		
	Ukupno	0.984		
R_z (II)	Između grupa	4.205	0.000	0.18
	Unutar grupe	19.336		
	Ukupno	23.540		
R_p (II)	Između grupa	1.939	0.000	0.14
	Unutar grupe	12.195		
	Ukupno	14.134		
R_v (II)	Između grupa	0.712	0.000	0.13
	Unutar grupe	4.576		
	Ukupno	5.288		

U tabeli 4.26. predstavljeni su zbrovi kvadrata odstupanja (reziduala) rezultata od njihove srednje vrednosti, statistička značajnost i eta kvadrat za analizu parametara hrapavosti pri različitim vremenima glavnog osvetljavanja u slučaju kada je razvijanje vršeno sa 10 obrtaja cilindra.

Rezultati istraživanja

Pokazano je da postoji statistički značajna razlika između srednje vrednosti praćenih amplitudnih parametara hrapavosti u zavisnosti od vremena glavnog osvetljavanja. Naknadni testovi pokazali su statističke značajnosti razlika između svakog para grupa (tabela 4.27.).

Tabela 4.27: Rezultati statističke analize parametara hrapavosti (ANOVA naknadni Tukeyev HSD test) u slučaju razvijanja sa 10 obrtaja cilindra (vremena glavnog osvetljavanja 8,10,12 i 14 minuta)

Parametar hrapavosti	Vreme (min) I	Vreme (min) J	Srednja razlika (I-J)	Statistička značajnost	95% Interval poverenja	
					Donja granica	Gornja granica
R _a (II)	8	10	-0.003667	0.994	-0.04	0.03
		12	0.060500*	0.000	0.02	0.10
		14	0.039750*	0.027	0.00	0.08
	10	12	0.064167*	0.000	0.03	0.10
		14	0.043417*	0.013	0.01	0.08
12	14	-0.020750	0.454	-0.06	0.02	
R _q (II)	8	10	-0.011861	0.909	-0.06	0.03
		12	0.076750*	0.000	0.03	0.12
		14	0.050333*	0.027	0.00	0.10
	10	12	0.088611*	0.000	0.04	0.13
		14	0.062194*	0.003	0.02	0.11
12	14	-0.026417	0.448	-0.07	0.02	
R _z (II)	8	10	-0.079556	0.800	-0.31	0.15
		12	0.351778*	0.001	0.12	0.58
		14	0.214139	0.074	-0.01	0.44
	10	12	0.431333*	0.000	0.20	0.66
		14	0.293694*	0.006	0.07	0.52
12	14	-0.137639	0.398	-0.37	0.09	
R _p (II)	8	10	-0.067528	0.766	-0.25	0.11
		12	0.231444*	0.006	0.05	0.41
		14	0.133639	0.224	-0.05	0.31
	10	12	0.298972*	0.000	0.12	0.48
		14	0.201167*	0.023	0.02	0.38
12	14	-0.097806	0.498	-0.28	0.08	
R _v (II)	8	10	0.043361	0.739	-0.07	0.15
		12	0.175972*	0.000	0.07	0.29
		14	0.136139*	0.009	0.03	0.25
	10	12	0.132611*	0.012	0.02	0.24
		14	0.092778	0.135	-0.02	0.20
12	14	-0.039833	0.786	-0.15	0.07	

U tabeli 4.27. predstavljeni su rezultati naknadnog Tukeyev HSD testa gde su date vrednosti srednje razlike, statističke značajnosti i gornja i donja granica 95% intervala poverenja.

Prema rezultatima prikazanim u tabeli 4.27, statistički značajno se razlikuju vrednosti amplitudnih parametara hrapavosti R_a i R_q u slučaju kada vreme osvetljavanja iznosi 8 minuta u odnosu na vrednosti pomentutih parametara u slučaju kada je vreme glavnog osvetljavanja 12 i 14 minuta, odnosno u slučaju kada vreme glavnog osvetljavanja iznosi 10 minuta u odnosu na vrednosti parametara R_a i R_q kada vreme glavnog osvetljavanja iznosi 12 i 14 minuta. Za parametre R_a i R_q ne postoji statistički značajna razlika datih parametara između vremena glavnog osvetljavanja od 10 i 8 minuta, odnosno 12 i 14 minuta. Za parametre R_z i R_p statistički značajne razlike postoje između vremena glavnog osvetljavanja od 8 i 12 minuta, 10 i 12 minuta i 10 i 14 minuta. Statistički značajna razlika srednjih vrednosti parametra R_v zabeležena je između vremena glavnog osvetljavanja od 8 i 12 minuta, te vremena glavnog osvetljavanja od 8 i 14 minuta, odnosno 10 i 12 minuta.

Vrednosti eta kvadrata za parametre R_a (e.k.= 0.17), R_q (e.k.= 0.19), R_z (e.k.= 0.18) i R_p (e.k.= 0.14) ukazuju da je uticaj razlike veliki, dok je za parametar R_v (e.k.= 0.13) uticaj razlike srednji.

Tabela 4.28: Rezultati statističke analize parametara hrapavosti (T- test) u slučaju različitog razvijanja (8 i 10 obrtaja cilindra)

Vreme glavnog osvetljavanja	parametar hrapavosti	statistička značajnost	srednja vrednost razlike	95% interval poverenja razlike		e.k.
				donji	gornji	
8 min	R_a	0.000	-0.068	-0.093	-0.043	0.30
	R_q	0.000	-0.077	-0.109	-0.045	0.25
	R_z	0.001	-0.298	-0.468	-0.128	0.15
	R_p	0.017	-0.198	-0.360	-0.0363	0.07
	R_v	0.000	-0.156	-0.233	-0.078	0.18
10 min	R_a	0.415	0.011	-0.016	0.037	0.01
	R_q	0.622	0.009	-0.026	0.043	0.01
	R_z	0.594	0.048	-0.130	0.226	0.01
	R_p	0.522	-0.041	-0.170	0.087	0.01
	R_v	0.039	0.092	0.004	0.180	0.06
12 min	R_a	0.000	0.062	0.035	0.088	0.24
	R_q	0.000	0.077	0.044	0.110	0.24
	R_z	0.000	0.321	0.170	0.472	0.20
	R_p	0.000	0.175	0.083	0.267	0.17
	R_v	0.001	0.146	0.060	0.231	0.14
14 min	R_a	0.019	0.038	0.006	0.070	0.08
	R_q	0.023	0.045	0.006	0.084	0.07
	R_z	0.178	0.122	-0.057	0.300	0.02
	R_p	0.745	0.018	-0.093	0.129	0.01
	R_v	0.021	0.103	0.016	0.191	0.07

Kako bi se utvrdila statistička značajnost između vrednosti amplitudnih parametara hrapavosti u slučaju kada je promenljiva varijabla postupak razvijanja (razvijanje sa 8 i 10 obrtaja cilindra), izvršena je analiza T testom nezavisnih uzoraka (tabela 4.28.).

Prema predstavljenim podacima (tabela 4.28.) statistički značajna razlika (>0.05) nije zabeležena jedino u slučaju kada vreme glavnog osvetljavanja iznosi 10 minuta (izuzevši parametar R_v) i u slučaju vremena glavnog osvetljavanja od 14 minuta i parametre hrapavosti R_z i R_p .

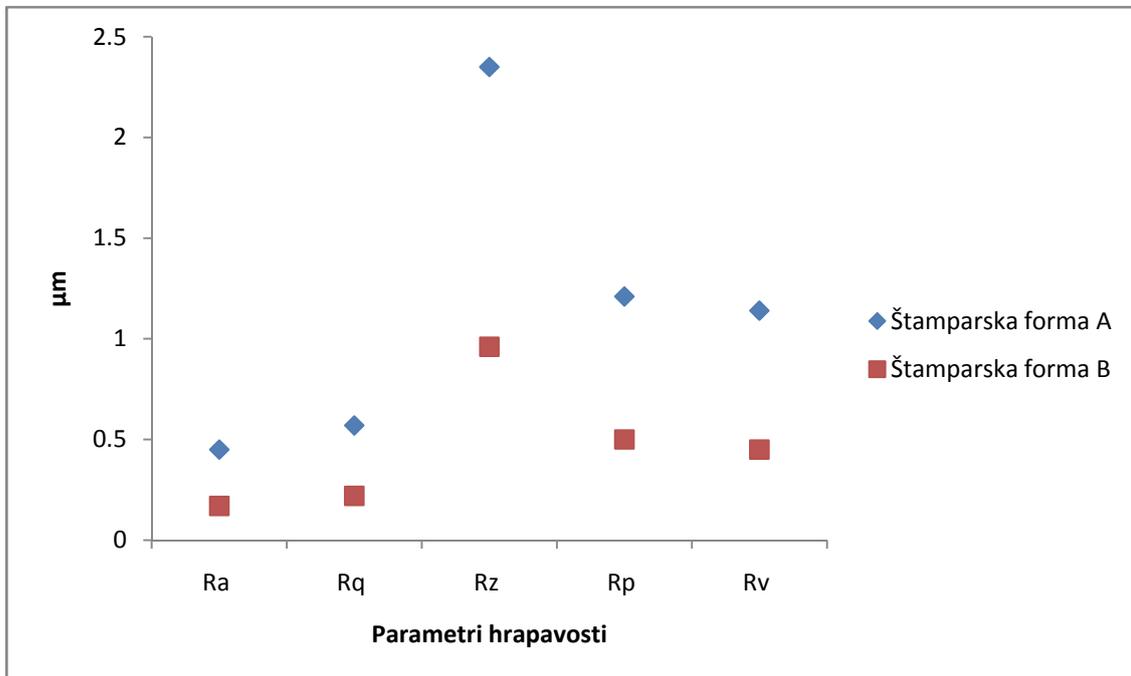
4.5.2. Rezultati merenja površinskih karakteristika punog tona flekso štamparskih formi (termalni i konvencionalni postupak razvijanja – štamparska forma A i štamparska forma B)

Pored štamparskih formi koje se razvijaju termalnim postupkom, istraživanje je obuhvatilo i ispitivanje površinskih karakteristika digitalne štamparske forme koja se razvija konvencionalnim putem (u odgovarajućem organskom razvijaju). Ovo istraživanje je prvenstveno imalo za cilj da ukaže na značajnost u razlici površinskih karakteristika digitalnih flekso štamparskih formi koje se koriste pri različitim postupcima razvijanja. Štamparska forma koja se razvija termalnim postupkom obeležena je kao štamparska forma A (forma izrađena prema unapred utvrđenim, jednoznačnim parametrima izrade), dok je štamparska forma koja se razvija konvencionalnim postupkom obeležena kao štamparska forma B. Shodno primenjenim mernim metodama i s ciljem sveobuhvatne analize strukture površine štampajuće površine flekso štamparskih formi (polje punog tona) odabrani amplitudni parametri hrapavosti za analizu bili su sledeći: R_a , R_q , R_z , R_p i R_v . U tabeli 4.29. date su srednje vrednosti amplitudnih parametara, kako za štamparsku formu A tako i za štamparsku formu B.

Tabela 4.29: Srednje vrednosti amplitudnih parametara hrapavosti mereno na punom tonu flekso štamparskih formi (štamparska forma A i štamparska forma B)

Štamparska forma		R_a (μm)	R_q (μm)	R_z (μm)	R_p (μm)	R_v (μm)
A	Uzdužni pravac (srednje vrednosti)	0.44	0.55	2.23	1.17	1.06
	Standardna devijacija	0.07	0.08	0.40	0.26	0.21
	Poprečni pravac (srednje vrednosti)	0.47	0.59	2.46	1.24	1.22
	Standardna devijacija	0.10	0.14	0.64	0.34	0.33
	Srednja vrednost	0.45	0.57	2.35	1.21	1.14
	Standardna devijacija	0.09	0.11	0.54	0.30	0.29
B	Uzdužni pravac (srednje vrednosti)	0.17	0.23	1.00	0.56	0.44
	Standardna devijacija	0.07	0.08	0.42	0.34	0.19
	Poprečni pravac (srednje vrednosti)	0.16	0.21	0.91	0.44	0.47
	Standardna devijacija	0.07	0.08	0.3	0.19	0.19
	Srednja vrednost	0.17	0.22	0.96	0.5	0.45
	Standardna devijacija	0.07	0.08	0.36	0.28	0.19

Grafički prikaz srednjih vrednosti (uzdužni i poprečni merni pravac) amplitudnih parametara hrapavosti R_a , R_q , R_z , R_p i R_v za obe štamparske forme predstavljen je na slici 4.54.



Slika 4.54: Uporedni grafički prikaz amplitudnih parametara hrapavosti (štamparska forma A i B, srednje vrednosti)

Posmatrano preko parametra R_a , srednjeg aritmetičkog odstupanja profila, vidi se da štamparska forma A ima daleko veće vrednosti (srednja vrednost iznosi $0.45 \mu\text{m}$) u odnosu na štamparsku formu B (vrednost parametra R_a je 0.17). Hrapavija površina štamparske forme A potvrđena je i vrednošću parametra R_q (srednjeg geometrijskog odstupanja profila). Naime parametar R_q u slučaju štamparske forme A ima gotovo 2.5 puta veću vrednost nego u slučaju štamparske forme B.

Daleko bolji uvid u površinsku strukturu dobija se praćenjem parametara hrapavosti R_p - najveće visine vrha profila i parametra R_v - najveće dubine udubljenja profila. Dati parametri ukazuju na bitne razlike površinske strukture analiziranih uzoraka. Pa tako, štamparsku formu A karakteriše veća kako najveća visina vrha profila tako i najveća dubina udubljenja profila u odnosu na štamparsku formu B (više od dva puta). Takođe, dobijeni rezultati pokazuju da u slučaju obe štamparske forme, numerički, vrednosti najveće dubine udubljenja i visine vrha profila, su gotovo jednake (štamparska forma A – R_p $1.21 \mu\text{m}$ i R_v $1.14 \mu\text{m}$; štamparska forma B – R_p $0.5 \mu\text{m}$ i R_v $0.45 \mu\text{m}$). Praćenje ovih parametara je izuzetno značajno s obzirom da trošenje vrhova profila može dovesti do popunjavanja udubljenja profila (Ponsonnet et al., 2003, Dimogerontakis et al., 2006, Novaković et al., 2009, Menezes et al., 2009).

Srednja visina neravnina uzorkovano u 10 tačaka R_z , zajedno sa parametrima hrapavosti R_p i R_v , daje celovitiju karakterizaciju mikrohrapavosti posmatranih površina. Prema predstavljenim rezultatima, pokazano je da parametar R_z ima gotovo 2.5 puta veće vrednosti u slučaju štamparske forma A što govori o daleko većoj mikrohrapavosti površine date štamparske forme. Primenom T (Studentovog) testa izvršena je analiza značajnosti dobijenih vrednosti prema pravcu merenja u slučaju obe štamparske forme (tabela 4.30.). U tabeli e.k. predstavlja eta kvadrat odnosno pokazatelj veličine uticaja.

Tabela 4.30: Rezultati statističke analize parametara hrapavosti (T- test) za različite pravce merenja

Štamparska forma	parametar hrapavosti	statistička značajnost	sr.vr. razlike	95% interval poverenja razlike		e.k.
				gornji	donji	
A	R_a	0.457	-0.021763	-0.080481	0.036956	0.016
	R_q	0.395	-0.032125	-0.107865	0.043615	0.021
	R_z	0.285	-0.196013	-0.562761	0.170736	0.033
	R_p	0.710	-0.038050	-0.243898	0.167798	0.004
	R_v	0.101	-0.157813	-0.347774	0.032149	0.077
B	R_a	0.689	-0.009375	-0.056637	0.037887	0.005
	R_q	0.843	0.005338	-0.049160	0.059835	0.001
	R_z	0.376	0.109688	-0.138682	0.358057	0.023
	R_p	0.202	0.120613	-0.067743	0.308968	0.047
	R_v	0.870	-0.010712	-0.142598	0.121173	0.001

Prema predstavljenim podacima (tabela 4.30) statistički značajna razlika srednjih vrednosti između pravaca merenja nije zabeležena niti kod jednog od praćenih parametara hrapavosti (statistička značajnost > 0.05). Eta kvadrat ukazuje na mali uticaj odnosno na malu razliku između srednjih vrednosti posmatranih parametara hrapavosti u slučaju različitih mernih pravaca.

