



UNIVERZITET U NOVOM SADU
FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA



DEPARTMAN ZA GRAFIČKO INŽENJERSTVO I DIZAJN

Rastko Milošević

Karakterizacija otisaka oplemenjenih mikrokapsulama

- doktorska disertacija -

Novi Sad, 2019.

IZJAVA

Ja, Rastko Milošević, izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da ova doktorska disertacija predstavlja isključivo rezultate mog rada u saradnji sa mentorima, kao i da se temelji na mojim naučno-stručnim saznanjima i istraživanjima, oslanjajući se na navedenu literaturu.

Izjavljujem da nijedan deo ove doktorske disertacije nije napisan na neetičan i nedozvoljen način, koji bi bio u suprotnosti sa akademskom moralnošću, preuzimanjem ili prepisivanjem dela bilo kog necitiranog izvora, tuđih dela ili rezultata.

Atorska prava su utvrđena zakonom i opštim aktima.

Izjavljujem da su štampana i elektronska verzija doktorske disertacije istovetne, kao i da sam saglasan da se ova doktorska disertacija može staviti na trajni uvid u elektronskom obliku.

Potpis kandidata



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:	Растко Милошевић
Ментор, МН:	Проф. др Немања Кашиковић, Проф. др Раша Урбас
Наслов рада, НР:	Карактеризација отисака оплемењених микрокапсулама
Језик публикације, ЈП:	Српски
Језик извода, ЈИ:	Српски
Земља публиковања, ЗП:	Република Србија
Уже географско подручје, УГП:	А.П. Војводина
Година, ГО:	2019.
Издавач, ИЗ:	Ауторски репринт
Место и адреса, МА:	Нови Сад, Трг Доситеја Обрадовића 6
Физички опис рада, ФО: (поглавља/страна/ цитата/табела/слика/графика/прилога)	12/274/273/68/81/50/3
Научна област, НО:	Графичко инжењерство и дизајн
Научна дисциплина, НД:	Графичко инжењерство и дизајн
Предметна одредница/Кључне речи, ПО:	микрокапсуле, мирис, функционални премази, карактеризација мирисних микрокапсула, „ин ситу“ полимеризација, оплемењивање отисака, офсет штампа, флексо штампа
УДК	
Чува се, ЧУ:	У библиотеци Факултета техничких наука у Новом Саду
Важна напомена, ВН:	
Извод, ИЗ:	У дисертацији су представљена истраживања која имају за циљ да се испита на који начин и у којој мери различите технике, подлоге и лакови за оплемењивање, као и како различите масене концентрације мирисних микрокапсула у лаковима утичу на најбитнија физичка, механичка, оптичка и функционална својства отисака оплемењених мирисним микрокапсулама, како би се деловањем на одговарајуће параметре припреме и апликације мирисних микрокапсула унапредио квалитет оплемењених отисака на овај начин. Анализом резултата истраживања је утврђено да се оплемењивањем отисака на овај начин у значајној мери утиче како на оптичке, као најважније карактеристике штампаних отисака, тако и на њихове друге битне карактеристике.
Датум прихватања теме, ДП:	
Датум одбране, ДО:	
Чланови комисије, КО:	Председник: Др Драгољуб Новаковић, редовни професор
	Члан: Др Бранко Шкорић, редовни професор
	Члан: Др Живко Павловић, ванредни професор
	Члан, ментор 2: Др Раша Урбас, ванредни професор
	Члан, ментор 1: Др Немања Кашиковић, ванредни 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 :	Ph.D. thesis	
Author, AU :	Rastko Milošević	
Mentor, MN :	Prof. Ph.D. Nemanja Kašiković, Prof. Ph.D. Raša Urbas	
Title, TI :	Characterization of coated prints with microcapsules	
Language of text, LT :	Serbian	
Language of abstract, LA :	Serbian	
Country of publication, CP :	Republic of Serbia	
Locality of publication, LP :	A.P. Vojvodina	
Publication year, PY :	2019	
Publisher, PB :	Author's reprint	
Publication place, PP :	Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6	
Physical description, PD : (chapters/pages/ref./tables/pictures/graphs/appendixes)	12/274/273/68/81/50/3	
Scientific field, SF :	Graphic engineering and design	
Scientific discipline, SD :	Graphic engineering and design	
Subject/Key words, S/KW :	microcapsules, scent, functional coatings, fragrant microcapsules characterization, in situ polymerization, prints coating, offset printing, flexo printing	
UC		
Holding data, HD :	The Library of the Faculty of Technical Sciences in Novi Sad	
Note, N :		
Abstract, AB :	This thesis presents research which aims to investigate how and in what extent different techniques, substrates and varnishes for the coating process, as well as how different concentrations of fragranced microcapsules in the varnishes affect important physical, mechanical, optical and functional properties of the coated prints with fragranced microcapsules. Information obtained by this characterisation will enable improvement of the quality of the coated prints with fragranced microcapsules by altering the parameters related to the preparation and the application of the microcapsules. The analysis of the obtained results showed that the coating of the prints in this way, significantly affected not only optical, as the essential characteristics of the prints, but the other important properties.	
Accepted by the Scientific Board on, ASB :		
Defended on, DE :		
Defended Board, DB :	President: Dragoljub Novaković, Ph.D. full profesor	
	Member: Branko Škorić, Ph.D. full profesor	
	Member: Živko Pavlović, Ph.D. Associate Professor	Menthor's sign
	Member, mentor 2: Raša Urbas, Ph.D. Associate Professor	
	Member, mentor 1: Nemanja Kašiković, Ph.D. Associate Professor	

Izuzetnu zahvalnost dugujem mentorima dr Nemanji Kašikoviću i dr Raši Urbas, koji su svojim nesebičnim zalaganjem, usmeravanjem i konstruktivnim savetima pomogli realizaciju ove doktorske disertacije.

Veliku zahvalnost upućujem Igoru Vlaoviću (Futura, Novi Sad) i dr Tomislavu Ciguli (Grafički fakultet u Zagrebu), koji su omogućili štampu, odnosno oplemenjivanje uzoraka za realizaciju dela eksperimentalnog segmenta doktorske disertacije. Srdačno se zahvaljujem i kolegama Sanji Kojić (BioSens institut) i Draganu Kukuruzoviću (FTN, Katedra za tehnologije oblikovanjem i inženjerstvo površina) na velikoj pomoći oko merenja oplemenjenih otisaka (nanoindentacija i AFM) kao i na korisnim savetima vezanim za vršena merenja. Zahvaljujem se i svim ostalim kolegama koji su mi pomogli i podržavali me tokom izrade doktorske disertacije.

Posebnu zahvalnost dugujem dr Dragoljubu Novakoviću, na podršci i usmeravanju mog naučnog rada i karijere.

Zahvaljujem se prijateljima i porodici koji su me podržavali i bili izvor moje motivacije u toku pisanja doktorske disertacije.