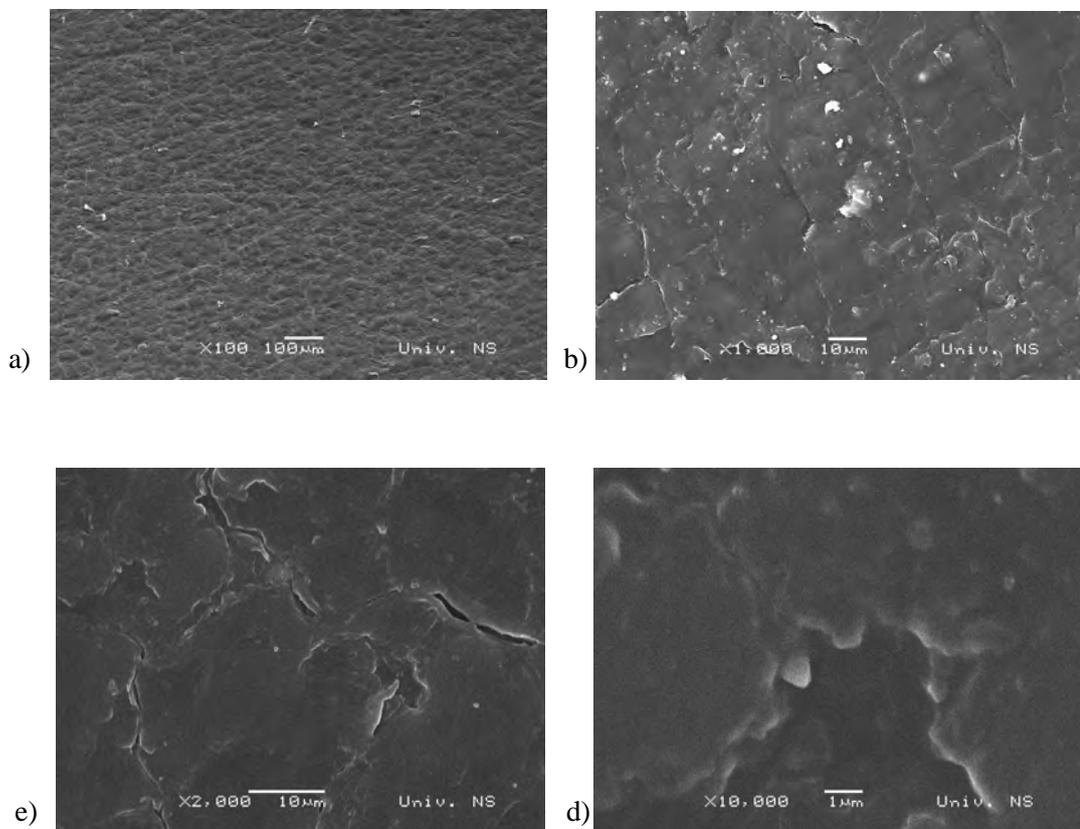
Kvantitativna analiza amplitudnih parametara primenom T – testa ukazala je na značajnost razlike amplitudnih parametara hrapavosti u slučaju posmatranih štamparskih formi. U tabeli 4.31. predstavljeni su dobijeni rezultati T - testa, gde je e.k. - eta kvadrat odnosno pokazatelj veličine uticaja.

Tabela 4.31: Rezultati statističke analize parametara hrapavosti (T- test) za štamparsku formu A i B

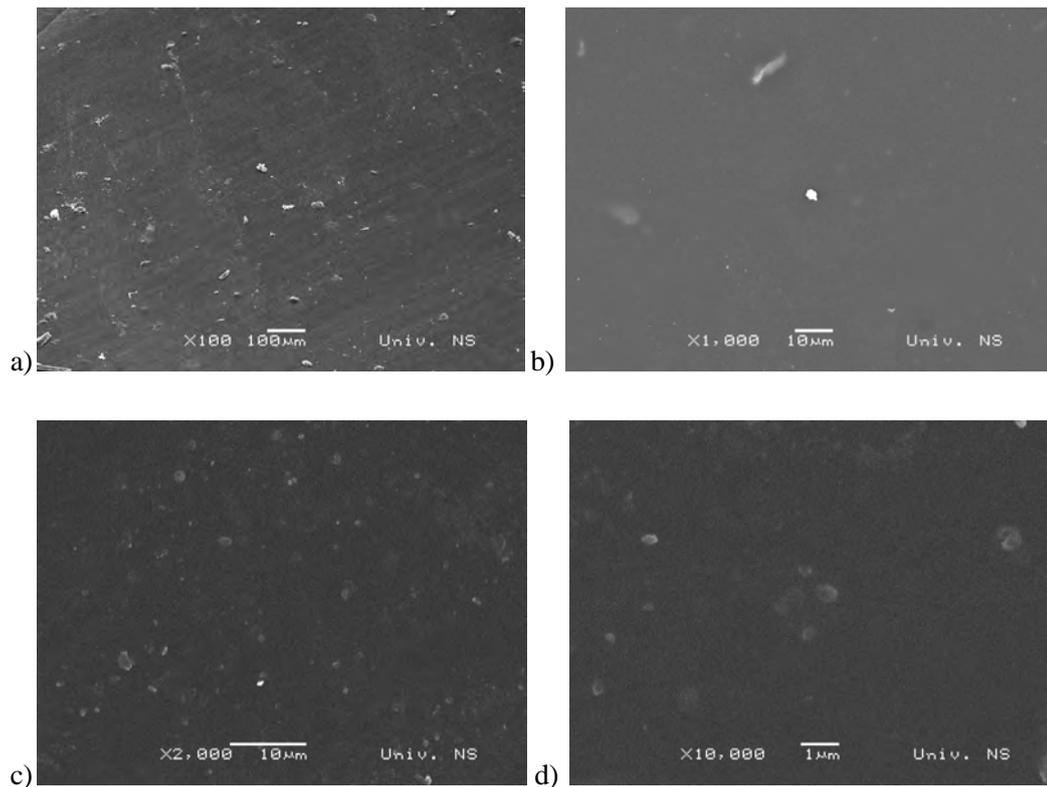
parametar hrapavosti	statistička značajnost	sr.vr. razlike	95% interval poverenja razlike		t	e.k.
			gornji	donji		
R_a	0.000	0.287194	0.250749	0.323640	15.716	0.879
R_q	0.000	0.349750	0.304571	0.394929	15.440	0.875
R_z	0.000	1.391333	1.175140	1.607526	12.835	0.829
R_p	0.000	0.705833	0.570062	0.841605	10.368	0.76
R_v	0.000	0.685222	0.570956	0.799488	11.960	0.81

Podaci u tabeli 4.31. ukazuju na postojanje statistički značajne razlike srednjih vrednosti parametara hrapavosti R_a , R_q , R_z , R_p i dobijenih za štamparsku formu A i štamparsku formu B. Vrednost statističke značajnosti iznosi 0.000 (za svaki od analiziranih amplitudnih parametara). Numerička vrednost eta kvadrata je iznad 0.14 što ukazuje na izuzetno veliki uticaj.

Na slikama 4.55. i 4.56. predstavljeni su mikroskopski snimci ispitivanih površina štamparskih formi. Kvalitativnom ocenom SEM mikroskopskih snimaka potvrđeni su prethodno dobijeni rezultati. Kako se sa snimaka može videti, uzorci imaju primetno drugačiju strukturu površine. Štamparska forma A ima daleko nehomogeniju površinu, sa jasnije uočljivim pukotinama i udubljenjima na površini. Ujednačena, „glada“ površina karakteriše štamparsku formu B, gde nema izražajnih niti udubljenja niti vrhova.



Slika 4.55: Mikroskopski snimak površine punog tona za štamparsku formu A, uvećanje od a) 100 x (pod uglom), b) 1000 x, c) 2000x i d) 10000 x



Slika 4.56: Mikroskopski snimak površine punog tona za štamparsku formu B, uvećanje od a) 100 x (pod uglom), b) 1000 x, c) 2000x i d) 10000 x

4.6. Rezultati merenja kontaktnog ugla i slobodne površinske energije

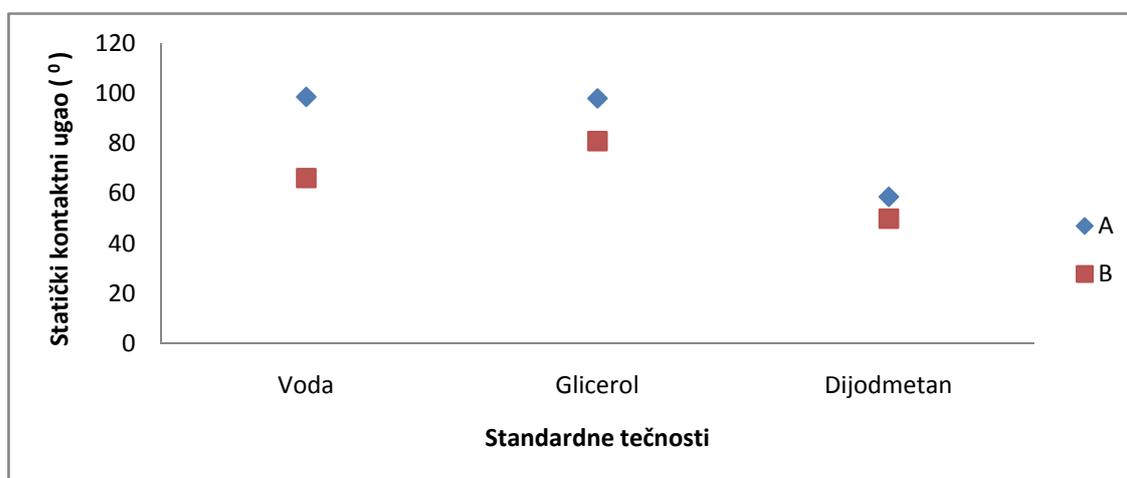
4.6.1. Rezultati merenja kontaktnog ugla referentnih tečnosti

Statički kontaktni ugao je neophodno definirati ako se želi odrediti slobodna površinska energija određene čvrste komponente. Stoga, prvo u nizu merenja koje se odnosilo na merenja kontaktnog ugla bilo je merenje statičkog kontaktnog ugla pri čemu su korištene tri referentne tečnosti poznatih udela polarne i nepolarne komponente: voda, dijodmetan i glicerol. Pri tome, primenjene su dve merne metode za analizu: metoda elipse i Laplace – Young metoda. Mernja vrednosti kontaktnih uglova izvršena su za štamparsku formu A i B.

S obzirom da je vrednost merne greške bila manja u slučaju Laplace – Young metoda (u slučaju svih referentnih tečnosti i obe ispitivane štamparske forme) data merenja su nadalje uzeta za analizu i izračunavanje srednje vrednosti kontaktnog ugla. U tabeli 4.32. (grafčki prikaz slika 4.57.) predstavljene su srednje vrednosti statičkog kontaktnog ugla za tri referentne tečnosti i obe štamparske forme kao i vrednost standardne devijacije merenja.

Tabela 4.32: Srednje vrednosti statičkog kontaktnog ugla za tri referentne tečnosti (štamparska forma A i štamparska forma B)

Srednje vrednosti statičkog kontaktnog ugla za tri referentne tečnosti			
Tečnost	Štamparska forma	Srednja vrednost kontaktnog ugla (statički) (°)	Standardna devijacija
Glicerol	A	97.90	1.74
	B	80.87	1.98
Destilovana voda	A	98.52	2.59
	B	66.09	4.96
Dijodmetan	A	58.56	2.29
	B	49.86	1.87



Slika 4.57: Grafički prikaz srednje vrednosti statičkog kontaktnog ugla (tri referentne tečnosti i dve štamparske forme – A, B)

Prema rezultatima predstavljenim na grafiku na slici 4.57. veće vrednosti kontaktnog ugla zabeležene su u slučaju štamparske forme A, nezavisno od primenjene referentne tečnosti.

Najveće razlike u kontaktnom uglu za štamparsku formu A zabeležene su između kontaktnog ugla izmerenog u slučaju standardnih tečnosti destilovane vode i dijudmetana (97.90° i 58.56°), dok su najmanje razlike u slučaju standardne tečnosti destilovane vode i glicerola (98.52° i 97.90°). Najmanja vrednost kontaktnog ugla u slučaju štamparske forme A zabeležena je u slučaju dijudmetana, gde je vrednost kontaktnog ugla gotovo dvostruko niža nego u slučaju preostale dve korištene referentne tečnosti. Najveći kontaktni ugao izmeren je u slučaju destilovane vode.

U slučaju štamparske forme B, najveće razlike u izmerenim kontaktnim uglovima su između uglova za standardnu tečnost glicerol i dijudmetan (80.87° i 49.86°). Vrednosti kontaktnog ugla u slučaju dijudmetana i vode u slučaju štamparske forme B imaju najmanju razliku. Najmanja vrednost kontaktnog ugla merenog na štamparskoj formi B

zabeležena je u slučaju referentne tečnosti dijudmetan (49.86^0), a najveća u slučaju glicerola (80.87^0).

Kako bi se utvrdila značajnost razlike statičkog kontaktnog ugla između analiziranih štamparskih formi za svaku referentnu tečnost ponaosob, izvršena je statistička analiza Man – Vitnjevim U testom. Primena T (Studentovog) testa u ovom slučaju ne bi bila statistički opravdana s obzirom na veličinu uzorka te raspodelu vrednosti rezultata koja se ne podvrgava normalnoj distribuciji (Marius, 2010). Man – Vitnjev U test predstavlja pandan T testu ali u okviru neparametarskih statističkih tehnika obrade podataka, gde se ne porede srednje vrednosti dvaju grupa, već njihove medijane. Tako se testom, iako primenljiv za ispitivanje razlika dve nezavisne grupe na neprekidnoj skali, neprekidne promenljive pretvaraju u rangove za obe grupe i potom se izračunava da li se rangovi tih grupa značajno razlikuju, čime se eliminiše uticaj stvarne raspodele rezultata na tumačenje dobijenih rezultata (Pallant, 2007). Rezultati dobijeni primenom Man – Vitnjevog U testa predstavljeni su u tabeli 4.33, gde je Z iznos z-aproksimacije, koja obuhvata i korekciju zbog međusobnih veza između podataka, p – statistička značajnost, Md - medijana i r – statistički pokazatelj veličine uticaja.

Tabela 4.33: Rezultati statističke analize statičkog kontaktnog ugla (Man – Vitnjev U test) za štamparsku formu A i B

statistički parametri	Glicerol	Voda	Dijodmetan
Z	-3.361	-3.363	-3.361
p	0.001	0.001	0.001
Md	89.38	82.23	54.21
r	0.84	0.84	0.84

Vrednost statističke značajnosti u slučaju korištenih referentnih tečnosti je manja od 0.05, stoga postoji statistički značajna razlika između posmatranih grupa. Vrednost faktora r iznosi 0.84, što je prema Koenovom kriterijumu izuzetno veliki uticaj (Koenov kriterijum: 0.1 – mali uticaj, 0.3 – srednji uticaj, 0.5 – veliki uticaj (Pallant, 2007).

Značajnost razlike srednjih vrednosti statičkog kontaktnog ugla za različite referentne tečnosti na istoj štamparskoj formi ilustruje Kruskal – Volisov test (Kruskal Volisaov H test). Dati test je neparametrijska alternativa jednofaktorskoj analizi varijanse različitih grupa, te poređi rezultate neprekidne promenljive za 3 ili više grupa na način da se rezultati porede u rangove, te se srednji rangovi svake grupe međusobno porede (Pallant, 2007). Rezultati Kruskal – Volisovog testa dati su u tabeli 4.34, gde je MR – srednja vrednost ranga, Md – medijana, p – statistička značajnost i df – broj stepeni slobode.

Tabela 4.34: Rezultati statističke analize statičkog kontaktnog ugla (Kruskal – Volisov test) za štamparsku formu A i B

štamparska forma	tečnost	MR	M	p	df
A	glicerol	16.25	97.90	0.000	2
	voda	16.75	98.52		
	dijodmetan	4.50	58.56		
B	glicerol	20.50	80.87	0.000	2
	voda	12.50	65.94		
	dijodmetan	4.50	49.86		

Utvrđeni nivo značajnosti iznosi 0.000 i u slučaju štamparske forme A kao i u slučaju štamparske forme B (tabela 4.34.). Kao naknadni test, za utvrđivanje koje od posmatranih grupa se statistički značajno međusobno razlikuju, korišten je Man – Vitnijev U test. Rezultati testa predstavljeni su u tabeli 4.35. gde je Z iznos z-aproksimacije, p – statistička značajnost, i r – statistički pokazatelj veličine uticaja. Kod ove metode važno je naglasiti da se za utvrđivanje statističke značajnosti kao referentna vrednost koristi 0.017 (0.05/3), odnosno revidirani alfa nivo prema Bonferonijevom prilagođavanju (Pallant, 2007).

Tabela 4.35: Rezultati naknadnog testa značajnosti (Man – Vitnijev test) za štamparsku formu A i B

štamparska forma	tečnost	statistički parametri		
		p	Z	r
A	glicerol - voda	0.834	-0.210	0.6
	glicerol - dijodmetan	0.001	-3.361	0.9
	voda - dijodmetan	0.001	-3.363	0.9
B	glicerol - voda	0.001	-3.361	0.9
	glicerol - dijodmetan	0.001	-3.361	0.9
	voda - dijodmetan	0.001	-3.361	0.9

Rezultati naknadnog testa značajnosti ukazuju da statistički značajna razlika ne postoji samo između vrednosti kontaktnog ugla za štamparsku formu A dobijenih u slučaju glicerola i vode. Treba primetiti da je vrednost faktora r izuzetno visoka u slučaju svakog poredbenog para.

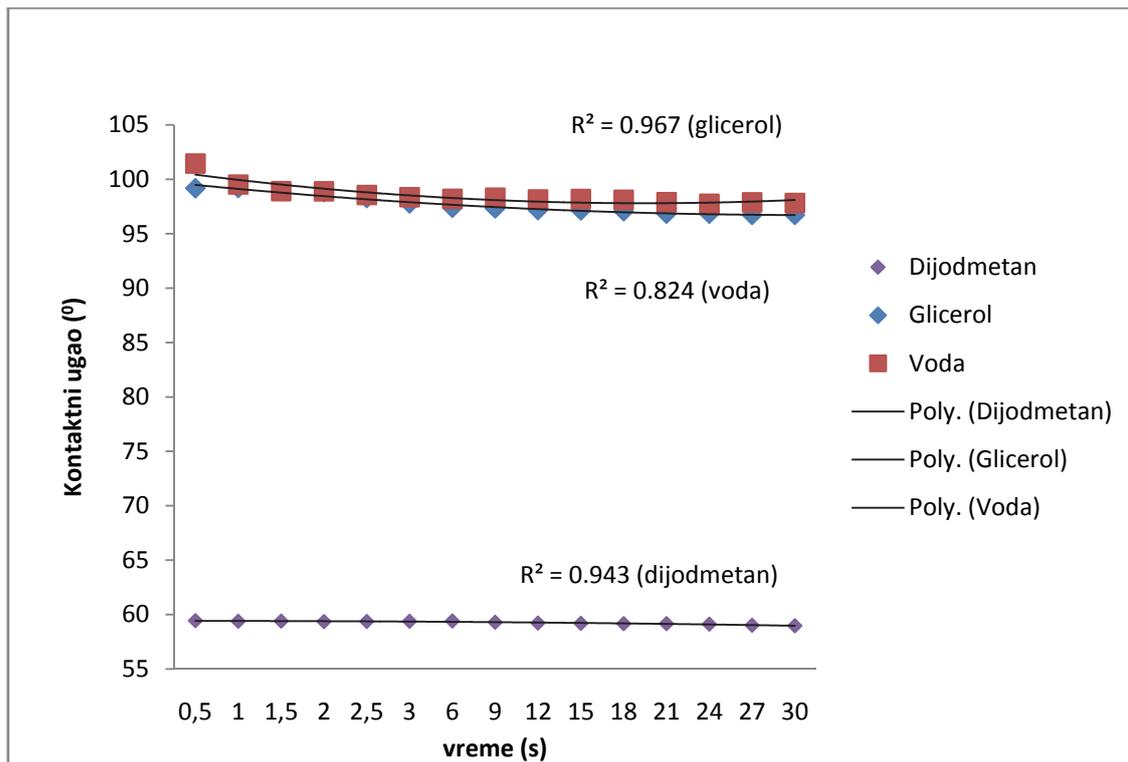
4.6.2. Rezultati merenja kontaktnog ugla u funkciji vremena

Pored merenja statičkog kontaktnog ugla, izvršena su i merenja kontaktnog ugla u funkciji vremena (dinamičkog kontaktnog ugla) za tri referentne tečnosti: destilovanu vodu, glicerol i dijodmetan. Data merenja vršena su prvenstveno s ciljem da se utvrdi ponašanje kapi istog volumena na površini polimernih štamparskih formi, odnosno da se utvrdi trend promene u određenom vremenskom intervalu. Posmatrani vremenski opseg bio je 30 sekundi a merenja su vršena u periodu od 0 – 3 sekunde na svakih 0.5 sekundi i u periodu od 3 -30 na svake 3 sekunde. Dati vremenski interval je odabran

pod pretpostavkom da se najveće promene u vednosti kontaktnog ugla dešavaju neposredno nakon inicijalnog kontakta tečne i čvrste faze. Pri tome, primenjene su dve merne metode za analizu: metoda elipse i Laplace – Young metoda. Kako je vrednost merne greške bila manja u slučaju Laplace – Young metoda (u slučaju svih referentnih tečnosti i obe ispitivane štamparske forme) data merenja su nadalje uzeta za analizu i izračunavanje srednje vrednosti kontaktnog ugla. U tabeli 4.36. predstavljene su srednje vrednosti kontaktnog ugla za odabrani vremenski opseg i obe štamparske forme.

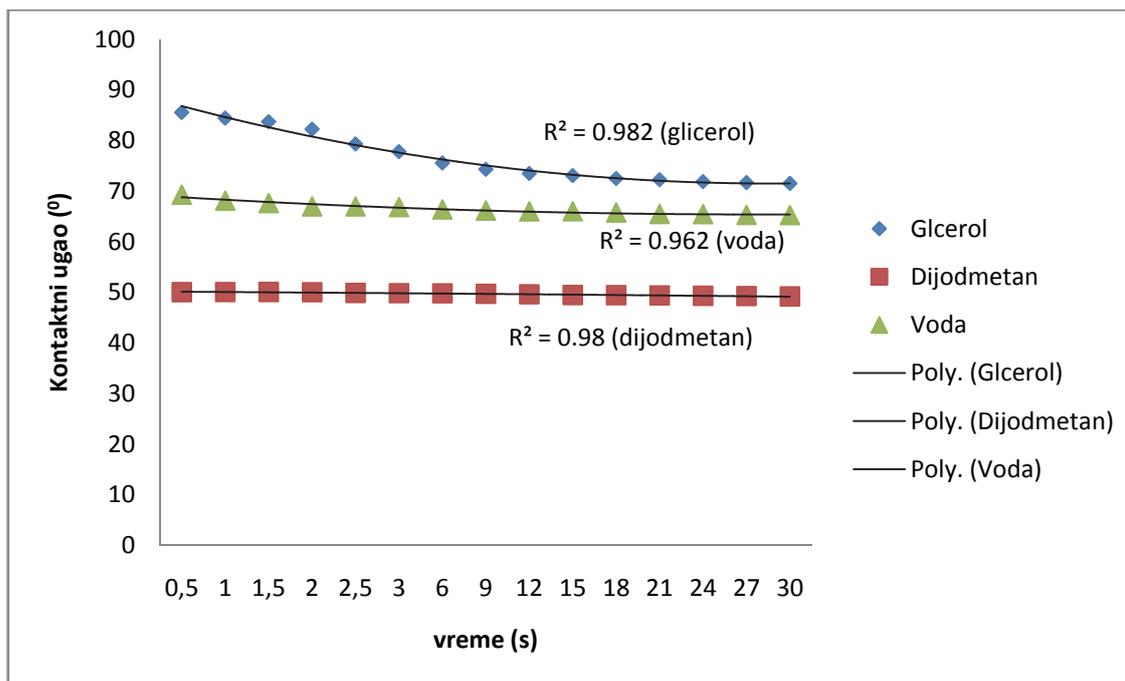
Tabela 4.36: Srednje vrednosti kontaktnog ugla za tri referentne tečnosti (štamparska forma A i štamparska forma B)

Štamparska forma A			
Vreme (s)	Glicerol	Voda	Dijodmetan
	kontaktni ugao (srednje vrednosti) (⁰)		
0.5	99.18	101.45	59.44
1	99.2	99.52	59.38
1.5	98.91	98.91	59.4
2	98.82	98.9	59.36
2.5	98.28	98.56	59.37
3	97.78	98.36	59.38
6	97.39	98.21	59.42
9	97.32	98.32	59.30
12	97.17	98.16	59.22
15	97.13	98.19	59.19
18	97.06	98.12	59.16
21	96.84	97.91	59.17
24	96.84	97.75	59.12
27	96.72	97.89	59.02
30	96.72	97.83	58.97
Štamparska forma B			
Vreme (s)	Glicerol	Voda	Dijodmetan
	kontaktni ugao (srednje vrednosti) (⁰)		
0.5	85.53	69.29	50.02
1	84.42	68.1	50.04
1.5	83.71	67.64	50.06
2	82.23	66.97	50.01
2.5	79.32	66.96	49.86
3	77.79	66.85	49.81
6	75.55	66.37	49.78
9	74.30	66.16	49.69
12	73.49	65.98	49.60
15	73.06	66.01	49.46
18	72.49	65.76	49.42
21	72.25	65.49	49.37
24	71.88	65.44	49.29
27	71.69	65.28	49.25
30	71.52	65.26	49.16



Slika 4.58: Grafički prikaz srednjih vrednosti kontaktnog ugla u funkciji vremena (tri referentne tečnosti; štamparska forma A)

Na slici 4.58. dat je grafički prikaz kontaktnog ugla u funkciji vremena za štamparsku formu A koja se razvija termalnim postupkom. Kako se sa grafika može videti, u slučaju sve tri referentne tečnosti, promena kontaktnog ugla ima opadajući karakter koji prati polinomnu funkciju drugog reda na šta ukazuju visoke vrednosti faktora R^2 . Pri tome, veće promene u kontaktnom uglu za standardne tečnosti vodu i glicerol nastaju u prve 3 sekunde. Promena u kontaktnom uglu između prvog i poslednjeg trenutka uzorkovanja iznosi za referentnu tečnost glicerol 2.46^0 (2.48%), vodu 3.62^0 (3.57%) i dijodmetan 0.47^0 (0.79%). Promena u kontaktnom uglu između treće i tridesete sekunde iznosi za referentnu tečnost glicerol 2.06^0 (2.08%), vodu 0.53^0 (0.54%) i dijodmetan 0.53^0 (0.69%). Kako je analiza statičkog kontaktnog ugla prethodno pokazala, naveće vrednosti kontaktnog ugla zabeležene su u slučaju destilovane vode, nešto manje u slučaju glicerola, a potom dijodmetana, kod koga su vrednosti kontaktnog ugla najniže.



Slika 4.59: Grafički prikaz srednjih vrednosti kontaktnog ugla u funkciji vremena (tri referentne tečnosti; štamparska forma B)

Promena vrednosti kontaktnog ugla u vremenskom periodu od 30 sekundi za štamparsku formu B predstavljena je na slici 4.59. Izvršena merenja ukazuju da je promena kontaktnog ugla polinomnog karaktera, što je potvrđeno visokim vrednostima R^2 faktora. U skladu sa prethodno izvršenom analizom statičkog kontaktnog ugla, najveće vrednosti kontaktnog ugla zabeležene su u slučaju glicerola, a nešto manje u slučaju vode i diiodmetana, respektivno. U slučaju sve tri referentne tečnosti, najveće promene u vrednosti kontaktnog ugla nastaju u prve 3 sekunde uzorkovanja. Najmanje promene kao i najniža dinamika promena u vrednosti kontaktnog ugla zabeležene su u slučaju diiodmetana: razlika između kontaktnog ugla mereno nakon 0.5 sekundi i 30 sekunde iznosi 0.86^0 (1.72%), dok razlika u vrednosti kontaktnog ugla mereno nakon 3 sekunde i nakon 30 sekundi iznosi 0.65^0 (1.3%). Najveće promene zabeležene su u slučaju glicerola: razlika između kontaktnog ugla nakon prvog i poslednjeg trenutka uzorkovanja iznosi 14.01^0 (19.59%), dok je data razlika između 3 sekunde i 30 sekundi 6.27^0 (8,06%). Za referentnu tečnost vodu, razlika u vrednosti kontaktnog ugla nakon 0.5 i nakon 30 sekundi iznosi 4.03^0 (5.82%), dok razlika nakon 3 i 30 sekundi je 1.59^0 (2.38%).

U cilju potpunijeg uvida u promenu vrednosti kontaktnog ugla u posmatranom vremenskom intervalu, izvršena je statistička obrada vrednosti kontaktnog ugla u trenutku uzorkovanja od 3 sekunde i trenutku uzorkovanja od 30 sekundi (stadijum kada dolazi do delimične stabilizacije vrednosti kontaktnog ugla i krajnji stadijum), za tri referentne tečnosti i svaku štamparsku formu pojedinačno. U tu svrhu korišten je Viloksonov test ranga (Vilkoksonov test ekvivalentnih parova ili test rangova sa

znakom) koji se primenjuje u slučaju ponovljenih merenja, u dva navrata ili pod dva različita uslova. Predstavlja neparametarsku alternativu T – testu ponovljenih merenja te se primenjuje u slučaju male veličine uzorka i/ili kada posmatrani skup podataka ne podleže normalnoj raspodeli (Pallant, 2007). Testom se rezultati prevode u rangove te porede u trenutku 1 i 2. Rezultati testa predstavljeni su u tabeli 4.37, gde je p statistički nivo značajnosti i r veličina uticaja.

Tabela 4.37: Rezultati statističke obrade podataka za vrednosti kontaktnog ugla u funkciji vremena za tri referentne tečnosti (štamarska forma A i štamarska forma B)

Statistički parametar	Glicerol A (3-30 s)	Glicerol B (3-30 s)	Voda A (3-30 s)	Voda B (3 -30 s)	Dijodmetan A (3 - 30 s)	Dijodmetan B (3 - 30 s)
Z	-2.380	-2.521	-2.524	-2.521	-1.014	-2.524
p	.017	.012	.012	.012	.310	.012
r	0.56	0.63	0.63	0.63	0.25	0.63

Prema rezultatima predstavljenim u tabeli 4.37, statistički značajna razlika (<0.05) ne postoji samo prilikom poredbe vrednosti kontaktnog ugla za štamarsku formu A i referentnu tečnost dijodmetan. Prema Koenovom kriterijumu, srednji uticaj izračunat je u slučaju štamarske forme A i referentne tečnosti dijodmetan, dok je u ostalim grupama dati uticaj veliki ($r = 0.63$ i $r = 0.56$).

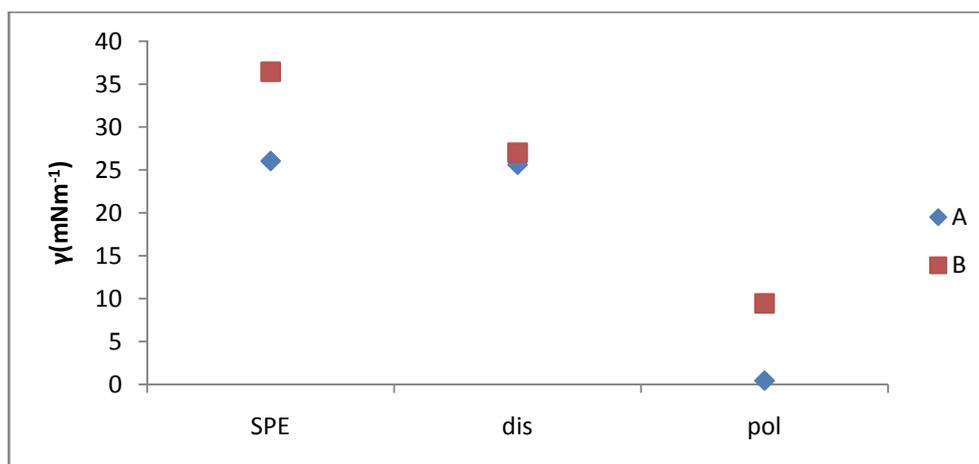
4.6.3. Rezultati proračuna slobodne površinske energije

Izračunavanje vrednosti ukupne slobodne površinske energije kao i površinske energije disperzne i polarne komponente izvršeno je na osnovu vrednosti statičkog kontaktnog ugla tri referentne tečnosti (destilovana voda, dijodmetan i glicerol) primenom OWRK metode proračuna. Izračunate vrednosti predstavljene su u tabeli 4.38.

Tabela 4.38: Vrednosti ukupne slobodne površinske energije, disperzne i polarne komponente (štamarska forma A i štamarska forma B)

Štamarska forma	Površinska energija (ukupno) (mN/m)	Površinska energija disperzne komponente (mN/m)	Površinska energija polarne komponente (mN/m)
A	26.03	25.06	0.43
B	36.44	27	9.44

Na grafiku na slici 4.60. predstavljene su ukupna površinska energija kao i njena disperzna i polarna komponenta kako za štamarsku formu A tako i štamarsku formu B. „SPE“ je oznaka ukupne površinske energije, dok je „pol“ oznaka polarne komponente a „dis“ oznaka disperzne komponente.



Slika 4.60: Grafički prikaz slobodne površinska energije, disperzne i polarne komponente (štamparska forma A i B)

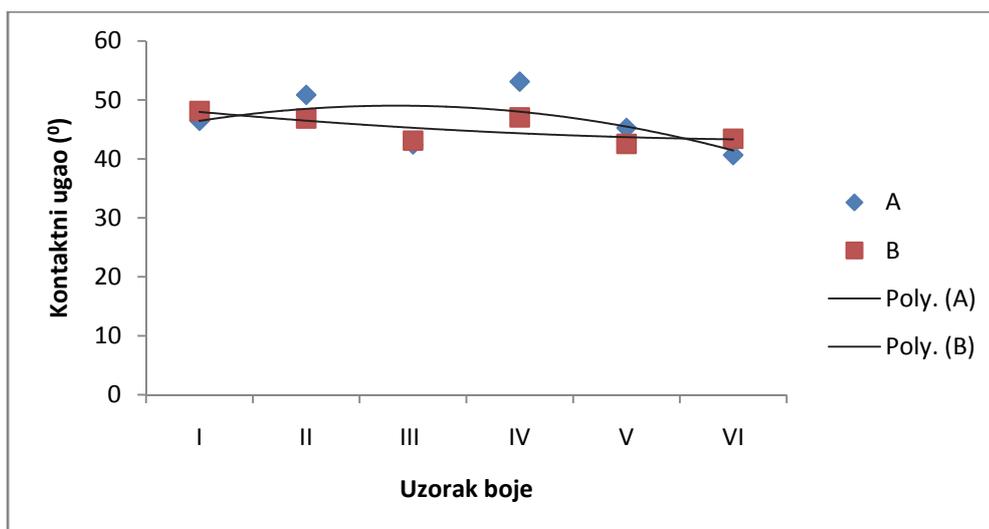
Izračunate vrednosti ukazuju da se štamparska forma B karakteriše većom ukupnom površinskom energijom. Pri tome, obe štamparske forme karakteriše manji udeo polarne komponente a veći udeo disperzne komponente. Štamparska forma A ima izrazito nisku vrednost polarne komponente.