Rezime

Tehnologija mikroenkapsulacije i njena primena u okviru grafičke industrije je omogućila dodavanje jedne potpuno nove vrednosti štampanim proizvodima. Oplemenjivanje grafičkih proizvoda kombinacijom boja ili lakova i određenih tipova mikrokapsula, omogućilo je proizvodnju oplemenjenih površina sa različitim funkcionalnim karakteristikama. U grafičkoj industriji kvalitet gotovog, štampanog proizvoda u najvećoj meri zavisi od njegovog vizuelnog doživljaja, međutim pored vizuelnog i taktilnog aspekta štampanog proizvoda, implementacijom tehnologije mikroenkapsulacije u grafičku industriju, omogućena je i integracija mirisa, kao stimulusa, u gotov grafički proizvod, aplikacijom mikrokapsula koje enkapsuliraju mirise. Pored toga što se oplemenjivanjem štampanih otisaka mirisnim mikrokapsulama omogućava nova funkcionalnost oplemenjenih površina, a time i dodaje i povećava vrednost finalnog štampanog proizvoda, aplicirane mirisne mikrokapsule menjaju osnovna fizička, mehanička i optička svojstva otisaka i podloga za štampu. Zbog toga je veoma bitno ispitati kako se mirisne mikrokapsule ponašaju pri različitim postupcima aplikacije i kakvo je stanje prenetih mirisnih mikrokapsula na podlozi za štampu, u cilju utvrđivanja najpogodnijih tehnika za oplemenjivanje otisaka mikrokapsulama i otkrivanja uzroka potencijalnih problema i grešaka koje mogu nastati prilikom procesa oplemenjivanja. Takođe, obzirom da aplicirane mikrokapsule imaju efekat na bazična svojstva oplemenjenih otisaka, veoma je bitno izvršiti i detaljnu analizu njihovog uticaja na najbitnije karakteristike oplemenjenih otiska. Time će se obezbediti osnov za preciznije definisanje efekata različitih tehnika i podloga za oplemenjivanje, kao i različitih lakova i koncentracija mirisnih mikrokapsula u njima na najbitnija svojstva oplemenjenih otisaka i obezbediti vredne informacije koje će omogućiti unapređenje kvaliteta oplemenjenih otisaka mirisnim mikrokapsulama.

U istraživanju je izvršena karakterizacija korišćenih materijala u postupku štampe i oplemenjivanja otisaka (mirisne mikrokapsule, lakovi i podloge za štampu), ispitane su fizičke (gramatura, debljina, morfologija, površinska hrapavost), mikromehaničke i optičke (optička gustina, porast tonskih vrednosti, relativna spektralna refleksija, sjaj, CIE $L^*a^*b^*$ vrednosti) karakteristike oplemenjenih otisaka različitim tipovima lakova sa različitim masenim koncentracijama mirisnih mikrokapsula u njima koristeći različite tehnike aplikacije. Premazi koji se primenjuju na različite površine u cilju postizanja funkcionalnih, dekorativnih, ili zaštitnih efekata, svoju funkcionalnost ispoljavaju na osnovu specifičnih fizičkih, hemijskih, mehaničkih i termičkih osobina, a pored svojih specijalnih osobina, funkcionalni premazi moraju da zadovolje i dodatne zahteve kao što su jednostavna aplikacija, niska cena, prilagođena površinska morfologija, ekološka prihvatljivost i dugotrajnost. Zbog toga su pored navedenih, izvršene i analize parametara koji su bitni za funkcionalna svojstva oplemenjenih površina sa mirisnim mikrokapsulama (određivanje distribucije mirisnih mikrokapsula u oplemenjenom sloju laka), a izvršena je i kvalitativna analiza dugotrajnosti na ovaj način dobijenih funkcionalnih premaza određivanjem prisustva i intenziteta mirisa u oplemenjenim otiscima. Na osnovu rezultata sprovedenog istraživanja, utvrđeno je da oplemenjivanje otisaka lakovima i različitim koncentracijama mirisnih mikrokapsula u njima, ima značajan efekat na sve analizirane karakteristike oplemenjenih otiska.

Ključne reči: mikrokapsule, miris, funkcionalni premazi, karakterizacija mirisnih mikrokapsula, „in situ“ polimerizacija, oplemenjivanje otisaka, ofset štampa, flekso štampa

Abstract

Microencapsulation technology, as well as its application in graphic industry, enabled addition of a totally new value to graphic products. By coating of printed products, using a combination of printing inks or printing varnishes and various microcapsules types, the production of coated surfaces with different functional characteristics is enabled. The quality of the final printed products in graphic industry almost exclusively depend on the visual impression of the printed matter. However, besides visual and tactile aspects of a printed product, implementation of the microencapsulation technology (microcapsules that encapsulate fragrances) in the graphic industry enabled the integration of scents, as stimulus, into the printed product. Apart from adding a new value, and increasing the overall value of the printed matter, introduction of a new fragranced functionality to the printed product using coatings with fragranced microcapsules, it also changes the basic physical, mechanical and optical properties of the printing substrates and the prints. In order to determine the most convenient techniques for fragranced microcapsules application, as well as to detect the causes of the potential problems and errors that may occur during microcapsules' application processes, it is important to investigate how fragranced microcapsules act during different application procedures and in what state are they transferred to the printing substrate. Due to the fact that applied microcapsules affect basic properties of the coated prints, it is crucial to conduct a detailed analysis of the applied fragranced microcapsules effects on the basic features of the coated prints. By carrying out such research, it is possible to provide the basis for precise estimation of the various coating application techniques and substrates influence, as well as the influence of different varnishes application and fragranced microcapsules concentrations in the varnishes, on the most important characteristics of the coated prints. Thorough characterization of these functional coatings will enable valuable information which will eventually improve the quality of the coated prints with fragranced microcapsules.

This research covers the characterization of the materials used in printing and coating processes (fragranced microcapsules, varnishes and substrates), investigation of physical (basis weight, thickness, morphology, surface roughness), micromechanical and optical (print density, tone value increase, relative spectral reflectance, gloss, CIE L*a*b* values) characteristics of the coated prints using different varnishes types and different mass concentrations of fragranced microcapsules in them as well as different coating application techniques. Coatings which are applied on various surfaces in order to achieve functional, decorative and protective effects, manifest their functionality by their own specific physical, chemical, mechanical and thermal features, so besides their special properties, functional coatings must fulfill additional demands such as simple application, low price, adjusted surface morphology, eco-friendliness and durability. This is the reason why, beside the mentioned analysis, this PhD also deals with the analysis of influential parameters on functional properties of the applied coatings with the fragranced microcapsules (determination of the fragranced microcapsules distribution in the coated varnish layer), as well as covers the analysis of durability of these functional coatings by qualitative analysis of the scent presence and its intensity in the coated prints. On the base of the obtained results from this research, it was determined that coating of the prints using varnishes and different concentrations of the fragranced microcapsules in them, had significant effect on all analysed characteristics of the coated prints.