4.6.4. Rezultati merenja kontaktnog ugla štamparske boje

Na uzorcima punog tona štamparske forme A i štamparske forme B vršena su merenja statičkog kontaktnog ugla komercijalnih uzoraka boje. U poglavlju *Karakteristike boje za štampu* data je karakterizacija korištenih uzoraka boje. U tabeli 4.39. predstavljeni su rezultati statičkog kontaktnog ugla. Pri tome, različiti uzorci boje označeni su kao I, II, III, IV, V i VI, gde uzorak I ima najveću vrednost viskoziteta, a uzorak VI najmanji viskozitet, shodno udelu rastvarača i laka u boji. Grafički prikaz srednjih vrednosti statičkog kontaktnog ugla predstavljen je na slici 4.61.

Tabela 4.39: Srednje vrednosti statičkog kontaktnog ugla za različite kompozicije štamparske boje (štamparska forma A i štamparska forma B)

Uzorak boje	Štamparska forma	Srednja vrednost kontaktnog ugla (statički) (°)	Standardna devijacija
I	A	46.48	5.28
	B	48.13	4.19
II	A	50.87	2.08
	B	46.84	3.96
III	A	42.47	4.9
	B	43.1	5.05
IV	A	53.12	1.96
	B	47.04	1.67
V	A	45.27	1.46
	B	42.54	2.42
VI	A	40.66	2.2
	B	43.42	1.71



Slika 4.61: Grafički prikaz srednje vrednosti statičkog kontaktnog ugla za uzorke boje (štamparska forma A i B)

Prema rezultatima predstavljenim na slici 4.61, vrednosti statičkog kontaktnog ugla u slučaju obe štamparske forme prate polinomnu funkciju ali opozitnog karaktera. U slučaju štamparske forme A, vrednost statičkog kontaktnog ugla sa smanjenjem vrednosti viskoziteta raste da bi nakon vrednosti viskoziteta označene kao IV ponovno opala. Za štamparsku formu B, statički kontaktni ugao opada kako se viskozitet boje smanjuje, sa izuzetkom vrednosti koja odgovara viskozitetu IV i VI, gde vrednost kontaktnog ugla blago raste u odnosu na prethodnu.

Statistička značajnost promene statičkog kontaktnog ugla između analiziranih štamparskih formi za svaku kompoziciju boje analizirana je Man – Vitnijevim U testom. Iako je utvrđena normalna raspodela vrednosti u okviru svakog od uzoraka, usled male veličine uzorka, nije odabran parametarski T test kojim bi se istovetna analiza mogla izvršiti. Potrebno je naglasiti da je T test sproveden i pokazao je iste rezultate kao i prikazani Man – Vitnijev U test. Rezultati Man – Vitnijevog testa predstavljeni su u tabeli 4.40. gde Z predstavlja iznos z-aproksimacije, p – statistička značajnost, Md - medijana i r – statistički pokazatelj veličine uticaja.

Tabela 4.40: Rezultati statističke analize statičkog kontaktnog ugla boje (Man – Vitnijev U test) za štamparsku formu A i B

statistički parametri	I	II	III	IV	V	VI
Z	-0.210	-2.310	-0.315	-3.361	-2.415	-2.521
p	0.834	0.021	0.753	0.001	0.016	0.012
Md	47.31	48.86	42.78	50.08	43.91	42.04
r	0.05	0.56	0.08	0.84	0.6	0.63

Rezultati istraživanja

Prema vrednostima predstavljenim u tabeli, statistički značajne razlike postoje između datih štamparskih formi u slučaju korištenih kompozicija boja II, IV, V i VI. Vrednost faktora r ukazuje na mali uticaj u slučaju korištenih kompozicija boje I i III, dok je za ostale kompozicije boje uticaj veliki.

5. DISKUSIJA

Prvo u nizu sprovedenih ispitivanja odnosilo se na ispitivanje uticaja vremena glavnog osvetljavanja i razvijanja na tvrdoću flekso štamparskih formi koje se razvijaju termalnim postupkom. Rezultati istraživanja su jednoznačno pokazali da nezavisno od promena u razvijanju, povećanje vremena glavnog osvetljavanja dovodi do povećanja tvrdoće štamparske forme. Za date promene se statistički gledano ne može reći da nisu značajne. Statistička analiza dobijenih vrednosti je pokazala značajan uticaj kako vremena osvetljavanja tako i primenjenog broja obrtaja pri termalnom razvijanju na promenu u tvrdoći štamparskih formi. Takođe, statističkom obradom podataka pokazano je da je mnogo veći uticaj faktora osvetljavanja nego faktora razvijanja na nastale promene u tvrdoći štamparskih formi. Međusobna značajnost interakcije vremena glavnog osvetljavanja i primenjenog broja obrtaja pri termalnom razvijanju nije utvrđena, što znači da trend promene u tvrdoći štamparskih formi uzrokovan promenom vremena glavnog osvetljavanja neće uticati na trend promene uzrokovan promenama u primenjenom broju obrtaja pri termalnom razvijanju. Statistička analiza podataka je takođe pokazala da statistički značajne razlike u tvrdoći štamparske forme se beleže ako je promena u vremenu glavnog osvetljavanja veća od 2 minuta, odnosno ako je promena u vremenu glavnog osvetljavanja 4 ili 6 minuta, gde se beleži statistički značajna razlika u srednjim vrednostima tvrdoće štamparske forme.

Ispitivanje tvrdoće štamparske forme A (termalno razvijanje) i B (razvijanje u prisustvu organskog razvijaača), koje su izrađene prema unapred utvrđenim procesnim parametrima izrade pokazano je da srednja vrednost tvrdoće odstupa od nominalne (vrednosti tvrdoće propisane od strane proizvođača) za 0.5°Sh A , odnosno 5°Sh A , respektivno. Ako se zna da tolerancija za tvrdoću štamparskih formi iznosi $\pm 2^{\circ}\text{Sh A}$ (Girard Leloup, 2002), onda se može pretpostaviti da su u slučaju štamparske forme A utvrđene vrednosti procesnih parametara izrade adekvatnije. Takođe, veća tvrdoća štamparske forme B može značiti da se na otisku može očekivati porast tonskih vrednosti od 4 – 5% (Girard Leloup, 2002) u odnosu na tonske vrednosti koje bi se dobile sa istom štamparskom formom da je razlika reprodukovane tvrdoće bila u okviru propisanog tolerantnog područja. S druge strane, štamparska forma A prema svojoj specifikaciji ima veću vrednost tvrdoće. U posmatranom slučaju, razlika u tvrdoći formi A i B iznosi 10.5°Sh A (u korist štamparske forme A). S obzirom na rezultate ranijih istraživanja (Girard Leloup, 2002, Johnson et al. 2008, Johnson 2008) koji su pokazali da tvrde štamparske forme rezultuju većim porastom tonskih vrednosti i manjom optičkom gustinom punog tona, to se može pretpostaviti da ako se date štamparske forme koriste na istom tehnološkom sistemu za štampu, sa identičnim podešavanjima, otisak dobijen sa štamparskom formom A može rezultovati većim porastom tonskih vrednosti i manjom optičkom gustinom punog tona. To svakako ne znači da je data štamparska forma lošija, to samo znači da je potrebno adekvatno uskladiti i ostale parametre proizvodnog procesa, kao što je adekvatan odabir obostrano lepljive trake pri montaži štamparske forme na cilindar nosioc, boja za štampu, aniloks valjak, podloga za

štampanje, te adekvatno izvršiti podešavanje pritiska na mašini za štampu i brzine štampe kako bi se dobio otisak zadovoljavajućeg kvaliteta.

Kada je reč o debljini analiziranih štamprskih formi, onda se može reći da, znajući da je tolerancija odstupanja od nominalne vrednosti ± 0.01 do 0.015 mm (Girard Leloup, 2002), date štamparske forme pokazuju izvanrednu stabilnost u pogledu debljine. Razlika izračunate srednje vrednosti i nominalne u slučaju štamparske forme A iznosi 0.001 mm, a u slučaju štamparske forme B 0.003 mm. Stoga se može pretpostaviti da promene na otisku u pogledu porasta tonskih vrednosti, prilikom štampe sa datim formama, ne bi bile posledice promena u njihovoj debljini. Takođe, izmerena vrednost debljine štamparske forme B ukazuje na adekvatno sušenje i sprovedenu aklimatizaciju štamparske forme.

Ispitivanje koje se odnosilo na analizu uticaja vremena trajanja predosvetljavanja i glavnog osvetljavanja na dubinu reljefa pokazalo je očekivane rezultate. Duže vreme kako predosvetljavanja tako i glavnog osvetljavanja utiče na formiranje pličeg reljefa. Uticaj vremena glavnog osvetljavanja na promenu dubine reljefa doveden je u vezu i sa promenom u primenjenom broju obrtaja pri termalnom razvijanju. Rezultati su pokazali da se veće vrednosti dubine reljefa dobijaju sa primenom većeg broja obrtaja pri termalnom razvijanju što se može objasniti time da se primenom većeg broja obrtaja ukloni i veća količina neosvetljene polimerne kompozicije sa mesta budućih neštampanih elemenata. Statistička analiza podataka ukazala je na značajnost datih promena. Pokazano je da postoji kako statistička značajnost interakcije parametara glavnog osvetljavanja i parametra razvijanja tako i značajan uticaj svakog od posmatranih parametara ponaosob na formiranu dubinu reljefa. Statistički značajan uticaj interakcije parametara glavnog osvetljavanja i parametra razvijanja ukazao je da postoji značajna razlika u uticaju vremena glavnog osvetljavanja na vrednost dubine reljefa u slučaju primene različitog broja obrtaja pri termalnom razvijanju. Pri tome, značajnije promene u dubini reljefa nastaju usled promena u vremenu glavnog osvetljavanja nego usled promena pri primeni različitog broja obrtaja pri razvijanju. Statistička analiza ukazuje da povećanje vremena glavnog osvetljavanja za 2 minuta, dovodi do značajne promene u dubini reljefa u slučaju oba primenjena broja obrtaja pri razvijanju.

Ako se žele definisati adekvatni procesni parametri izrade flekso štamparske forme neophodno je izvršiti i analizu reprodukcije linijskih elemenata. U okviru istraživanja, analiza linijskih elemenata je podrazumevala praćenje promena u širini reprodukovane linije u zavisnosti od primenjenog vremena glavnog osvetljavanja i broja obrtaja pri termalnom razvijanju. Analizom su bile obuhvaćene linije širine 0.05 i 0.07 mm (uže linije) i linije širine 0.1 i 0.3 mm. Rezultati jednoznačno pokazuju da nezavisno od primenjenog vremena glavnog osvetljavanja kao i broja obrtaja pri razvijanju, vrednosti reprodukovanih širina linija su niže od inicijalno definisanih pripremom za štampu, što bi se moglo smatrati delimično pozitivnim efektom s obzirom da je moguće da u

procesu štampe usled dejstva pritiska dođe do reprodukcije koja rezultuje širim linijskim elementom. Dobijeni rezultati takođe ukazuju da duže izlaganje dejstvu UVA zračenja pri glavnom osvetljavanju dovodi do smanjenja širine linije. No, bitno je naglasiti da je primećeno da relativni odnosi, odnosno promena širine linije na nivou promene vremena glavnog osvetljavanja od 2 minuta, ukazuje da dolazi do blagog povećanja širine linije sa povećanjem vremena glavnog osvetljavanja. Pa tako, pokazano je da u slučaju kada vreme glavnog osvetljavanja iznosi 14 minuta, vrednost širine linije je veća u odnosu na istu izmerenu za vreme glavnog osvetljavanja od 12 minuta (izuzev u slučaju linije inicijalne širine 0.3 mm i primenjenog razvijanja sa 10 obrtaja cilindra).

Praćenje reprodukcije pojedinačnog kružnog elementa oblika tačke u funkciji vremena glavnog osvetljavanja i različitog broja obrtaja pri termalnom razvijanju ukazalo je na mogućnost reprodukcije pojedinačnog kružnog elementa najmanjeg prečnika te na trend promene njegove površine. Mikroskopska analiza tačke inicijalnog prečnika od 0.1 mm (slike 4.9. i 4.10) pokazala je da adekvatna reprodukcija datog elementa nije moguća, što je bio i očekivani rezultat s obzirom da u okviru proizvođačke specifikacije za datu štamparsku formu je naglašeno da nije moguće reprodukovati kružne elemente prečnika manjeg od 0.2 mm. Stoga su vršena merenja tačaka prečnika 0.2 – 0.5 mm. Rezultati ukazuju da su promene u površini reprodukovanih tačaka takve da opadaju sa povećanjem vremena glavnog osvetljavanja, nezavisno od primenjenog broja obrtaja pri termalnom razvijanju. Međutim, bitno je primetiti da za sve posmatrane elemente vrednost površine raste u tački koja odgovara vremenu glavnog osvetljavanja od 14 minuta. Veće vrednosti površine tačke su dobijene u slučaju razvijanja sa većim obrtajem cilindra, izuzev za tačku inicijalnog prečnika 0.5 mm i vreme glavnog osvetljavanja od 10 i 14 minuta, te za tačku inicijalnog prečnika 0.2 mm i vreme glavnog osvetljavanja od 8 i 12 minuta.

Kako bi se stekla potpuna slika o uticaju vremena glavnog osvetljavanja i primenjenog razvijanja na formiranje štampajućih elemenata bilo je neophodno izvršiti analizu promene u površini pojedinačnog rasterskog elementa – rasterske tačke. Pri tome su za analizu uzete rasterske tačke tonskih polja od 8%, 30% i 50%. Rezultati pokazuju identičan trend kao i u slučaju pojedinačnih elemenata kružnog oblika: povećanje vremena glavnog osvetljavanja dovodi do smanjenja površine rasterskog elementa nezavisno od primenjenog broja obrtaja pri termalnom razvijanju. Takođe, pokazano je da vrednost površine tačke tonskih polja od 30% i 50% raste u tački koja odgovara vremenu glavnog osvetljavanja od 14 minuta. Da su promene u vremenu glavnog osvetljavanja na nivou od 2 minuta značajne za promenu površine posmatrane rasterske tačke pokazuje i statistička analiza. Statistička analiza ukazala je na značajnost interakcije dve posmatrane promenljive (vreme i obrtaji) kako i na značajan uticaj svake od njih.

Ako se zbirno pogledaju rezultati analize promena u površini, odnosno širini štampajućih elemenata, izvodi se jednoznačan zaključak: duže vreme glavnog osvetljavanja utiče na smanjenje površine rasterske tačke i kružnog elementa, odnosno na reprodukciju užeg linijskog elementa. Iako bi, prema prirodi procesa polimerizacije zaključak trebao biti upravo suprotan. Razlog tome leži u inhibiranju procesa polimerizacije usled prisustva kiseonika u okolnom vazuhu u komori u kojoj se vrši osvetljavanje štamparske forme. Kiseonik, kao jako oksidaciono sredstvo pod dejstvom UV zračenja disocira u slobodne atome (fotodisocijacija). Slobodni atomi mogu se vezati za molekul kiseonika pri čemu nastaje ozon (O_3) koji je po svojoj oksidacionoj moći na drugom mestu (Arsenijević, 2001). Oksidaciona moć ozona se opet zasniva na oslobađanju jednog atoma kiseonika. Kiseonik, kao gas, ne može opstati u atomskom obliku jer njegovo stabilno stanje je oblik dvoatomnih molekula. Stoga nastali atomi O, bilo disocijacijom kiseonika bilo oslobađanjem od strane ozona, kako bi prešli u stabilan oblik adiraju se na monomer ili fotoinicijator te razbijaju njegove funkcionalne grupe (dvostruke i trostruke veze) i time onemogućavaju funkciju fotoinicijatora i dovode do terminacije ili usporavanja polimerizacije. Stoga se može pretpostaviti da razlog dobijenog trenda promene površine rasterskih elemenata upravo leži u ovome. Što vreme osvetljavanja raste, to je veća izloženost dejstvu atomskog oblika kiseonika, stoga veća verovatnoća njegovog negativnog dejstva na fotoinicijator i monomer. S jedne strane ovaj efekat se može smatrati pozitivnim, jer niža tonska vrednost na štamparskoj formi može kompenzovati porast tonskih vrednosti na otisku, a opet s druge strane rezultat datog efekta se može ogledati u nepostojanju rasterskih tačaka u oblasti niske tonske vrednosti.

U cilju sveobuhvatne analize reprodukcije štampajućih elemenata na flekso štamparskim formama u okviru sprovedenog istraživanja izvršena je i kvalitativna analiza mikroskopskih snimaka reprodukovanih tonskih vrednosti, linijskih i tekstualnih elemenata (pozitiv i negativ) na ispitivanim štamparskim formama, A i B koje su izrađene prema unapred utvrđenim procesnim parametrima izrade. Mikroskopski snimci omogućavaju izlazne informacije koje su morfološkog karaktera, odnosno analizu topografije posmatrane površine, strukture površine, nehomogenosti i defekata strukture te su se u okviru sprovedenog istraživanja pokazale kao izuzetno pogodan metod za karakterizaciju reprodukcije štampajućih elemenata. Takođe, dobijeni mikroskopski snimci imaju karakterističan trodimenzionalni izgled što je omogućilo bolje razumevanje i posmatranje površine uzorka.

Na slikama 4.20 – 4.24. i 4.33 – 4.37. predstavljeni su mikroskopski snimci polja tonskih vrednosti od 1%, 5%, 50%, 75% i 98% za štamparsku formu A i B, respektivno. Data polja odabrana su za analizu s ciljem utvrđivanja pravilnosti formiranih rasterskih tačaka u svetlim delovima, srednjim tonovima i tamnim partijama. Krajnji cilj adekvatne reprodukcije štampajućih elemenata na štamparskoj formi jeste dobijanje otiska odgovarajućeg kvaliteta, što nije moguće postići ako nije postignuta adekvatna reprodukcija tonskih vrednosti duž celog tonskog opsega (1% -

98%). U slučaju da ne postoje adekvatno formirani štampajuć elementi u niskim tonskim partijama (1% - 10%), visokim tonskim partijama (90% – 98%) ili pak srednjim tonovima (40% - 75%), ne može se očekivati ni da će dati elementi biti adekvatno reprodukovani na otisku. Na osnovu predstavljenih mikroskopskih snimaka, jasno se vidi da je kod obe analizirane štamparske forme rasterska tačka na polju od 1% i 5% adekvatno reprodukovana, sa stabilnim telom rasterskog elementa oblika kupe koji je čvrsto vezan za noseću osnovu. Takođe, fotopolimer sa mesta neštampajućih elemenata je uklonjen, odnosno između rasterskih tačaka na posmatranim poljima nema zaostalog polimera. U suprotnom, zaostali polimer bi mogao predstavljati štampajuć element u procesu otiskivanja i time remetiti adekvatnu reprodukciju. Rasterske tačke su pravilno raspoređene, na istim jasno definisanim rastojanjima, što odgovara primenjenom klasičnom rastriranju (od 50 lin/cm). Stoga se može pretpostaviti da će se na otisku niski tonovi adekvatno reprodukovati. U pogledu reprodukcije tonskih vrednosti od 50% i 75%, kod obe štamparske forme, primećuje se da je rasterski element jasno reprodukovan kao i da je neosvetljeni polimer u potpunosti uklonjen, s obzirom da na mikroskopskim snimcima nema uočljivih ostataka neuklonjenog polimera između rasterskih tačaka. Što su tonske vrednosti veće, to je adekvatno razvijanje (odnosno uklanjanje polimera) od izuzetne važnosti, s obzirom da bi i mali zaostaci polimera u mnogome doprineli povećanju tonske vrednosti jer bi se njihova polimerizacija (delimična ili potpuna, u zavisnosti od veličine) izvršila u fazi naknadnog osvetljavanja čime bi se doprinelo povećanju tonske vrednosti, kao i nepravilnom obliku rasterskog elementa što bi imalo direktan negativan uticaj na krajnji kvalitet otiska. Ako se posmatra sama površina rasterskog elementa primećuje se da nema idealno kružni oblik što je posledica inhibicije polimerizacije kiseonikom. Dati efekat je jasno uočljiv na rasterskoj tački polja tonske vrednosti od 5%. Prema priloženim mikroskopskim snimcima polja iz oblasti srednjih tonskih vrednosti može se pretpostaviti da će u procesu štampe reprodukcija istih biti adekvatna te da neće doći do smanjenja kontrasta na slici niti reprodukcije tamnijeg otiska. Analiza tonskog polja od 98% je od izuzetne važnosti ako se želi ukazati na mogućnost reprodukcije detalja u oblasti senke. Naime, ukoliko je polje od 98% zapušeno, ono praktično prelazi u polje punog tona, te ako je potrebno na otisku reprodukovati sitne detalje u oblasti senke, to neće biti moguće, čime su gubi na oštini otiska i reprodukciji finih detalja. Prema mikroskopskim snimcima polja od 98% tonske vrednosti jasno se vidi da, u slučaju obe štamparske forme, data polja imaju jasno formiranu rastersku tačku, odnosno tonsko polje nije zatvoreno. Procesom razvijanja polimer je uklonjen u prostoru između rasterskih elemenata, što je od izuzetne važnosti s obzirom da neadekvatno uklanjanje polimera direktno vodi ka formiranju polja punog tona. Na osnovu izloženog, može se pretpostaviti da će u toku procesa otiskivanja reprodukcija detalja u oblasti senke biti adekvatna.

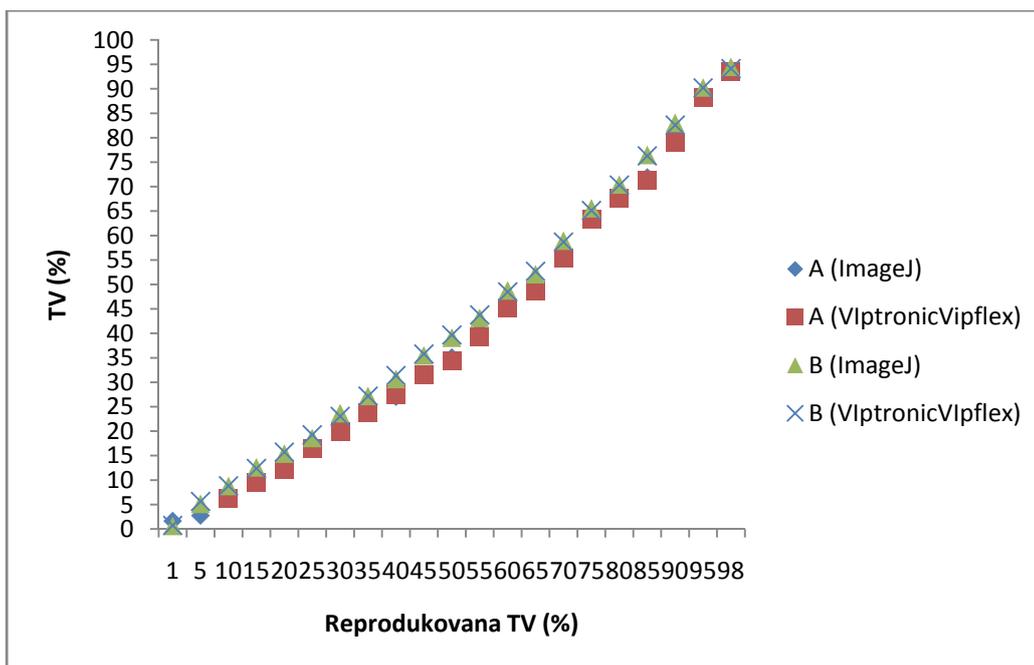
Pored praćenja tonskih vrednosti, ispitivanje reprodukcije linijskih elemenata je od izuzetne važnosti. Ako je reprodukcija linijskog elementa čija širina je manja od 0.1 mm omogućena, onda i reprodukcija elemenata koji imaju veću širinu neće biti upitna. Stoga je prilikom SEM mikroskopske analize upravo izvršeno praćenje reprodukcije linijskog elementa širine 0.05 mm kako u pozitivu tako i u negativu za obe analizirane štamparske forme. Na osnovu mikroskopskih snimaka linije u pozitivu, u slučaju obe ispitivane štamparske forme, može se videti da je postignuta adekvatna reprodukcija. Linijski element ima stabilno formirano telo te jasno reprodukovane, ravne ivice gornje, štampajuće površine. Nepravilnosti u reprodukciji kao što je krzava ili iskrivljena ivica štampajućeg, gornjeg dela elementa ili nepravilan oblik i nestabilno vezan za osnovu donji deo štampajućeg elementa nisu uočene. Stoga se može pretpostaviti da će u procesu štampe linijski elementi u pozitivu širine 0.05 mm i veće biti jasno reprodukovani i na otisku u slučaju obe štamparske forme. Za adekvatnu reprodukciju linije u negativu važno je da u procesu razvijanja bude omogućeno potpuno uklanjanje polimera duž cele linije kako bi se formirao usek, odnosno procep između površina koje predstavljaju štampajuće elemente. Naime, kod linije u negativu područje koje će biti budući štampajući element jeste upravo ono koje okružuje formirani usek. Stoga, ako polimer nije u potpunosti uklonjen, postaće štampajući element što će na otisku rezultovati reprodukcijom linije nepravilnih ivica ili koja je na određenim delovima prekinuta ili nije uopšte reprodukovana. Na osnovu priloženih mikroskopskih snimaka, vidi se da je polimer u potpunosti uklonjen sa mesta budućih neštampajućih elemenata, u slučaju obe štamparske forme. Takođe, ivice linija su jasno reprodukovane, ravne, bez uočenih nepravilnosti oblika, te se može pretpostaviti da će, u slučaju obe analizirane štamparske forme, u procesu štampe biti omogućena adekvatna reprodukcija linija u negativu širine ≥ 0.05 mm.

Karakterizacija reprodukcije tekstualnih elemenata izvršena je na osnovu mikroskopskih snimaka dobijenih sa optičkim mikroskopom. Reprodukcija tekstualnog elementa se sa jedne strane može poistovetiti sa reprodukcijom linijskog elementa, odnosno na osnovu reprodukcije pojedinačnog linijskog elementa može se pretpostaviti kvalitet reprodukcije i tekstualnog elementa, s obzirom da se slovni znak sastoji iz linija različitih oblika. Ali ovakav pristup analizi mogao bi dovesti do pogrešnih zaključaka s obzirom da određene slovne znake ne karakterišu samo ravne već i oble forme. S druge strane, u zavisnosti od primenjene veličine slovnih karaktera (izraženo u tipografskim tačkama), zavisi i veličina svakog pojedinačnog slovnog znaka, koja je promenljiva duž tela slovnog znaka (što je posebno izraženo kod serifnih fontova). Takođe, veoma bitna karakteristika jeste i međusobni razmak između slovnih znakova, koji je promenljiv i proporcionalan upotrebljenoj veličini slovnog znaka. Stoga je u okviru sprovedenog istraživanja posebno izvršena analiza reprodukcije tekstualnih elemenata u pozitivu i negativu veličine 1 pt, 2 pt i 3 pt. Pri tome su u obzir uzeti bezserifni (Helvetica Bold) i serifni (Times New Roman Bold) font. Jasnija i oštija reprodukcija tekstualnih elemenata zabeležena je kod štamparske forme A, kako kod

teksta u pozitivu tako i kod teksta u negativu. Kada je reč o tekstu reprodukovanom u pozitivu, nepravilnosti u reprodukciji uočene su kod teksta veličine 1 tipografske tačke, gde svi slovni znaci nisu jasno reprodukovani (slike 4.27. – štamparska forma A i 4.39. – štamparska forma B). Kod obe štamparske forme oštrina reprodukcije je narušena kod slovni znakova oblikih formi, a takođe je primećeno spajanje slovni znakova na mestima gde to nije predviđeno. Sa povećanjem veličine slovnog znaka, jasnoća i oštrina reprodukcije rastu. Slovni znakovi veličine 2 i 3 tipografske tačke su jasno formirani, sa pravilno oblikovanim ivicama i jasno razdvojeni kod obe štamparske forme. Stoga se može pretpostaviti da na otisku neće biti adekvatno reprodukovan tekst veličine 1 tipografske tačke u pozitivu. Adekvatna reprodukcija će se postići ako slovni znaci imaju veličinu ≥ 2 pt, u slučaju obe analizirane štamparske forme. Kada je reč o reprodukciji teksta u negativu, kod štamparske forme A nepravilnosti u obliku slovnog znaka i nejasnoj reprodukciji su uočene u slučaju tekstualnih elemenata veličine 1 pt (slika 4.30.), dok kod štamparske forme B nepravilnosti u reprodukciji u pogledu nepravilnosti oblika i spojenih slova su uočene kod tekstualnih elemenata veličine 1 i 2 pt (slike 4.42. i 4.43.). Prema tome može se pretpostaviti da, u slučaju štamparske forma A, reprodukcija na otisku teksta u negativu biće omogućena ako slovni znak ima veličinu ≥ 2 pt, dok kod štamparske forme B veličina slovnog znaka mora da iznosi ≥ 3 pt, ako se želi postići oštra i jasna reprodukcija.

Pored kvalitativne analize, izvršena je i kvantitativna analiza štampajućih elemenata kako za štamparsku formu A tako i za štamparsku formu B. Data analiza je podrazumevala analizu tonskih vrednosti od 1%, 5% - 95% (sa korakom od 5%) i 98%, te linijskih elemenata u pozitivu i negativu širine 0.01 mm, 0.1 – 0.5 mm (sa korakom od 0.1 mm). U okviru rezultata istraživanja predstavljene su srednje vrednosti TV% dobijene na osnovu obrade mikroskopskih snimaka odgovarajućih tonskih polja dobijenih Vipflex 2 uređajem u softveru za digitalnu obradu i analizu slike ImageJ. Iako dati uređaj ima mogućnost direktnog očitavanja tonske vrednosti, u zavisnosti od strukture površine flekso štamparske forme koja se ispituje, te njene boje (odnosno boje fotopolimera) i kompatibilnosti sa bojom svetlosnog izvora u samom uređaju, nekada nije moguće izvršiti očitavanja niskih (1 – 10%) i visokih tonskih vrednosti (90 – 98%). Upravo ovaj problem je nastao prilikom ispitivanja štamparske forme A koju karakteriše mat, više hrapava površina i svetlo roza boja polimera. Naime, direktno očitavanje nije bilo moguće za tonske vrednosti od 1% i 5%. Dati problem nije detektovan kod ispitivanja štamparske forme B, koja ima manje hrapavu i sjajnu površinu te tamno roze boju polimera. Nesumnjivo da nemogućnost merenja tonskih vrednosti od 1% i 5% nije posledica nepostojanja rasterskih elemenata na datim poljima (što je potvrđeno SEM mikroskopskim snimcima) već isključivo nekompatibilnošću mernog uređaja i ispitivane štamparske forme prilikom analize niskih tonskih vrednosti. Stoga je i primenjen metod merenja tonskih vrednosti primenom softvera ImageJ na osnovu mikroskopskih snimaka dobijenih uređajem Vipflex 2. S ciljem potvrde validnosti metoda, izvršena je uporedna analiza rezultata tonskih vrednosti dobijenih

direktnim očitavanjem sa datim uređajem i rezultata tonskih vrednosti dobijenih obradom mikroskopskih snimaka u softveru Image J. Analiza je izvršena u slučaju obe štamparske forme. Pokazano je da se apsolutne razlike u tonskim vrednostima dobijenih prvom, odnosno drugom metodom, kod štamparske forme A kreću između 0.17 % i 1.46%, a kod štamparske forme B između 0.07% i 0.75%, u zavisnosti od posmatranog tonskog polja, što pokazuje mogućnost primene metode obrade slike u softveru Image J za određivanje TV u slučaju kada se merenja ne mogu direktno izvršiti (slika 5.1). Predloženi merni metod može biti lako primenljiv i u slučaju Samba rastriranja s obzirom da merni uređaji koji inicialno su namenjeni merenju tonske vrednosti i u slučaju ove vrste rastriranja često pokazuju nemogućnost izvođenja istog.



Slika 5.1: Uporedna analiza metoda merenja za štamparske forme A i B; metod direktnog merenja tonskih vrednosti sa opto – elektronskim uređajem (Viptronic Vipflex 2) i metod obrade slike u softveru ImageJ

Rezultati reprodukcije tonskih vrednosti pokazali su da u slučaju obe ispitivane štamparske forme vrednosti prate polinomnu funkciju drugog reda. S obzirom da se zna da je prilikom izrade štamparskih formi primenjena bump up kriva na 7%, te da u procesu štampe dolazi do porasta tonskih vrednosti, ovakva reprodukcija je bila i očekivana. Redukcija tonskih vrednosti, naročito u oblasti tonskih vrednosti od 15% do 60% je opravdana očekivanim porastom tonskih vrednosti na otisku. Naime, u okviru standarda ISO 12647 – 6: 2006 (standard koji se odnosi na otiske dobijene tehnikom flekso štampe) definisan je očekivani porast tonskih vrednosti (tabela 5.1.) u zavisnosti od podloge na koju se štampa. Veće vrednosti porasta su u slučaju štampe na premaznim papirima, filmovima i folijama što je i očekivano s obzirom da se u slučaju štampe na ovim podlogama primenjuje veća linijatura rastera, do 60 l/cm (ISO 12647 –

6: 2006) kao i plicí reljef štamparske forme kako bi se postigla reprodukcija finih detalja (DFTA, 2000, Kiphann, 2001).

Tabela 5.1.: Očekivani porast tonskih vrednosti na otisku (ISO 12647 – 6: 2006)

TV(%)	Podloga za štampu							
	Talasasta lepenka		Nepremazni papir		Premazni papir		Filmovi i folije	
	Porast tonske vrednosti (%)	Maksialna vrednost tonskog polja (%)	Porast tonske vrednosti (%)	Maksialna vrednost tonskog polja (%)	Porast tonske vrednosti (%)	Maksialna vrednost tonskog polja (%)	Porast tonske vrednosti (%)	Maksialna vrednost tonskog polja (%)
10	17	27	12	22	15	25	18	28
15	21	36	15	30	18	33	28	33
25	26	51	20	45	23	48	31	56
40	26	66	24	64	25	65	36	76
50	24	74	23	73	23	73	34	84
60	20	80	20	80	20	80	30	90
75	15	90	15	90	15	90	20	95
85	10	95	10	95	10	95	12	97

Vrednosti se odnose na procesne boje cijan, magentu i crnu. Za procesnu boju žutu vrednosti mogu biti do 2% niže.