Keywords: microcapsules, scent, functional coatings, fragrant microcapsules characterization, in situ polymerization, prints coating, offset printing, flexo printing

Spisak slika

Slika 1.1. Prikaz: a) globalnih prihoda na tržištu mikroenkapsuliranih proizvoda (2014–2020) i b) tržišni udeo mikroenkapsuliranih proizvoda prema aplikaciji (Market Research Store, 2016; Baker, 2013)....	2
Slika 1.2. Prikaz broja publikovanih: a) patenata i b) naučnih radova u periodu od 1965. do 2015. (podaci prikupljeni putem „free patents online database“ i „Science Direct“, mart 2017; ključne reči: „microencapsulation“ i „print“) (Urbas, i drugi, 2017a)	3
Slika 2.1. Prikaz različitih tipova mikrokapsula: a) mikrokapsula sa jednim jezgrom, b) mikrokapsula sa više jezgara, c) mikrokapsula sa dvostrukim omotačem i d) matrični tip mikrokapsule (mikrosfera) (Stanković Elesini, i drugi, 2016a)	5
Slika 2.2. Izgled: a) mikrokapsula u vodenoj suspenziji i b) mikrokapsula posle sušenja (SEM; uvećanje ×1000)	6
Slika 2.3. Princip funkcionisanja: a) mikrokapsula za elektronsku boju (Savanah Design, 2009), b) samo-obnavljajućih mikrokapsula (Song, i drugi, 2017)	7
Slika 2.4. Izgled i princip funkcionisanja proizvoda sa mikrokapsulama: a) film osetljiv na pritisak (Pocket Dentistry, 2016), b) štampani otisak sa termohromatskom bojom (H&H Graphics, 2017), c) CtP ofset termalna ploča (Kipphan, 2001)	8
Slika 2.5. Izgled: a) neekspandiranih i b) ekspandiranih mikrokapsula pomešanih sa bojom za sito štampu (uvećanje 100×), i c) štampane 3D slike gde su upotrebljene ekspandirajuće mikrokapsule (Urbas, i drugi, 2017a)	8
Slika 2.6. Prikaz principa funkcionisanja: a) mikrokapsula sa mirisima (New Prisematic Enterprise Co., Ltd., 2010), b) PCM mikrokapsula.....	10
Slika 2.7. Osnovni princip ofset štampe: a) izgled štamparske jedinice, b) prikaz cilindra nosioca štamparske forme i štampanih/neštampanih površina na štamparskoj formi (Kipphan, 2001)	11
Slika 2.8. Osnovni princip oplemenjivanja otisaka lakom (flekso štampa) (Iggesund Holmen Group, 2018).....	12
Slika 2.9. Izgled laboratorijskih uređaja test štampu: a) IGT F1 (IGT Testing Systems, 2018), b) Prüfbau (Prüfbau, 2016a).....	13
Slika 2.10. Šematski prikaz „in situ“ principa polimerizacije mikroenkapsulacije: a) bez hlađenja, b) sa hlađenjem pre dodavanja polimera za formiranje omotača (Boh, i drugi, 2005)	20
Slika 2.11. Prikaz: a) mikrokapsula u praškastom obliku sa jednim jezgrom i b) njihove distribucije veličina i zapremina (SEM; uvećanje 500×) (Milošević, i drugi, 2017a)	24
Slika 2.12. Šematski prikaz različitih mehanizama aktivacije i načina oslobađanja aktivne materije iz mikrokapsula	26
Slika 2.13. Prikaz aktivacije mikrokapsula: a) mehaničkim putem, b) promenom pH vrednosti okruženja, c) rastvaranjem omotača u vodi, d) toplotom, e) abrazijom (Jia, i drugi, 2017; Inesfly corporation, n.d.; Southwest Research Institute, n.d.).....	27

Slika 2.14. SEM slike i distribucije udaljenosti između čestica nanokompozita: a) uzorak bez premaza, b) histogram distribucije udaljenosti između čestica nanokompozita (uzorka bez premaza); c) uzorak sa premazom i d) histogram distribucije udaljenosti između čestica nanokompozita (uzorka sa premazom) (Liu, i drugi, 2015)	29
Slika 2.15. Distribucija broja registrovanih čestica u svakom pod-regionu slike u okviru zadate razdaljine: a) u odnosu na svaku „kontrolnu tačku“, b) u odnosu na svaku česticu (Diebold, i drugi, 2005).....	30
Slika 2.16. Rezultati PXCT analize skeniranih premaza: a) pojedinačan tomogramski presek poprečan u odnosu na osu rotacije, b) histogram distribucije gustine elektrona tomogramskog preseka, c) kvantitativna analiza orijentacije čestica aluminijuma, d) prikaz 3D prostorne strukture uzorka, e) 3D model prostornog rasporeda izdvojenih čestica aluminijuma u materijalu (Chen, i drugi, 2013).....	31
Slika 2.17. Izgled mikrokapsula a) apliciranih na površinu papira i b) apliciranih na tekstilni materijal (SEM; ×100 uvećanje) (autor: Raša Urbas)	32
Slika 2.18. Izgled: a) netretirane i b) tretirane tkanine procesom pranja sa prethodno apliciranim mikrokapsulama (SEM; ×500 uvećanje) (autor: Raša Urbas).....	33
Slika 2.19. Izgled: a) neoštećenih mikrokapsula različitih veličina i b) oštećenih većih mikrokapsula, koje prve pucaju pod uticajem primenjene sile smicanja (SEM; ×1000 a i ×500 b uvećanje).....	34
Slika 2.20. Šematski prikaz teksture površine (Milošević, 2010).....	35
Slika 2.21. Šematski prikaz površinskih karakteristika: a) površinska tekstura materijala, b) profil talasastosti površine i c) profil hrapavosti površine (Hoffman, i drugi, 2000).....	36
Slika 2.22. Prikaz određivanja profila hrapavosti filtriranjem primarnog profila.....	37
Slika 2.23. Mehanička profilometrija: a) princip rada mernog uređaja, b) profil koji se dobija u računaru (DPM, n.d.).....	38
Slika 2.24. Princip rada AFM mikroskopa (DPM, n.d.)	39
Slika 2.25. Faktori koji utiču na kvalitet štampe i parametri kvaliteta štampe (Kipphan, 2001).....	42
Slika 2.26. Izgled štampanog otiska: pravilno reprodukovane TV (leva polovina) i otiska sa prekomernim PTV (desna polovina) (Heidelberger Druckmaschinen AG, 2008).....	44
Slika 2.27. CIELAB krug boja (Kipphan, 2001)	45
Slika 2.28. Princip po kom se vrši određivanje (Heidelberger Druckmaschinen AG, 2008)	46
Slika 2.29. Izgled standardnih spektralnih krivih za pune tonske površine cijan i magenta boje, štampanih tehnikom tabačne ofset štampe (ISO 2846-1, 2006).....	47
Slika 2.30. Karakteristike refleksije različitih površina: a) refleksija/rasipanje svetlosti na glatkoj i hrapavoj površini, b) tipovi refleksije svetlosti na površinama različite površinske strukture, c) tipovi refleksije kod štampanih otisaka (papir sa glatkom i hrapavom površinskom strukturom i oplemenjeni otisak sa lakom) (Kipphan, 2001)	49
Slika 2.31. Izgled oplemenjenih štampanih proizvoda upotrebom: a) gliter laka, b) UV laka, c) kombinacije lakova za dobijanje retikulacionog efekta (JohnsByrne, 2016).....	51