Porast tonskih vrednosti u flekso štampi na prvom mestu zavisi od interakcije tri elementa: boje, štamparske forme i podloge za štampu. U zavisnosti od toga koji materijal se štampa, sa kojom štamparskom formom i na kojoj mašini, porast tonskih vrednosti može biti manji ili veći. Stoga vrednosti koje su date u tabeli 5.1. treba uzeti kao polaznu referencu, gde za svaki realan proizvodni sistem treba izvršiti prilagođavanja i merenja tonskih vrednosti (prema standardu ISO 12647 - 1) kako bi se postigla adekvatna reprodukcija na otisku (Standard ISO 12647 – 6: 2006). Kako se sprovedeno eksperimentalno istraživanje isključivo odnosilo na reprodukciju štampajućih elemenata na štamparskoj formi, to ispitivanja reprodukovane tonske vrednosti na otisku nisu vršena.

Adekvatna reprodukcija linijskih elemenata u pozitivu i u negativu, kod obe štamparske forme, potvrđena je rezultatima merenja njihove širine u softveru PrefectEye. Kako širina reprodukovane linije raste, to je veća tačnost reprodukcije. Prema prikazanim rezultatima merenja, linije u pozitivu u slučaju štamparske forme B, reprodukovane su u gotovo idealnom odnosu (1:1). U slučaju štamparske forme A, reprodukovane vrednosti nešto su veće od zadatih u slučaju svih linija. U pogledu reprodukovanih linija u negativu, u slučaju obe štamparske forme, reprodukovane linije su nešto šire od inicijalno zadatih vrednosti a date razlike ne prelaze 0.04 mm.

Takođe, adekvatnost reprodukcije pojedinačnog elementa oblika kruga ispitivana je preko merenja njihove površine u softveru PerfectEye. Prema dobijenim rezultatima, u slučaju štamparske forme A nije bilo moguće reprodukovati tačku prečnika 0.1 mm. Nezavisno od inicijalno definisanog prečnika tačke, u slučaju štamparske forme B, reprodukovane tačke imaju manju površinu. Takođe, u slučaju obe štamparske forme površina reprodukovane tačke je manja od idealne vrednosti. Primećeno je da sa povećanjem prečnika tačke, povećava se i preciznost reprodukcije (teži ka reprodukciji 1:1).

Pored kvantitativne i kvalitativne analize rasterskih, linijskih i tekstualnih elemenata na posmatranim štamparskim formama izvršena je i karakterizacija strukture površine polja punog tona. Analiza je vršena na polju punog tona iz dva razloga. Naime, s obzirom da su vršena profilometrijska merenja kontaktnom metodom, bilo je potrebno da analizirana površina ima dovoljno veliku, homogenu strukturu, kako bi se merenja mogla adekvatno sprovesti. S druge strane, polje punog tona se direktno reflektuje kako na linijske i tekstualne elemente, tako i na same rasterske tačke, kao štampajuće elemente. Datom analizom dobijeni su relevantni podaci na osnovu kojih se može predvideti ponašanje površine u toku eksploatacije.

Prva analiza odnosila se na analizu amplitudnih parametara hrapavosti R_a , R_q , R_z , R_p i R_v na štamparskim formama A kod kojih je varirano vreme glavnog osvetljavanja i razvijanja (odnosno broj obrtaja cilindra prilikom termalnog razvijanja) kako bi se utvrdilo postojanje promena u površinskoj hrapavosti usled različitih uslova izrade. Primenjenim parametrijskim statističkim tehnikama za poređenje grupa (T (Studentov) test nezavisnih uzoraka i jednofaktorska analiza varijanse, odnosno jednofaktorska ANOVA različitih grupa sa naknadnim testovima) ukazano je na značajnost promene praćenih parametara u slučaju različitog vremena glavnog osvetljavanja i razvijanja. Jednofaktorskom analizom varijanse izražen je uticaj vremena glavnog osvetljavanja u slučaju razvijanja sa 8 i 10 obrtaja cilindra na vrednosti amplitudnih parametara hrapavosti R_a , R_q , R_z i R_p . Utvrđena je statistički značajna razlika na nivou $p < 0.05$ u slučaju sva četiri analizirana parametra hrapavosti (statistička značajnost 0.000) u slučaju razvijanja kako sa 8 tako i sa 10 obrtaja cilindra. Naknadni Tukeyev HSD test pokazao je da, u slučaju razvijanja sa 8 obrtaja cilindra, statistički se značajno razlikuju vrednosti amplitudnih parametara hrapavosti R_a , R_q i R_v u slučaju kada vreme osvetljavanja iznosi 8 minuta u odnosu na vrednosti pomenutih parametara kada je vreme glavnog osvetljavanja 10, 12 i 14 minuta. Za parametar R_z statistički značajne razlike postoje između vrednosti zabeleženih pri vremenu glavnog osvetljavanja od 8 minuta u odnosu na vrednosti zabeležene pri vremenu glavnog osvetljavanja od 10, odnosno 12 minuta. Statistički značajne razlike u slučaju parametra R_p postoje samo između vrednosti izmerenih pri vremenu glavnog osvetljavanja od 8 minuta u odnosu na vrednosti kada vreme glavnog osvetljavanja iznosi 10 minuta. U slučaju razvijanja sa 10 obrtaja cilindra, statistički značajna razlika srednjih vrednosti amplitudnih parametara hrapavosti R_a i R_q izmerena je u slučaju vremena glavnog osvetljavanja od 8 i 10 minuta u odnosu na vremena glavnog osvetljavanja od 12 i 14 minuta. U slučaju parametra R_z i R_p statistički značajne razlike postoje između srednjih vrednosti zabeleženih u slučaju kada vreme glavnog osvetljavanja iznosi 8 minuta u odnosu na vreme glavnog osvetljavanja od 10 minuta, odnosno između vrednosti dobijenih u slučaju kada vreme glavnog osvetljavanja iznosi 12 minuta u odnosu na vrednosti pri glavnom osvetljavanju od 10 i 14 minuta. U slučaju parametra R_z , statistički značajne razlike postoje između vrednosti izmerenih u slučaju vremena glavnog osvetljavanja od 8 minuta u odnosu na vrednosti u slučaju glavnog osvetljavanja od 12 i 14 minuta, te između vrednosti pri glavnom osvetljavanju od 10 minuta u odnosu na vrednosti pri glavnom osvetljavanju od 12 minuta. T testom nezavisnih uzoraka upoređeni su rezultati amplitudnih parametara hrapavosti u slučaju

različitih primenjenih broja obrtaja prilikom termalnog razvijanja. Pri tome nije utvrđena statistički značajna razlika u amplitudnim parametrima hrapavosti prilikom razvijanja sa 8 i 10 obrtaja cilindra, jedino u slučaju vremena glavnog osvetljavanja od 10 minuta (sa izuzetkom parametra R_v) i u slučaju vremena glavnog osvetljavanja od 14 minuta i parametara hrapavosti R_z i R_p . Datim testovima je pokazano da vreme glavnog osvetljavanja, pored uticaja na reprodukciju tonskih vrednosti, linijskih i tekstualnih elemenata, ima značajan uticaj na površinsku strukturu, odnosno površinsku hrapavost flekso štamparske forme, kao i analizirani broj obrtaja cilindra.

Druga analiza amplitudnih parametara hrapavosti odnosila se na uporednu analizu amplitudnih parametara hrapavosti kod štamparske forme A i štamparske forme B, sa unapred usvojenim i jednoznačnim parametrima izrade. Ovo istraživanje je prvenstveno imalo za cilj da ukaže na značajnost u razlici površinskih karaktersitka flekso štamparskih formi koje se koriste u različitim postupcima razvijanja. Kvantitativna analiza amplitudnih parametara primenom T – testa ukazala je na izuzetno veliku značajnost razlike amplitudnih parametara hrapavosti (statistička značajnost 0.000 i eta kvadrat 0.14). Time je pokazano da različita struktura fotopolimera kao i različiti postupci procesne obrade igraju značajnu ulogu na formiranje strukture površine polja punog tona flekso štamparskih formi. Pri tome je pokazano da štamparska forma A ima veću površinsku hrapavost.

U cilju sveobuhvatne karakterizacije ispitivanih flekso štamparskih formi, vršeno je i određivanje slobodne površinske energije. Pri tome je prvobitno određen statički kontaktni ugao pri čemu su korištene tri referentne tečnosti poznatih udela polarne i nepolarne komponente: voda, dijodmetan i glicerol.

Rezultati merenja statičkog kontaktnog ugla kao i rezultati naknadne statističke analize neparametrijskim tehnikama (Man – Vitnjevim U testom i Kruskal Volisaovim H testom) pokazali su da vrednosti kontaktnog ugla u slučaju istih referentnih tečnosti a različitih štamparskih formi imaju značajne razlike što ukazuje na različito ponašanje datih štamparskih formi u procesu štampe.

Niže vrednosti kontaktnog ugla u slučaju štamparske forme B u odnosu na štamparsku formu A ukazuju da štamparska forma B ima bolja svojstva kvašenja. Rezultati slobodne površinske energije pokazuju da štamparska forma A ima manju ukupnu površinsku energiju. Obe posmatrane štamparske forme imaju mali udeo polarne komponente, gde štamparska forma B ima nešto veći udeo polarne komponente, dok je udeo disperzne komponente kod obe štamparske forme brojčano veoma sličan. Stoga, moglo bi se reći da obe štamparske forme imaju afinitet ka nepolarnim supstancama, gde će vrednosti formiranog kontaktnog ugla između nepolarne tečnosti i čvrste površine flekso štamparske forme biti niže. Data pretpostavka je potvrđena nižim vrednostima statičkog kontaktnog ugla u slučaju dijodmetana, kao izuzetno nepolarne tečnosti, u odnosu na mnogo veće vrednosti statičkog kontaktnog ugla u slučaju vode, kao izuzetno polarne. S obzirom na postojanje većeg udela polarne faze u slučaju štamparske forme B, niže vrednosti kontaktnog ugla polarne tečnosti su opravdano niže nego u slučaju štamparske forme A. Ako se dati rezultati posmatraju iz ugla flekso štamparskih boja,

onda se može pretpostaviti da će se kod obe štamparske forme postići bolje kvašenje površine ako se koriste boje koje se karakterišu većim udelom disperzne komponente. Takođe, u slučaju da se štampa vrši bojama na bazi vode kao izrazito polarne supstance, to će bolje kvašenje forme biti postignuto u slučaju štamparske forme B, koja bi u odnosu na štamparsku formu A bila pogodniji izbor. Ako se rezultati kontaktnog ugla posmatraju u svetlu rezultata površinske hrapavosti, onda se može pretpostaviti da je u slučaju analiziranih polimernih površina zavisnost vrednosti statičkog kontaktnog ugla i površinske hrapavosti direktno proporcionalna (nezavisno od primenjene referentne tečnosti, veće vrednosti kontaktnog ugla beleže se na štamparskoj formi koja ima veću vrednost površinske hrapavosti).

Analiza vrednosti kontaktnog ugla u funkciji vremena pokazala je da je promena vrednosti kontaktnog ugla u funkciji vremena opisana opadajućom polinomnom funkcijom. Analiza dinamike promene ukazala je na nisku promenu vrednosti kontaktnog ugla u funkciji vremena. Iako vrednosti kontaktnog ugla u slučaju obe štamparske forme opadaju u funkciji vremena, može se reći da su vrednosti kontaktnog ugla u slučaju štamparske forme B više vremenski zavisne nego u slučaju štamparske forme A. Pokazano je da je u slučaju primene dijodmetana vrednost kontaktnog ugla gotovo nepromenljiv u funkciji vremena. Znajući da su flekso štamparske forme organske supstance i da imaju veći udeo disperzne komponente slobodne površinske energije, to se može smatrati razlogom zašto je mali uticaj vremena merenja na vrednosti kontaktnog ugla u interakciji sa tečnostima koje imaju isti karakter (dijodmetan) ili opozitan karakter (voda). To se može pretpostaviti i razlogom zašto u slučaju primene datih tečnosti potrebno relativno kratko vreme za postizanje stabilizacije kontaktnog ugla. S druge strane, glicerol ima gotovo isti udeo polarne i disperzne komponente slobodne površinske energije, kao i najveću vrednost viskoziteta od svih korištenih tečnosti, što opravdava postizanje stabilizacije vrednosti kontaktnog ugla nakon relativno dužeg vremenskog perioda. Ako se uzmu u obzir sve tri korištene referentne tečnosti, može se reći da se stabilizacija kontaktnog ugla postiže nakon vremena od tri sekunde. Sudeći prema statističkoj analizi Vilkoksonovim testom ranga, promene u kontaktnom uglu između treće i tridesete sekunde (poslednjeg trenutka uzorkovanja) su statistički značajne izuzev u slučaju referentne tečnosti dijodmetan na štamparskoj formi A.

Analiza statičkog kontaktnog ugla za korištene kompozicije boje, kako je bilo i očekivano, pokazala je da viskozitet boje ima bitan uticaj na vrednost kontaktnog ugla. Potvrđeno je da štamparska forma veće hrapavosti površine ima i veće vrednosti kontaktnog ugla. Promena vrednosti kontaktnog ugla u funkciji viskoziteta je kod obe štamparske forme polinomnog karaktera s tim što kod štamparske forme A vrednosti kontaktnog ugla sa smanjenjem viskoziteta prvobitno rastu a potom se smanjuju, dok kod štamparske forme B vrednosti kontaktnog ugla sa smanjenjem viskoziteta opadaju. Vrednost kontaktnog ugla se očekuje i da zavisi od viskoziteta boje, te s obzirom da se smanjenje viskoziteta boje postiže dodavanjem rastvarača baziranih na organskim alkoholima (polarnim supstancama), to se očekuje da se sa smanjenjem viskoziteta kontaktni ugao smanjuje.

6. ZAKLJUČCI

Upotrebna funkcija flekso štamparskih formi je u prvom redu određena kroz adekvatno definisanje parametara izrade same štamparske forme gde se u prvom redu izdvaja definisanje vremena trajanja svih procesnih faza izrade uz postizanje brže izade flekso štamparske forme kako bi se obezbedila visoka produktivnost s jedne strane te optimalan kvalitet izrade i funkcionalnost s druge strane. Dati parametri moraju biti u skladu kako sa odabranim tipom štamparske forme tako i sa njenom kasnijom namenom, u skladu sa podlogom koja se želi štampati kao i u skladu sa kompleksnošću elemenata koji se štampaju. Eksperimentalni put koji čine niz testova predviđenih za definisanje procesnih parametara izrade predstavlja jedini način iznalaženja usaglašenog procesa koji će kasnije biti ponovljiv na sistemima iste konfiguracije. Znanje o nivou uticaja svakog od parametara, te njihove međusobne interakcije predstavljaju ključne elemente koji omogućavaju predviđanje reprodukcije štampajućih elemenata na flekso štamparskim formama.

Eksperimentalni deo istraživanja je bio fokusiran na karakterizaciju modela procesne izrade flekso štamparske forme. Razvojem modela procesne analize parametara izrade flekso štamparske forme može se značajno unaprediti proces dobijanja kvalitetnog i pouzdanog rešenja štamparske forme. Definisanje ponovljivih i tačnih parametara izrade postiže se konstantnost u dobijenom krajnjem kvalitetu što predstavlja prvi korak ka neophodnoj optimizaciji i ponovljivosti procesa.

Kod tačne i kvalitetne reprodukcije štampajućih elemenata neophodno je definisati odgovarajući odnos procesnih parametara izrade kako bi se omogućila egzaktna kontrola samog procesa reprodukcije u grafičkom radnom toku. Karakterizacija procesnih parametara izrade flekso štamparske forme predstavlja kompleksan sistem gde do izražaja dolaze određene karakteristike ne samo štamparske forme već i upotrebne boje i substrata koji se štampa. Definisanjem, merenjem i kvantifikovanjem procesnih parametara izrade, topografije površine (površinske hrapavosti), slobodne površinske energije u korelaciji sa kontaktnim uglom boje omogućava se postavljanje referentnih veličina za definisanje modela izrade i predviđanja kasnijeg ponašanja štamparske forme u postupku otiskivanja. Egzaktno definisanje pomenutih veličina stvara uslov za precizno i tačno određivanje celokupnog seta parametara u pripremi i izradi flekso štamparske forme što definiše i krajni kvalitet dobijenog otiska.

Karakterizacija strukture štampajućih elemenata flekso štamparske forme kroz definisanje samog formiranja štampajućeg elementa kao i definisanje njihove površinske strukture izvršena je kako metodama koje se koriste u okviru grafičke tehnologije tako i metodama koje su karakteristične za druga naučna područja prilikom istraživanja materijala i njihove površinske strukture.