Slika 2.32. Štampani otisci sa mirisnim mikrokapsulama: a) oglas sa mirisom za dezodorans u magazinu (The Aroma Company, n.d.), b) ambalaža za „Whitening Crest“ pastu za zube (Walmart Inc., n.d.)..	52
Slika 5.1. Izgled mašine za manuelnu sito štampu (DHgate, 2019)	61
Slika 5.2. Prikaz: a) alata za manuelno premazivanje BYK 4-sided applicator (Nemačka) i b) principa oplemenjivanja ovim alatom	62
Slika 5.3. Izgled korišćene mašine za tampon štampu (Centropapir Plus d.o.o., n.d.)	63
Slika 5.4. Izgled Prüfbau uređaja za test štampu u laboratorijskim uslovima	64
Slika 5.5. Izgled: a) SEM mikroskopa za morfološku analizu mikrokapsula i oplemenjenih otisaka (JSM 6060 LV, Jeol, Japan) i b) uređaj za pripremu uzoraka za SEM analizu (JFC 1300 Auto Fine Coater, Jeol, Japan)	66
Slika 5.6. Izgled korišćenog uređaja za merenje debljine uzoraka	67
Slika 5.7. Izgled: a) SpectroDens (Techkon, Nemačka) (offsetprintinginks, 2012) i b) Vipdens150 (Viptronic, Nemačka) mernog uređaja (Viptronic, n.d.)	68
Slika 5.8. Izgled digitalnog mikroskopa VT-300 Portable Digital Microscope (Elfa Distrelec, n.d.)..	69
Slika 5.9. Izgled korišćenog konfokalnog mikroskopa (Olympus, n.d.).....	70
Slika 5.10. Izgled korišćene test karte za tehniku ofset štampu	74
Slika 5.11. Izgled mašine za ofset tabačnu štampu KBA Performa 74.....	75
Slika 5.12. Izgled IGT F1 Basic High uređaja za oplemenjivanje otisaka.....	76
Slika 5.13. Izgled Nyloflex Combi F1 Super uređaja za izradu flekso štamparskih formi.....	77
Slika 5.14. Izgled: a) RK automatskog uređaja za oplemenjivanje (premazivanje) otisaka i b) glave za premazivanje	79
Slika 5.15. Izgled korišćene sušnice	80
Slika 5.16. Izgled RheolabQC C-PTD 180/AIR/QC reometra (Anton Paar, Austria).....	82
Slika 5.17. Uređaj za merenje pH vrednosti lakova.....	82
Slika 5.18. Izgled Dataphysics OCA20 goniometra (Institute of Photonics and Electronics, 2013)....	84
Slika 5.19. Izgled korišćenog AFM mikroskopa (VeeCO di CP II, SAD) (Riga Technical University, 2015).....	85
Slika 5.20. Izgled korišćenog Nano Indenter Agilent G200 uređaja za nanoindentaciju (Herbert Gleiter Institute of Nanoscience, 2016).....	87
Slika 5.21. Izgled korišćenog mernog uređaja za merenje sjaja	89
Slika 5.22. Prikaz digitalne analize slike za određivanje distribucije mirisnih mikrokapsula (oplemenjeni otisak sa L ₁ lakom i 15% mikrokapsula): a) originalna SEM slika, b) slika posle obrade (Adobe Photoshop CS6), c) slika nakon obrade (Fiji ImageJ), d) detektovane mikrokapsule u 1. od 25 podregiona slike	91

Slika 5.23. Izgled oba seta oplemenjenih uzoraka flekso tehnikom: F1 – F6 (levo) i automatskom tehnikom premazivanja: P1 – P6 (desno) za određivanje prisustva mirisa i njegovog intenziteta.....	93
Slika 6.1. Izgled mirisnih mikrokapsula u vodenoj suspenziji (MK ₁) (a) (SEM; 1.000× uvećanje) i njihova distribucija veličina i zapremina (b)	95
Slika 6.2. Suve, mirisne mikrokapsule (MK ₂) (a) (SEM; 1.000× uvećanje) i njihova distribucija veličina i zapremina (b)	96
Slika 6.3. Izgled suvih PCM mikrokapsula (MK ₃) (a) (SEM; 1.000× uvećanje) i njihova distribucija veličina i zapremina (b).....	97
Slika 6.4. Izgled površine korišćenih podloga za oplemenjivanje: a) transparentna folija, b) mat premazni papir (Nevia 170 g/m ²), c) sjajni premazni papir (Nevia 170 g/m ²) (SEM 500× uvećanje)	100
Slika 6.5. Površina uzoraka oplemenjenih sito tehnikom štampe SL ₁ (a), SL ₁ –MK ₁ (b), SL ₂ (d), SL ₂ –MK ₁ (e), SL ₃ (g) i SL ₃ –MK ₂ (h), sa pripadajućim poprečnim preseccima od SL ₁ –MK ₁ (c), SL ₂ –MK ₁ (f) i SL ₃ –MK ₂ (i); (SEM; 500× uvećanje).....	101
Slika 6.6. Površina uzoraka oplemenjenih ručnom tehnikom premazivanja PL ₁ (a), PL ₁ –MK ₁ (b), PL ₂ (d), PL ₂ –MK ₁ (e), PL ₃ (g) i PL ₃ –MK ₂ (h), sa pripadajućim poprečnim preseccima od PL ₁ –MK ₁ (c), PL ₂ –MK ₁ (f) i PL ₃ –MK ₂ (i); (SEM; 500× uvećanje)	102
Slika 6.7. Površina uzoraka štampanih ofset tehnikom štampe: a) OL _{1_0%} , b) OL _{1_0%} nagib, c) OL _{1_1%} , d) OL _{1_1%} nagib, e) OL _{1_15%} , f) OL _{1_15%} nagib, (SEM; 500× i 2000× uvećanje).....	103
Slika 6.8. Površina uzoraka štampanih ofset tehnikom štampe: a) OL _{2_0%} , b) OL _{2_0%} nagib, c) OL _{2_1%} , d) OL _{2_1%} nagib, e) OL _{2_15%} , f) OL _{2_15%} nagib, (SEM; 500× i 2000× uvećanje).....	104
Slika 6.9. Izgled površine oplemenjenih uzoraka tampon štampom: a) mat R ₆₀ , b) mat R ₂₀ , c) sjajni R ₆₀ i d) sjajni R ₂₀ (SEM; 100× uvećanje)	105
Slika 6.10. Izgled krivih napon-deformacija za uzorke: mirisne mikrokapsule, transparentna folija i oplemenjeni uzorci	106
Slika 6.11. Relativna spektralna refleksija uzoraka sa i bez mikrokapsula koristeći dva nanosa boje (R ₂₀ i R ₆₀): a) 170 g/m ² mat premazni papir, b) 170 g/m ² sjajni premazni papir	107
Slika 6.12. Razlike u boji (ΔE_{ab}) između neoplemenjenih i oplemenjenih uzoraka belom bojom i PCM mikrokapsulama	108
Slika 6.13. Izgled folije: a) bez laka, b) sa L ₁ lakom bez mikrokapsula, c) sa L ₁ lakom i 1% mikrokapsula, d) sa L ₁ lakom i 15% mikrokapsula (1000× uvećanje)	109
Slika 6.14. Izgled mirisnih mikrokapsulaf u vodenoj suspenziji (a) (SEM; 1.000× uvećanje), i njihova distribucija veličina i zapremina (b)	111
Slika 6.15. Masa suvog ostatka mirisnih mikrokapsula u vodenoj suspenziji tokom 180 minuta na 135 °C.....	112
Slika 6.16. Viskozitet lakova i mešavine lakova i različitih koncentracija mikrokapsula	114

Slika 6.17. Rezultati debljine otisaka oplemenjenih automatskom tehnikom premazivanja: a) mat premazni papir, b) sjajni premazni papir; i procentualno povećanje debljine oplemenjenih otisaka: c) mat premazni papir, d) sjajni premazni papir	115
Slika 6.18. Rezultati debljine otisaka oplemenjenih flekso tehnikom štampe: a) mat premazni papir, b) sjajni premazni papir; i procentualno povećanje debljine oplemenjenih uzoraka: c) mat premazni papir, d) sjajni premazni papir	116
Slika 6.19. Rezultati gramature uzoraka oplemenjenih tehnikom automatskog premazivanja: a) mat premazni papir, b) sjajni premazni papir, i procentualno povećanje gramature oplemenjenih uzoraka: c) mat premazni papir, d) sjajni premazni papir	119
Slika 6.20. Rezultati gramature uzoraka oplemenjenih flekso tehnikom štampe: a) mat premazni papir, b) sjajni premazni papir, i povećanje gramature oplemenjenih uzoraka: c) mat premazni papir, d) sjajni premazni papir	120
Slika 6.21. Izgled površine mat i sjajnog premaznog papira: a) neodštampana površina (mat), b) pun ton i čista površina (mat), c) pun ton (mat), d) neodštampana površina (sjajni), e) pun ton i čista površina (sjajni), f) pun ton (sjajni), (SEM, 500× uvećanje)	123
Slika 6.22. Izgled oplemenjenih otisaka mat premaznog papira korišćenjem automatske tehnike premazivanja i L ₁ laka: a) 0%, b) 1%, c) 7% i d) 15% (SEM, 500× uvećanje)	124
Slika 6.23. Izgled oplemenjenih otisaka mat premaznog papira korišćenjem automatske tehnike premazivanja i L ₂ laka: a) 0%, b) 1%, c) 7% i d) 15% (SEM, 500× uvećanje)	125
Slika 6.24. Izgled oplemenjenih otisaka sjajnog premaznog papira korišćenjem automatske tehnike premazivanja i L ₁ laka: a) 0%, b) 1%, c) 7% i d) 15% (SEM, 500× uvećanje)	126
Slika 6.25. Izgled oplemenjenih otisaka sjajnog premaznog papira korišćenjem automatske tehnike premazivanja i L ₂ laka: a) 0%, b) 1%, c) 7% i d) 15% (SEM, 500× uvećanje)	127
Slika 6.26. Izgled oplemenjenih otisaka mat premaznog papira korišćenjem flekso tehnike štampe i L ₁ laka: a) 0%, b) 1%, c) 7% i d) 15% (SEM, 500× uvećanje).....	128
Slika 6.27. Izgled oplemenjenih otisaka mat premaznog papira korišćenjem flekso tehnike štampe i L ₂ laka: a) 0%, b) 1%, c) 7% i d) 15% (SEM, 500× uvećanje).....	129
Slika 6.28. Izgled oplemenjenih otisaka sjajnog premaznog papira korišćenjem flekso tehnike štampe i L ₁ laka: a) 0%, b) 1%, c) 7% i d) 15% (SEM, 500× uvećanje)	130
Slika 6.29. Izgled oplemenjenih otisaka sjajnog premaznog papira korišćenjem flekso tehnike štampe i L ₂ laka: a) 0%, b) 1%, c) 7% i d) 15% (SEM, 500× uvećanje)	131
Slika 6.30. 3D prikaz izgleda površine: a) mat premaznog papira, b) punog tona na mat premaznom papiru, c) sjajnog premaznog papira i d) punog tona na sjajnom premaznom papiru	132
Slika 6.31. 3D prikaz oplemenjenih površina mat premaznog papira automatskom tehnikom premazivanja: a) PL1_0%_mat, b) PL1_1%_mat, c) PL1_7%_mat, d) PL1_15%_mat, e) PL2_0%_mat, f) PL2_1%_mat, g) PL2_7%_mat, h) PL2_15%_mat	135