Predstavljeno istraživanje je obuhvatilo kvalitativnu i kvantitativnu analizu odabranih štampajućih elemenata: pojedinačnog rasterskog elementa – rasterske tačke, linijskih elemenata, tekstualnih elemenata, elemenata oblika kruga i polja punog tona. Kvalitativna analiza podrazumevala je karakterizaciju reprodukcije navedenih elemenata na osnovu mikroskopskih snimaka dobijenih elektronskim i optičkim mikroskopom kao i na osnovu snimaka dobijenih CCD kamerom. Kvantitativna analiza odogovarajućih štampajućih elemenata izvršena je primenom odogovarajućih metoda digitalne obrade slike gde se na osnovu dobijenih mikroskopskih snimaka stekao uvid u promenu datih elemenata usled promene procesnih parametara izrade. Promene u dubini reljefa, debljini štamparske forme te promene u tvrdoći uzrokovane promenama u procesnim fazama izrade kvantifikovane su odogovarajućim mernim metodama. Karakterizacija površinske strukture u smislu definisanja površinske hrapavosti (na polju punog tona) izvršena je primenom kontaktne profilometrijske metode. Površinska svojstva ispitivanih uzoraka definisana su i merenjima kontaktnog ugla (statičkog i dinamičkog) te je izvršeno izračunavanje slobodne površinske energije, njenog polarnog i disperznog dela.

Fokus istraživanja je bio usmeren na praćenje i definisanje promena štampajućih elemenata, promena u dubini reljefa, tvrdoći štamparske forme te promena u mikrostrukturi površine a sve to usled primenjenih različitih procesnih parametara izrade. Nadalje, istraživanje je imalo za cilj i detaljno ispitivanje reprodukcije štampajućih elemenata na formama sa unapred utvrđenim, adekvatnim parametrima izrade te uporednu analizu štamparskih formi koje se tehnološki razlikuju prema primenjenom procesu razvijanja. Primenjenim metodama digitalne obrade slike praćene su promene štampajućih elemenata s obzirom da reprodukcija datih elemenata kao i stabilnost njihove reprodukcije direkto utiču na funkcionalna svojstva flekso štamparskih formi. Profilometrijska merenja omogućila su utvrđivanje promena na površini punog tona (štampajući element) usled promena u procesnim parametrima izrade. Merenja kontaktnog ugla omogućila su definisanje vrednosti slobodne površinske energije te adsorpcionih karakteristika u slučaju upotrebljenih različitih kompozicija boje za štampu.

Definisanjem datih promena može se dobiti odgovor na pitanje o nivou kvaliteta reprodukcije štampajućeg elementa u zavisnosti od primenjenih parametara izrade sa jedne strane i nivou promena u mikrostrukturi površine s druge strane kao i uporedna karakterizacija digitalnih flekso štamparskih formi namenjenih štampi iste grupe proizvoda ali podvrgnutih različitiom principu razvijanja kao jedne od faza u proizvodnom lancu izrade. Primena odogovarajućih statističkih metoda obrade podataka dala je odgovor na značajnost utvrđenih promena.

Sprovedena istraživanja omogućila su detaljnu i preciznu karakterizaciju štampajućih elemenata na flekso štamparskim formama na osnovu čega su izvedeni zaključci koji slede:

- Duža izloženost dejstvu UVA zračenja u prvoj fazi izrade flekso štamparske forme (faza predosvetljavanja) dovešće do formiranja izuzetno plitkog reljefa. Kako dati proces je ireverzibilan, to je dodatno akcentovana značajnost adekvatnog definisanja vremena predosvetljavanja. S druge strane, zaključeno je da kraće vreme predosvetljavanja dovodi do dubljeg reljefa što opet za posledicu može imati neadekvatno vezivanje štampajućih elemenata za noseću osnovu u sledećoj fazi izrade (glavno osvetljavanje) te njihovu deformaciju u toku razvijanja (u ekstremnim slučajevima i uklanjavanje sa površine forme) i/ili štampe.
- Duža izloženost UVA zračenju u toku faze glavnog osvetljavanja dovešće do formiranja manje vrednosti dubine konačnog reljefa flekso štamparske forme.
- Dublji reljef je moguće postići primenom većeg broja obrtaja cilindra pri termalnom razvijanju. Takođe, zaključeno je da značajnije promene u dubini reljefa nastaju usled promena u vremenu glavnog osvetljavanja nego usled promena pri primeni različitog broja obrtaja pri termalnom razvijanju.
- Duža izloženost UVA zračenju dovodi do povećanja konačne tvrdoće flekso štamparske forme. Statistička obrada podataka pokazala je na mnogo veći uticaj faktora osvetljavanja nego faktora razvijanja na nastale promene u tvrdoći štamparskih formi. Trend promene u tvrdoći štamparskih formi uzrokovan promenom vremena glavnog osvetljavanja neće uticati na trend promene uzrokovan promenama u primenjenom broju obrtaja pri termalnom razvijanju.
- Duže izlaganje dejstvu UVA zračenja pri glavnom osvetljavanju dovodi do smanjenja širine reprodukovanog linijskog elementa u pozitivu, smanjenja površine rasterske tačke i površine elementa kružnog oblika. Razlog tome leži u inhibiranju procesa polimerizacije usled prisustva kiseonika u okolnom vazuhu u komori u kojoj se vrši osvetljavanje štamparske forme. Sa druge strane se može izvesti zaključak da će kontinualno povećanje vremena glavnog osvetljavanja neminovno dovesti do povećanja površine štampajućeg elementa na šta ukazuje podatak da povećanje vremena glavnog osvetljavanja za 57.14% (sa 8 na 14 minuta) rezultuje blagim rastom praćene veličine u odnosu na prethodni trenutak uzorkovanja. S druge strane treba imati na umu negativan efekat na tvrdoću i dubinu formiranog reljefa.
- Zaključuje se takođe da su promene u površini rasterske tačke kao i širini linijskog elementa statistički značajne ta su uzrokovane ne samo varijacijama u vremenu glavnog osvetljavanja već i promenama u broju broja obrtaja pri termalnom razvijanju.
- Analiza mikroskopskih snimaka kao i kvantitativna analiza površine elementa kružnog oblika dovela je do zaključka da u slučaju ispitivanih štamparskih formi koje se razvijaju termalnim postupkom nije moguće reprodukovati pojedinačni stabilan element oblika kruga koji ima inicialni prečnik manji od 0.2 mm.

Zaključci

- U pogledu uticaja na promenu površinske strukture polja punog tona kao štampanog elementa, zaključeno je da promena u vremenu glavnog osvetljavanja, odnosno duža izloženost UVA zračenju utiče na promenu u površinskoj hrapavosti fleksa štamparske forme. Duža izloženost UVA zračenju uopšteno utiče na smanjenje površinske hrapavosti. Statistička obrada podataka navodi na zaključak da su date promene statistički značajne u slučaju kada se primenjuje kraće vreme glavnog osvetljavanja, dok se sa povećanjem vremena glavnog osvetljavanja date promene statistički značajno ne razlikuju.
- Zaključeno je da i primena različitog broja obrtaja pri termalnom razvijanju, u zavisnosti od primenjenog vremena glavnog osvetljavanja, može rezultovati statistički značajnom razlikom u vrednostima amplitudnih parametara površinske hrapavosti.
- SEM analiza mikroskopskih snimaka dovela je do zaključka da je moguća adekvatna reprodukcija linijskog elementa inicijalne širine 0.05 mm, kako u pozitivu tako i u negativu, prema unapred utvrđenim i ponovljivim uslovima izrade u slučaju oba ispitivana tipa štamparskih formi. Time se može očekivati i njihova adekvatna reprodukcija na otisku.
- Na osnovu kvalitativne analiza SEM mikroskopskih snimaka polja tonskih vrednosti od 1%, 5%, 50%, 75% i 98% zaključeno je da unapred adekvatno definisani procesni parametri izrade rezultuju adekvatnom reprodukcijom rasterskih elemenata u niskim, visokim i srednjim tonovima u slučaju obe analizirane štamparske forme, te se može očekivati da će dati elementi biti adekvatno reprodukovani i na otisku. Važno je naglasiti da, idealan kružni oblik rasterskog elementa i idealno ravna površina rasterske tačke nije bila potvrđena.
- Kvantitativna analiza širine reprodukovanih linijskih elemenata u pozitivu i negativu ukazala je na zaključak da odgovarajuće definisani procesni parametri izrade fleksa štamparske forme rezultuju reprodukcijom linijskih elemenata u gotovo idealnom odnosu (1:1).
- Kvalitativna analiza površine reprodukovanih elemenata oblika kruga ukazala je na zaključak da u slučaju štamparske forme B je moguće reprodukovati najmanji stabilan element inicijalnog prečnika 0.1 mm, dok je u slučaju štamparske forme A potvrđen zaključak prethodne analize – najmanji stabilan element oblika kruga može imati inicijalni prečnik jednak ili veći 0.2 mm. Zaključeno je da preciznost reprodukcije (odstupanje od idealne površine) raste sa povećanjem prečnika tačke.
- Kvantitativna analiza mikroskopskih snimaka tekstualnih elemenata u pozitivu dovela je do zaključka da adekvatan odabir procesnih parametara izrade rezultovaće mogućnošću jasne i oštre reprodukcije tekstualnih elemenata koji su veći ili jednaki 2 tipografske tačke u slučaju obe analizirane štamparske forme (A i B). U pogledu reprodukcije tekstualnih elemenata u negativu, zaključak je da u slučaju štamparske

forme A moguće je jasno reprodukovati tekst manje veličine (veći ili jednak 2 tipografske tačke) nego u slučaju štamarske forme B (veći ili jednak 3 tipografske tačke).

- Kvantitativna analiza reprodukcije tonskih vrednosti u slučaju obe štamarske forme (A i B) pokazala je da odabir adekvatnih parametara izrade rezultuje nižom reprodukcijom tonskih vrednosti usled efekta inhibicije polimerizacije u prisustvu kiseonika ali koja se tumači kao pozitivna strana reprodukcije jer će omogućiti kompenzaciju očekivanog porasta tonskih vrednosti u procesu štampe.
- Uperedna analiza mikrohrapavosti površine dve ispitivane štamarske forme ukazala je na zaključak da se štamarsku formu A odlikuju znatno veće vrednosti mikrohrapavosti površine u odnosu na štamarsku formu B.
- Analiza dinamičkog kontaktnog ugla ukazala je na zaključak da su, u slučaju obe štamarske forme, promene u vrednosti kontaktnog ugla u funkciji vremena niske, a izrazito niske u slučaju primene nepolarne tečnosti, dijodmetana.
- Rezultati slobodne površinske energije ukazuju na zaključak da štamarska forma A ima manju ukupnu površinsku energiju gde obe posmatrane štamarske forme imaju mali udeo polarne komponente. Stoga, obe štamarske forme imaju isti afinitet ka izrazito nepolarnim supstancama. Utvrđeno je postojanje većeg udela polarne faze u slučaju štamarske forme B. Ako se dati rezultati posmatraju iz ugla flekso štamarskih boja, onda se može pretpostaviti da će se kod obe štamarske forme postići bolje kvašenje površine ako se koriste boje koje se karakterišu većim udelom disperzne komponente. Takođe, u slučaju da se štampa vrši bojama na bazi vode kao izrazito polarne supstance, to će bolje kvašenje forme biti postignuto u slučaju štamarske forme B, koja bi u odnosu na štamarsku formu A bila pogodniji izbor.
- Zaključeno je da veće vrednosti kontaktnog ugla beleže se na štamarskoj formi koja ima veću vrednost površinske hrapavosti.
- Zaključeno je da promena u viskozitetu štamarske boje utiče na promenu u vrednosti kontaktnog ugla na štamarskoj formi. Zaključuje se da niža vrednost viskoziteta dovodi do niže vrednosti u kontaktnom uglu a samim tim i boljeg kvašenja štamarske forme bojom.

Sprovedeno istraživanje pokazalo je da karakterizacija reprodukcije štamajućih elemenata flekso štamarske forme zahteva multidisciplinarni pristup istraživanju kako bi se stekao potpun uvid u promene na datim elementima nastalim usled različitih procesnih parametara izrade. Primena kako različitih metoda merenja tako i različitih metoda obrade podataka pokazala je da je pri karakterizaciji procesnog modela izrade flekso štamarske forme neophodan kompleksan, multidisciplinarnan pristup koji prepliće znanja iz oblasti mehanike, fizike i hemije.

Zaključci

Sprovedena istraživanja predstavljaju sveobuhvatni pristup karakterizaciji modela izrade flekso štamparske forme te predstavljaju značajan pomak u karakterizaciji i definisanju štampajućih površina u funkciji odabira procesnih parametara izrade čime se omogućava pristup ponovljivosti procesa te prvi korak ka neophodnoj optimizaciji i standardizaciji. Doprinos istraživanja se ogleda u proširenju područja razmatranja struktura štampajućih elemenata na formi za flekso štampu ukazujući ne samo na mogućnosti formiranja datih elemenata već i na njihovu mikrostrukturu površine. Data primenjena metodologija istraživanja može poslužiti kao obrazac za buduća istraživanja u oblasti digitalnih flekso štamparskih formi koje karakterišu drugačije fotopolimerne kompozicije ili tehnološki postupci izrade s obzirom da ukazuju na moguće mehanizme promena štampajućih elemenata i njihove mikropovršine.

Definisanjem ponovljivih procesnih parametara izrade te utvrđivanjem modela ponovljivosti izrade dolazi se do tehnološke i ekonomske optimizacije proizvodnje flekso štamparskih formi te povećane produktivnosti i bolje kontrole toka postupka štampe. Detaljna analiza promena koje se događaju na nivou pojedinačnog štampajućeg elementa u zavisnosti od procesnih parametara izrade predstavljaju doprinos sprovedenog istraživanja kroz omogućavanje lakšeg razumevanja kompleksnih promena na nivou štampajućeg elementa.

7. LITERATURA

Aleksić, M. (2012) Pojave na granicama faza, dostupno na: <http://www.google.rs/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0CE0QFjAB&url=http%3A%2F%2Fsupa.pharmacy.bg.ac.rs%2Fassets%2F13569&ei=SQkgUKbqDZTO4QSti4H4Aw&usg=AFQjCNHCwhMAQ6GAKZlYH7Wu2cBKmwC5SA&sig2=5vg7x2Pzv3OBD3X8nxYUYg>, [pristupljeno: 11.04.2012.]

Andričić, B. (2008) Prirodni polimerni materijali, Kemijsko-tehnološki fakultet Sveučilišta u Splitu, Split

Arsenijević, S. (2001) Hemija opšta i neorganska, 16 dopunjeno izdanje, Beograd

Barcographic (2002) Manual for screening in flexo printing

Barros G.G., Fahlerantz C.M., Johansson P.Å. (2005) Topographic Distribution of Uncovered Areas (UCA) in Full tone Flexographic Prints, TAGA Journal, 2(1), pp 43-57

Bormashenko, E. , Musin, A., Zinigrad, M. (2011) Evaporation of droplets on strongly and weakly pinning surfaces and dynamics of the triple line, Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, pp 235– 240

Brieholdt, J. (2003) Suitability of laser technologies for the production of digital-flexo graphics printing forms, Flexo & gravure International

Caykara, T., Yerlikaya, Z., Kantoglu, O. (2003) The Effect of Copolymer Composition on Surface Free-Energy of Poly(2-Hydroxyethyl Methacrylate–Crotonic Acid) Copolymers, Journal of macromolecular science, Part A—Pure and Applied Chemistry Vol. A 40, No. 11, pp. 1173–1182

CDI Spark 4835 (2010), Technical specifications, dostupno na: http://www2.dupont.com/Packaging_Graphics/en_US/assets/downloads/pdf/CDI_Spark_4835_datasheet_English.pdf, [pristupljeno: 21.03.2010.]

Chau, T.T., Bruckard, W.J., Koh, P.T.L., Nguyen A.V. (2009) A review of factors that affect contact angle and implications for flotation practice, Advances in Colloid and Interface Science, ISSN: 0001-8686, pp 106–115

Choi, J., O'Brate, K. (2010) Method of Controlling Surface Roughness of a Flexographic Printing Plate, US patent 2010/0173135 A1, dostupno na: <http://www.google.com/patents?id=QCXSAAAAEBAJ&printsec=abstract&zoom=4&hl=sr#v=onepage&q&f=false>, [pristupljeno: 03.04.2012.]

Literatura

Cigula, T. (2011) Kvalitativna analiza slobodnih površina tiskovnih formi, Grafički fakultet, Zagreb

Cigula, T., Gojo, M., Novaković, D., Pavlović, Ž. (2010a) Influence of Various Concentrates on Quality of Printing Plates' Wetting Process, Machine Design, pp 325-330

Cigula, T., Poljaček – Mahović, S., Gojo, M. (2009) Defining of time – dependent contact angle of liquids on the printing plate surfaces, The 20th International DAAAM Symposium, Intelligent Manufacturing and Automation: Theory, Practice and Education, 25-28th November 2009, Vienna, Austria

Cigula, T., Pavlović, Ž., Gojo, M., Risović, D. (2010b) Wetting of offset plate's non-printing areas as a function of print run, Grid '10, Proceedings, pp 211-218

Dalton, B. (2006), CTP: yesterday, today and tomorrow. FLEXO, 31.

DataPhysics Instruments GmbH, Operating manual OCA, 2006.