Slika 6.32. 3D prikaz oplemenjenih površina mat premaznog papira tehnikom flekso štampe: a) FL1_0%_mat, b) FL1_1%_mat, c) FL1_7%_mat, d) FL1_15%_mat, e) FL2_0%_mat, f) FL2_1%_mat, g) FL2_7%_mat, h) FL2_15%_mat	136
Slika 6.33. 3D prikaz oplemenjenih površina sjajnog premaznog papira automatskom tehnikom premazivanja: a) PL1_0%_sjajni, b) PL1_1%_sjajni, c) PL1_7%_sjajni, d) PL1_15%_sjajni, e) PL2_0%_sjajni, f) PL2_1%_sjajni, g) PL2_7%_sjajni, h) PL2_15%_sjajni	138
Slika 6.34. 3D prikaz oplemenjenih površina sjajnog premaznog papira flekso tehnikom štampe: a) FL1_0%_sjajni, b) FL1_1%_sjajni, c) FL1_7%_sjajni, d) FL1_15%_sjajni, e) FL2_0%_sjajni, f) FL2_1%_sjajni, g) FL2_7%_sjajni, h) FL2_15%_sjajni	139
Slika 6.35. Izgled krivih napon-deformacija: mikrokapsula, mat i sjajnog premaznog papira, kao i odštampanog sloja boje na oba tipa premazna papira	143
Slika 6.36. Izgled krivih napon-deformacija oplemenjenih otisaka mat premaznog papira: a) L ₁ lakom i aut. teh. premazivanja, b) L ₂ lakom i aut. teh. premazivanja, c) L ₁ lakom i tehnikom flekso štampe, d) L ₂ lakom i tehnikom flekso štampe	145
Slika 6.37. Izgled krivih napon-deformacija oplemenjenih otisaka sjajnog premaznog papira: a) L ₁ lakom i aut. teh. premazivanja, b) L ₂ lakom i aut. teh. premazivanja, c) L ₁ lakom i tehnikom flekso štampe, d) L ₂ lakom i tehnikom flekso štampe	147
Slika 6.38. Izgled svih krivih napon-deformacija oplemenjenih otisaka automatskom tehnikom premazivanja: a) PL ₁ _7%_mat, b) PL ₁ _15%_sjajni i flekso tehnikom štampe: c) FL ₁ _0%_sjajni, d) FL ₂ _15%_sjajni	148
Slika 6.39. Rezultati optičke gustine štampanih i oplemenjenih otisaka cijan boje: a) mat premazni papir, L ₁ lak, b) sjajni premazni papir, L ₁ lak, c) mat premazni papir, L ₂ lak, d) sjajni premazni papir L ₂ lak (automatska tehnika premazivanja).....	152
Slika 6.40. Rezultati optičke gustine štampanih i oplemenjenih otisaka cijan boje: a) mat premazni papir, L ₁ lak, b) sjajni premazni papir, L ₁ lak, c) mat premazni papir, L ₂ lak, d) sjajni premazni papir L ₂ lak (flekso tehnika štampe)	154
Slika 6.41. Rezultati optičke gustine štampanih i oplemenjenih otisaka magenta boje: a) mat premazni papir, L ₁ lak, b) sjajni premazni papir, L ₁ lak, c) mat premazni papir, L ₂ lak, d) sjajni premazni papir L ₂ lak (automatska tehnika premazivanja)	155
Slika 6.42. Rezultati optičke gustine štampanih i oplemenjenih otisaka magenta boje: a) mat premazni papir, L ₁ lak, b) sjajni premazni papir, L ₁ lak, c) mat premazni papir, L ₂ lak, d) sjajni premazni papir L ₂ lak (flekso tehnika štampe).....	156
Slika 6.43. Rezultati porasta TV štampanih otisaka cijan bojom i oplemenjenih otisaka automatskom tehnikom premazivanja: a) mat premazni papir L ₁ lak, b) sjajni premazni papir L ₁ lak, c) mat premazni papir L ₂ lak, d) sjajni premazni papir L ₂ lak.....	159
Slika 6.44. Rezultati porasta TV štampanih otisaka cijan bojom i oplemenjenih otisaka flekso tehnikom štampe: a) mat premazni papir L ₁ lak, b) sjajni premazni papir L ₁ lak, c) mat premazni papir L ₂ lak, d) sjajni premazni papir L ₂ lak.....	160

Slika 6.45. Rezultati porasta TV štampanih otisaka magenta bojom i oplemenjenih otisaka automatskom tehnikom premazivanja: a) mat premazni papir L ₁ lak, b) sjajni premazni papir L ₁ lak, c) mat premazni papir L ₂ lak, d) sjajni premazni papir L ₂ lak.....	162
Slika 6.46. Rezultati porasta TV štampanih otisaka magenta bojom i oplemenjenih otisaka flekso tehnikom štampe: a) mat premazni papir L ₁ lak, b) sjajni premazni papir L ₁ lak, c) mat premazni papir L ₂ lak, d) sjajni premazni papir L ₂ lak.....	163
Slika 6.47. Rezultati relativne spektralne refleksije štampanih uzoraka cijan boje i oplemenjenih otisaka automatskom tehnikom premazivanja: a) mat premazni papir L ₁ lak, b) sjajni premazni papir L ₁ lak, c) mat premazni papir L ₂ lak, d) sjajni premazni papir L ₂ lak.....	164
Slika 6.48. Rezultati relativne spektralne refleksije štampanih uzoraka cijan bojom i oplemenjenih otisaka flekso tehnikom štampe: a) mat premazni papir L ₁ lak, b) sjajni premazni papir L ₁ lak, c) mat premazni papir L ₂ lak, d) sjajni premazni papir L ₂ lak.....	166
Slika 6.49. Rezultati relativne spektralne refleksije štampanih uzoraka magenta bojom i oplemenjenih otisaka automatskom tehnikom premazivanja: a) mat premazni papir L ₁ lak, b) sjajni premazni papir L ₁ lak, c) mat premazni papir L ₂ lak, d) sjajni premazni papir L ₂ lak.....	167
Slika 6.50. Rezultati relativne spektralne refleksije štampanih uzoraka magenta bojom i oplemenjenih otisaka flekso tehnikom štampe: a) mat premazni papir L ₁ lak, b) sjajni premazni papir L ₁ lak, c) mat premazni papir L ₂ lak, d) sjajni premazni papir L ₂ lak.....	168
Slika 6.51. Rezultati sjaja štampanih uzoraka cijan bojom i oplemenjenih otisaka automatskom tehnikom premazivanja: a) mat premazni papir L ₁ lak, b) sjajni premazni papir L ₁ lak, c) mat premazni papir L ₂ lak, d) sjajni premazni papir L ₂ lak.....	170
Slika 6.52. Rezultati sjaja štampanih uzoraka cijan bojom i oplemenjenih otisaka flekso tehnikom štampe: a) mat premazni papir L ₁ lak, b) sjajni premazni papir L ₁ lak, c) mat premazni papir L ₂ lak, d) sjajni premazni papir L ₂ lak.....	171
Slika 6.53. Rezultati sjaja štampanih uzoraka magenta bojom i oplemenjenih otisaka automatskom tehnikom premazivanja: a) mat premazni papir L ₁ lak, b) sjajni premazni papir L ₁ lak, c) mat premazni papir L ₂ lak, d) sjajni premazni papir L ₂ lak.....	172
Slika 6.54. Rezultati sjaja štampanih uzoraka magenta bojom i oplemenjenih otisaka flekso tehnikom štampe: a) mat premazni papir L ₁ lak, b) sjajni premazni papir L ₁ lak, c) mat premazni papir L ₂ lak, d) sjajni premazni papir L ₂ lak.....	173
Slika 6.55. Rezultati razlika u boji štampanih otisaka cijan bojom, oplemenjenih automatskom tehnikom premazivanja: a) mat premazni papir L ₁ lak, b) sjajni premazni papir L ₁ lak, c) mat premazni papir L ₂ lak, d) sjajni premazni papir L ₂ lak	177
Slika 6.56. Rezultati razlika u boji štampanih otisaka cijan bojom, oplemenjenih flekso tehnikom štampe: a) mat premazni papir L ₁ lak, b) sjajni premazni papir L ₁ lak, c) mat premazni papir L ₂ lak, d) sjajni premazni papir L ₂ lak.....	178
Slika 6.57. Rezultati razlika u boji štampanih otisaka magenta bojom, oplemenjenih automatskom tehnikom premazivanja: a) mat premazni papir L ₁ lak, b) sjajni premazni papir L ₁ lak, c) mat premazni papir L ₂ lak, d) sjajni premazni papir L ₂ lak.....	180

Slika 6.58. Rezultati razlika u boji štampanih otisaka magenta bojom, oplemenjenih flekso tehnikom štampe: a) mat premazni papir L ₁ lak, b) sjajni premazni papir L ₁ lak, c) mat premazni papir L ₂ lak, d) sjajni premazni papir L ₂ lak.....	181
Slika 6.59. Izgled obrađenih SEM slika za analizu distribucije mikrokapsula oplemenjenih otisaka mat premaznog papira: a) PL1_15%_mat, b) FL1_15%_mat, c) PL2_15%_mat, d) FL2_15%_mat.....	187
Slika 6.60. Izgled obrađenih SEM slika za analizu distribucije mikrokapsula oplemenjenih otisaka sjajnog premaznog papira: a) PL1_15%_sjajni, b) FL1_15%_sjajni, c) PL2_15%_sjajni, d) FL2_15%_sjajni	189
Slika 6.61. Procenat uspešnosti prepoznavanja percipiranog mirisa	193
Slika 6.62. Intenzitet mirisa netrljanih otisaka oplemenjenih automatskom tehnikom premazivanja (P) i flekso tehnikom štampe (F).....	194
Slika 6.63. Rezultati intenziteta mirisa trljanih otisaka oplemenjenih: a) automatskom tehnikom premazivanja i b) flekso tehnikom štampe.....	194
Slika 6.64. Rezultati rangiranja uzoraka: P1, P2 i F1, F2 na osnovu percipiranog intenziteta mirisa	195
Slika 6.65. Rezultati rangiranja uzoraka: P1, P2, P3 i F1, F2, F3 na osnovu percipiranog intenziteta mirisa.....	196
Slika 6.66. Rezultati rangiranja uzoraka: P1, P2, P3, P4 i F1, F2, F3, F4 na osnovu percipiranog intenziteta mirisa	196
Slika 6.67. Rezultati rangiranja uzoraka: P1, P2, P3, P4, P5 i F1, F2, F3, F4, F5 na osnovu percipiranog intenziteta mirisa	197
Slika 6.68. Rezultati rangiranja uzoraka: P1, P2, P3, P4, P5, P6 i F1, F2, F3, F4, F5, F6 na osnovu percipiranog intenziteta mirisa	198
Slika 7.1. Izgled neštampane, neoplemenjene površine: a) mat premaznog papira i b) sjajnog premaznog papira (SEM, 500× uvećanje).....	202
Slika 11.1. Izgled svih krivih napon-deformacija: a) neodštampani mat premazni papir, b) štampani mat premazni papir (pun ton), c) neodštampani sjajni premazni papir, d) štampani sjajni premazni papir (pun ton)	247
Slika 11.2. Izgled svih krivih napon-deformacija mat premaznog papira oplemenjenog automatskom tehnikom premazivanja L ₁ i L ₂ lakom: a) PL ₁ 0%_mat, b) PL ₁ 1%_mat, c) PL ₁ 7%_mat, d) PL ₁ 15%_mat, e) PL ₂ 0%_mat, f) PL ₂ 1%_mat, g) PL ₂ 7%_mat, h) PL ₂ 15%_mat.....	248
Slika 11.3. Izgled svih krivih napon-deformacija mat premaznog papira oplemenjenog flekso tehnikom štampe L ₁ i L ₂ lakom: a) FL ₁ 0%_mat, b) FL ₁ 1%_mat, c) FL ₁ 7%_mat, d) FL ₁ 15%_mat, e) FL ₂ 0%_mat, f) FL ₂ 1%_mat, g) FL ₂ 7%_mat, h) FL ₂ 15%_mat.....	249
Slika 11.4. Izgled svih krivih napon-deformacija sjajnog premaznog papira oplemenjenog automatskom tehnikom premazivanja L ₁ i L ₂ lakom: a) PL ₁ 0%_sjajni, b) PL ₁ 1%_sjajni, c) PL ₁ 7%_sjajni, d) PL ₁ 15%_sjajni, e) PL ₂ 0%_sjajni, f) PL ₂ 1%_sjajni, g) PL ₂ 7%_sjajni, h) PL ₂ 15%_sjajni	250

Slika 11.5. Izgled svih krivih napon-deformacija sjajnog premaznog papira oplemenjenog flekso tehnikom štampe L₁ i L₂ lakom: a) FL_{1_0%}_sjajni, b) FL_{1_1%}_sjajni, c) FL_{1_7%}_sjajni, d) FL_{1_15%}_sjajni, e) FL_{2_0%}_sjajni, f) FL_{2_1%}_sjajni, g) FL_{2_7%}_sjajni, h) FL_{2_15%}_sjajni 251

Spisak tabela

Tabela 2.1. Komercijalni proizvodi sa mikrokapsulama i njihova primena u grafičkoj industriji	9
Tabela 2.2. Štamparske i ostale tehnike za prenos mikrokapsula na podlogu.....	16
Tabela 2.3. Tehnike i principi mikroenkapsulacije koji se koriste u grafičkoj industriji	18
Tabela 2.4. Principi mikroenkapsulacije i parametri procesa koji utiču na karakteristike mikrokapsula	21
Tabela 2.5. Relativni opseg veličina mikrokapsula proizvedenih različitim tehnikama mikroenkapsulacije (Ghosh, 2006).....	23
Tabela 5.1 Osnovni podaci o korišćenim podlogama za oplemenjivanje.....	60
Tabela 5.2. Tehničke karakteristike HS-30D WiseStir uređaja za mešanje mikrokapsula i lakova (Witeg Labortechnik GmbH, n.d.)	62
Tabela 5.3. Osnovne tehničke karakteristike korišćene mašine za tampon štampu	64
Tabela 5.4. Tehničke karakteristike SEM mikroskopa JSM 6460 LV (NTF, n.d.).....	66
Tabela 5.5. Tehničke karakteristike uređaja za pripremu uzoraka za SEM analizu JFC 1300 Auto Fine Coater (CEKSM, n.d.).....	67
Tabela 5.6. Tehničke karakteristike Spectrodens uređaja (Techkon, Nemačka).....	68
Tabela 5.7. Tehničke karakteristike Vipdens150 mernog uređaja (Viptronic, Nemačka).....	69
Tabela 5.8. Tehničke karakteristike VT-300 digitalnog mikroskopa (GWJ Co., 2018).....	70
Tabela 5.9. Najbitnije tehničke karakteristike korišćenog BX51 System mikroskopa (Olympus, n.d.)	70
Tabela 5.10. Osnovne karakteristike korišćenih papira (Lecta, Španija) (Lecta, n.d.).....	71
Tabela 5.11. Karakteristike korišćenih boja za štampu (Sakata Inx Corporation, 2013)	72
Tabela 5.12. Tehničke karakteristike Luxel V-6 e CtP uređaja (Fujifilm, n.d.)	73
Tabela 5.13. Tehničke karakteristike Libra VP digitalne štamparske ploče (Kodak, 2017)	74
Tabela 5.14. Osnovne tehničke karakteristike KBA Performa 74 tabačne, ofset mašine za štampu (KBA-Grafitec, 2006)	75
Tabela 5.15. Specifikacija IGT F1 Basic High uređaja i korišćeni parametri u postupku oplemenjivanja (IGT Testing Systems, 2016)	77
Tabela 5.16. Tehničke karakteristike uređaja za izradu flekso štamparskih formi (Flexo-Technic Handel GmbH, 2008).....	78
Tabela 5.17. Specifikacija automatskog uređaja za premazivanje K303 Multi Coater i korišćena podešavanja za proces oplemenjivanja (American laboratory trading, 2018).....	79