Dean, G., Frederick, L. (2008) Flexographic Plate Technology: Conventional Solvent Plates versus Digital Solvent Plates, Journal of Industrial Technology, Vol. 24, No. 3

Dedijer, S., Novaković, D. (2010) Determination of surface roughness factors of solid printing areas on different flexo printing plates, 5th International Symposium on Novelties in Graphics, 27–29 May, Ljubljana, pp 806 - 812

Dedijer, S., Pavlović, Ž., Novaković, D., Apro, M. (2010) The Influence Of Measurement Parameters And Data Processing On The Surface Roughness Quantities Of The Flexo Printing Plate, International Symposium in the field of pulp, paper, packaging and graphics, 21-24 June, Zlatibor, pp 133 -140

DFTA (2000) Flexo Printing Technology, published in cooperation with Meyer, K.-H., 4th new and revised edition; COATING Fachbücher; St Gallen

Diaz, M.E., Fuentes, J., Cerro, R.L., Savage, M.D. (2010) An analytical solution for a partially wetting puddle and the location of the static contact angle, Journal of Colloid and Interface Science, ISSN: 0021-9797, pp 232–239

Dimogerontakis, Th., Van Gils, S., Ottevaere, H., Thienpont, H., Terryn, H. (2006) Quantitative topography characterization of surfaces with asymmetric roughness induced by AC-graining on aluminium, Surface & Coatings Technology, 201, pp. 918–926.

Literatura

DIN 53505 Testing of rubber - Shore A and Shore D hardness test, Deutsches Institut Fur Normung E.V. (German National Standard) / 01-Aug-2000

Dreher, M. (2002) The imaging processes in flexo platemaking, Flexo & gravure International

DuPont Cyrel (2008a) Product Specification for DFH 1-45 salaries

DuPont Cyrel (2008b) Fast thermal process, CD lectures, DRUPA 2008

DuPont Cyrel (2012) DigiFlow 2000 EC, preliminary data sheet, dostupno na: http://www2.dupont.com/Packaging_Graphics/en_US/assets/downloads/pdf/Cyrel_DigiFlow_2000_EC_NA.pdf, [pristupljeno: 11.05.2010.]

Feinberg, B., Fryd, M., Leberzammer, E. (1990) Process for making flexographic printing plates with increased flexibility, patent no. 4894315, dostupno na: <http://www.patentgenius.com/patent/4894315.html> [pristupljeno: 15.05.2012.]

Flint Group (2012) Nyloflex® NExT Exposure F III, data sheet, dostupno na: http://www.flintgrp.com/en/documents/Printing-Plates/nyloflex/nyloflex_equipment_EN.pdf, [pristupljeno: 11.05.2010.]

Gilbert, E.D., Lee, F. (2008), Flexographic Plate Technology: Conventional Solvent Plates versus Digital Solvent Plates, Journal of Industrial Technology, Vol. 24, No. 3, July 2008, pp 2-7

Giljean, S., Bigerelle, M., Anselme, K., Haidara H. (2011) New insights on contact angle/roughness dependence on high surface energy materials, Applied Surface Science pp 9631– 9638

Girard Leloup, L. (2001) Analysis of the correlation between the print quality required in Flexography and the tolerances in materials and paper manufacturing in terms of printability, Royal Institute of Technology, Department of Numerical Analysis and Computer Science, Stockholm, dostupno na: <http://www.t2f.nu>, [pristupljeno: 03.04.2009.]

Girard Leloup, L. (2002) Measurement and Prediction Procedures for Printability in Flexography (Flexo MP3), Doctoral Dissertation, Royal Institute of Technology, Department of Numerical Analysis and Computer Science, Stockholm, Sweden

Grancarić, A.M., Tarbuk, A., Chibowski, E. (2008) Slobodna površinska energija tekstila, Tekstil 57 (1-2), pp 28 -39

Literatura

Grosse-Sommer, A., Van Gelder, R., Schadebrodt, J. (2008) A comparison of Flexographic Printing Plates: Solvent versus Thermal Processing, Eco-Efficiency Analysis (EEA) report

Halldorsson, J. (2007) Investigation of the factors influencing the wettability of conducting polymers for fluid control in micro fluidic devices, Theses Collection, University of Wollongong

Hamilton, A. (2005) Prepress primer, Converting Magazine. Retrieved July 5, 2007, dostupno na: <http://www.convertingmagazine.com>, [pristupljeno: 21.05.2012.]

Hatada, K., Fox, R. B., Kahovec, J., Maréchal, E., Mita, I., Shibaev, V. (1996) Definitions of terms relating to degradation, aging, and related chemical transformations of polymers (IUPAC Recommendations 1996), *Pure and Applied Chemistry*, 68, pp 2313–2323

Horie, K., Barón, M., Fox, R. B., He, J., Hess, M., Kahovec, J., Kitayama, T., Kubisa, P., Maréchal, E., Mormann, W., Stepto, R. F. T., Tabak, D., Vohlídal, J., Wilks, E. S., Work, W. J.: Definitions of terms relating to reactions of polymers and to functional polymeric materials, *Pure And Applied Chemistry*, Vol. 76, No. 4, Pp. 889–906, 2004
Hershey, J. (2006) CTP flexo: a bright idea? *Package printing*, pp16-19

Hershey, J. (2010) Dots Do It Right, *Package printing*, dostupno na: http://printing.macdermid.com/pdf/Dots_Do_It_Right_Nov2010_PackagePrinting.pdf, [pristupljeno: 11.04.2011.]

ISO 12647-6:2006 Graphic technology -- Process control for the production of half-tone colour separations, proofs and production prints -- Part 6: Flexographic printing

IUPAC. Compendium of Macromolecular Nomenclature, (the IUPAC “Purple Book”) W. V. Metanowski, Chap. 1, Blackwell, Oxford (1991); IUPAC. “Basic definitions of terms relating to polymers (1974)”, *Pure Appl. Chem.* 40, 477–491 (1974).

Jenkins, A. D., Kratochvíl, P., Stepto, R. F. T., Suter, U. W. (1996) Glossary of basic terms in polymer science (IUPAC Recommendations 1996), *Pure and Applied Chemistry*, 68, pp 2287–2311

JEOL ltd (2009) SEM world, dostupno na: <http://www.jeol.com/>, [pristupljeno 15.12.2011]

Johnson, J. (2003) The influence of moisture, temperature, pulse pressure, and substrate on print quality in flexographic printing, Karlstad University, Sweden, dostupno na: <http://www.t2f.nu>, [pristupljeno: 03.04.2009.]

Literatura

- Johnson, J. (2008) Aspects of Flexographic Print Quality and Relationship to some Printing Parameters, Doctoral Dissertation, Karlstad University Studies
- Johnson, J., Andersson, C., Lestelius, M., Järnström, L., Rättö, P. and Blohm, E. (2008): Degradation of Flexographic Printing Plates and Aspects of Print Quality, submitted to Nordic Pulp and Paper Research Journal, dostupno na: <http://www.t2f.nu>, [pristupljeno: 12.02.2009.]
- Johnson, J. Rättö, P., Lestelius, M. and Järnström, L. (2003): Dynamic Nip Pressure in a Flexographic CI-Printing Press, TAGA Proceedings 2003: 55th annual conference, Montreal, QC, Canada, 14-17 Apr. 2003, pp 357-374.
- Jovanović S.M., Đonlagić, J. (2004) Hemija makromolekula, Tehnološko – metalurški fakultet, Beograd
- Karstedt, K. (2007) Digital flexo plates: from pioneers to end-users, Paper, Film and Foil Converter
- Kipphan, H. (2001), Handbook of Print Media, Technologies and Production Methods, Springer
- Kirchberg, S., Abdin, Y., Ziegmann, G. (2001) Influence of particle shape and size on the wetting behavior of soft magnetic micropowders, Powder Technology, pp 311–317
- Križan B. (1984) Parametri površinske hrapavosti, Strojarstvo 26 pp 109-115.
- Kruss (2012) Contact angle theory, dostupno na <http://www.kruss.de/en/theory/measurements/contact-angle/models/owrk.html> [pristupljeno: 01.02.2012.]
- Kubiak, K.J., Wilson, M.C.T., Mathia, T.G., Carval, Ph. (2011) Wettability versus roughness of engineering surfaces, Wear, pp 523–528
- Kurz, R., Mayer, K. H., Herzau-Gerhardt, U., Hars, C. (1991) Techik des Flexo Drucks (Gebundene Ausgabe), the third revision
- Koutsos, V. (2002) Introduction to polymers, Materials Science and Engineering, The University of Edinburgh, Division of Engineering
- Künzler, T. P. (2007) Surface Morphology Gradients, doctoral thesis, Swiss federal institute of technology, Zurich
- Lanska, D. J. (2007) Common-Sence Flexography, A User's Guide to Improved Pressroom Productivity, Printing Industries Press, Pittsburg

Literatura

Lee, S., Park, J.S., Lee, T. R. (2011) Analysis of the Wettability of Partially Fluorinated Polymers Reveals the Surprisingly Strong Acid-Base Character of Poly(vinylidene Fluoride), Bulletin Korean Chemistry Society, Vol. 32, No. 1, pp 41

Leach, R., Pierce, R. (1999) The printing ink manual, 5ed, KluwerAcademic Publishers, Netherlands

Liu, X., Guthrie, J. T. (2003): A review of flexographic printing plate development, Surface Coatings International Part B: Coatings Transactions 86(B2), pp. 91-168.

Liu, X., Guthrie, J. T., Bryant C. (2002): A study of the processing of flexographic solid-sheet photopolymer printing plates. Surface Coatings International Part B: Coatings Transactions 85(4), pp. 313-319.

Lučić – Blagojević, S.: Kemija i inženjerstvo materijala, 2012, dostupno na [Lužar – Stiffler, V. \(2007\) Primijenjena statistika, prvi dio, Građevinski fakultet, Zagreb](https://www.google.rs/#hl=sr&client=psy-ab&q=kemija+i+inzenjerstvo+materijala+Lu%C4%8Di%C4%87+%E2%80%93+Blagojevi%C4%87+polimeri+interna+skripta&oq=kemija+i+inzenjerstvo+materijala+Lu%C4%8Di%C4%87+%E2%80%93+Blagojevi%C4%87+polimeri+interna+skripta&gs_l=hp.3...90227.94172.4.94529.16.16.0.0.0.171.2112.0j16.16.0...0.0...1c.O8hyeB8GV1s&psj=1&bav=on.2,or.r_gc.r_pw.r_qf.&f p=e12af8772eb32667&biw=1366&bih=624, [pristupljeno: 11.04.2011.]</p></div><div data-bbox=)

Mahović, S. (2007) Karakterizacija površinskih struktura ofsetnih tiskovnih formi, Doktorska disertacija, Grafički fakultet, Zagreb

Matsubara, T., Oda, R. (2011) Block copolymer composition for flexographic printing plates, patent no. 20110308412, dostupno na: <http://www.faqs.org/patents/app/20110308412#b> [pristupljeno: 24.05.2012.]

Marius M., Bacarea V. (2010) Kako odabrati pravi test za procjenu statističke značajnosti razlike između skupina?, Biochemia Medica, 20(1), pp15-32

Menezes, P.L., Kishore, Kailas, S.V. (2009) Influence of surface texture and roughness parameters on friction and transfer layer formation during sliding of aluminium pin on steel plate, Wear, 267, pp. 1534–1549

Meng, X.L., Wan, L.S., Xu, Z.K. (2011) Insights into the static and advancing water contact angles on surfaces anisotropised with aligned fibers: Experiments and modeling, Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, pp 213– 221

Literatura

Mita, I., Stepto, R. F. T., Suter., U. W. (1994) Basic classification and definitions of polymerization reactions (IUPAC Recommendations 1994) Pure and Applied Chemistry, 66, pp 2483–2486

Muldermans, X., Roumache, O. (2005) Photopolymerizable compositions and flexographic printing plates derived therefrom, United states patent No. 3566999, dostupno na: <http://patentsbase.com/items/US-20050233249-A1-photopolymerizable-compositions-and-flexographic-printing-plates,-derived-therefrom>, [pristupljeno: 15.06.2012.]

Novaković, D., Dedijer, S., Mahović – Poljacek, S. (2010) A model for improving the flexographic printing plate making process, Technical Gazette, Sveučilište u Osijeku, Osijek, vol. 17., no. 4, pp 403 – 410

Novaković, D., Karlović, I., Cigula, T., Gojo, M. (2009) Površinska hrapavost ofset ploča u funkciji kvaliteta otisaka, Machine Design, 3, pp 439-444

Othmani, A., Kaminsky, C. (1999) Image analysis of sheet metal surfaces, Journal of Materials Sciences 34, pp. 5139 – 5142

Page Crouch, J. (1998), Flexography primer, GAFT Press, Pittsburgh, 1998.

Pallant, J. (2007) Postupni vodič kroz analizu podataka pomoću SPSS-a za Windows (verzija 15), prevod 3. Izdanja, Allen&Unvin, Mikro knjiga, Beograd

Pavlović, Ž. (2012), Karakterizacija površinske strukture neštampajućih elemenata CtP termalne štamparske forme za ofset štampu, doktorska disertacija, FTN, Novi Sad

Pavela-Vrančić, M., Matijević, J. (2010) Primijenjena organska kemija u konzervaciji i restauraciji Sveučilište u Splitu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Odjel za kemiju, univerzitetski udžbenik, prvo izdanje, dostupno na http://www.pmfst.hr/online_publicacije/Primijenjena%20organska%20kemija.pdf, [pristupljeno: 05.07.2012.]

Pešterac, Č. (2004) Štamparske forme, Fakultet tehničkph nauka, GRID, Novi Sad

Prabhu, K.N., Fernades, P., Kumar, G. (2009) Effect of substrate surface roughness on wetting behaviour of vegetable oils, Materials and Design, ISSN: 0261-3069, pp 297–305

Ponsonnet, L., Reybier, K., Jaffrezic, N., Comte, V., Lagneau, C., Lissac, M., Martelet, C. (2003) Relationship between surface properties (roughness, wettability) of titanium and titanium alloys and cell behavior, Materials Science and Engineering, C 23, pp. 551–560.

Ramón-Torregrosa, P.J., Rodríguez-Valverde, M.A., Amirfazli, A. Cabrerizo-Vílchez, M.A. Factors affecting the measurement of roughness factor of surfaces and

Literatura

its implications for wetting studies, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* (2008), pp 83–93

Rentzhog M. (2004) *Characterisation of Water-Based Flexographic Inks and their Interactions with Polymer-Coated Board*, Licentiate Thesis, Royal Institute of Technology, Institute for Surface Chemistry, Stockholm, Sweden, dostupno na: <http://www.t2f.nu>, [pristupljeno: 04.08.2010.]

Risović, D., Mahović – Poljaček, S., Gojo, M. (2009) On correlation between fractal dimension and profilometric parameters in characterization of surface topographies, *Applied Surface Science*, vol. 255, no. 7, pp 4283-4288.

Sakurai, K. (1985) *Flexographic printing plates and process for making the same*, United States Patent No. 4517278, dostupno na: <http://www.google.com/patents/US4517278?printsec=description#v=onepage&q&f=false> [pristupljeno: 09.05.2012.]

Schueneman, N., Obispo, C. (2009) *Highlight Dot Shoulder Angle Using Bank Source Exposure & Point Source Exposure in Digital Platemaking for Flexography*, Flexo Global, pp 8- 20

Seckel, R. A. (2003): *Remembering the simple basics of printing plates*, Corrugating International, August, pp. 7-8.

Seitavuopio, P. (2006) *The roughness and imaging characterisation of different pharmaceutical surfaces*, academic dissertation, Royal Institute of Technology, Institute for Surface Chemistry, Stockholm, Sweden, dostupno na: <http://www.t2f.nu>, [pristupljeno: 06.07.2010.]

Seymour, R. B. and Carraher, C. E. Jr. (1992): *Polymer Chemistry*, Marcel Dekker, New York, pp. 419-420.

Shuangying, W., Shi, J., Gu, J., Wang, D., Zhang, Y. (2011) *Dynamic wettability of wood surface modified by acidic dyestuff and fixing agent*, *Applied Surface Science*, ISSN: 0169-4332, article in press

St.Clair, D., Hansen, D., Dubois, D. (2007) *Photocurable compositions and flexographic printing plates comprising the same*, No. 7241540, Dostupno na: <http://www.patentgenius.com/patent/7241540.html> [pristupljeno: 15.06.2012.]

Suzuki, K., Shachi, K., Maeda, M. (2008) *Curable resin composition and flexographic plate material using the same*, Unites States patent No. 7432037, dostupno na: <http://patft.uspto.gov/netacgi/nphParser?Sect2=PTO1&Sect2=HITOFF&p=1&u=/netah>

Literatura

tml/PTO/searchbool.html&r=1&f=G&l=50&d=PALL&RefSrch=yes&Query=PN/7432037 [pristupljeno: 15.06.2012.]

TR Manual, TR 200 (2010), Hand held roughness tester, Instruction manual

Vanover, M. (2005). Flexo platesetting: past, present and future, Flexible Packaging, dostupno na http://www.flexpackmag.com/Archives_Davinci?article=225, [pristupljeno: 10.06.2012.]

Van Oss, C. J., Giese, R. F., Li, Z., Murphy, K., Norris, J., Chaudhury, M. K. & Good, R. J. (1993) Contact Angle, Wettability and Adhesion, K. L. Mittal (Ed.), VSP, Utrecht, The Netherlands

Vujković, I.A. (1997) Polimerna i kombinovana ambalaža, Poli, Novi Sad

Young, R. J., Lovell, P. A. (1991) Introduction to Polymers, 2nd ed., New York: Chapman & Hall

Zelmer, H. (2006) Flexography, Hochschule fur Technik, Wirtschaft und Cultur, Leipzig