Tabela 5.18. Tehničke karakteristike korišćene Binder sušnice (American laboratory trading, 2018)	80
Tabela 5.19. Tehničke karakteristike korišćenog reometra (Anton Paar, n.d.)	81
Tabela 5.20. Tehničke karakteristike korišćenog uređaja za merenje površinskog napona	83
Tabela 5.21. Tehničke karakteristike korišćenog AFM mikroskopa VeeCO di CP II (Karlović, 2010)	86
Tabela 5.22. Tehničke karakteristike korišćenog Nano Indenter Agilent G200 uređaja za nanoindentaciju (Agilent Technologies, 2013)	88
Tabela 5.23. Tehničke karakteristike korišćenog uređaja za merenje sjaja (Elcometer 407 Statistical Glossmeter, X-Rite, SAD) (X-Rite, 2011)	90
Tabela 6.1. Izmerene vrednosti debljine i gramature oplemenjenih uzoraka sito tehnikom štampe i manuelnom tehnikom premazivanja	98
Tabela 6.2. Osnovne karakteristike korišćenih papira	98
Tabela 6.3. Izmerene debljine sloja boje štampanih uzoraka	99
Tabela 6.4. Izmerene širine linija na štampanim uzorcima sa i bez mikrokapsula	99
Tabela 6.5. Mikromehaničke karakteristike mirisnih mikrokapsula, folije i oplemenjenih uzoraka	106
Tabela 6.6. Karakteristike korišćenih mirisnih mikrokapsula i lakova	113
Tabela 6.7. Rezultati statističke analize vrednosti debljine oplemenjenog sloja laka	117
Tabela 6.8. Rezultati statističke analize vrednosti gramature oplemenjenih otisaka	121
Tabela 6.9. Površinska hrapavost neodštampanih i štampanih uzoraka (S_a , S_q , S_{sk} i S_{ku})	132
Tabela 6.10. Površinska hrapavost otisaka mat premaznog papira oplemenjenih automatskom tehnikom premazivanja i flekso tehnikom štampe (S_a , S_q , S_{sk} i S_{ku} parametar)	134
Tabela 6.11. Površinska hrapavost otisaka sjajnog premaznog papira oplemenjenih automatskom tehnikom premazivanja i flekso tehnikom štampe (S_a , S_q , S_{sk} i S_{ku} parametar)	137
Tabela 6.12. Rezultati statističke analize vrednosti srednjeg kvadratnog odstupanja (S_q) oplemenjenih otisaka	141
Tabela 6.13. Mikromehaničke karakteristike mirisnih mikrokapsula, neodštampanih i štampanih premaznih papira	142
Tabela 6.14. Rezultati mikromehaničkih karakteristika oplemenjenih otisaka mat premaznog papira	144
Tabela 6.15. Rezultati mikromehaničkih karakteristika oplemenjenih otisaka sjajnog premaznog papira	146
Tabela 6.16. Rezultati statističke analize vrednosti deformacije oplemenjenih otisaka	149
Tabela 6.17. Rezultati statističke analize vrednosti deformacije oplemenjenih otisaka	150
Tabela 6.18. Rezultati statističke analize vrednosti deformacije oplemenjenih otisaka	151

Tabela 6.19. Rezultati statističke analize vrednosti optičke gustine oplemenjenih otisaka cijan boje	157
Tabela 6.20. Rezultati statističke analize vrednosti optičke gustine oplemenjenih otisaka cijan boje	158
Tabela 6.21. Rezultati statističke analize vrednosti sjaja oplemenjenih otisaka štampanih cijan bojom	174
Tabela 6.22. Rezultati statističke analize vrednosti sjaja oplemenjenih otisaka štampanih cijan bojom	175
Tabela 6.23. Rezultati CIE LAB vrednosti neoplemenjenog i oplemenjenih otisaka štampanih cijan bojom	176
Tabela 6.24. Rezultati CIE LAB vrednosti neoplemenjenog i oplemenjenih otisaka štampanih magenta bojom	179
Tabela 6.25. Rezultati statističke analize vrednosti razlike u boji oplemenjenih otisaka cijan boje ..	182
Tabela 6.26. Rezultati statističke analize vrednosti razlike u boji oplemenjenih otisaka cijan boje ..	183
Tabela 6.27. Belina i žutoća neoplemenjenih i oplemenjenih mat i sjajnih premaznih papira	185
Tabela 6.28. Rezultati distribucije mikrokapsula oplemenjenih otisaka mat premaznog papira	187
Tabela 6.29. Rezultati distribucije mikrokapsula oplemenjenih otisaka sjajnog premaznog papira ...	188
Tabela 6.30. Rezultati statističke analize distribucije oplemenjenih otisaka	191
Tabela 6.31. Rezultati statističke analize vrednosti intenziteta mirisa oplemenjenih otisaka	199
Tabela 11.1. Multifaktorska analiza varijanse rezultata debljine oplemenjenih slojeva	242
Tabela 11.2. Multifaktorska analiza varijanse rezultata gramature oplemenjenih otisaka	243
Tabela 11.3. Multifaktorska analiza varijanse rezultata površinske hrapavosti (S_q) oplemenjenih otisaka	243
Tabela 11.4. Multifaktorska analiza varijanse rezultata deformacije oplemenjenih otisaka	244
Tabela 11.5. Multifaktorska analiza varijanse rezultata optičke gustine oplemenjenih otisaka cijan boje	244
Tabela 11.6. Multifaktorska analiza varijanse rezultata sjaja oplemenjenih otisaka cijan boje	245
Tabela 11.7. Multifaktorska analiza varijanse rezultata razlike u boji otisaka štampanih cijan bojom	245
Tabela 11.8. Multifaktorska analiza varijanse rezultata distribucije oplemenjenih otisaka	246
Tabela 11.9. Multifaktorska analiza varijanse rezultata intenziteta mirisa oplemenjenih otisaka	246

Spisak skraćenica

AFM – *atomic force microscopy* – mikroskopija atomskih sila

CCD – *Charged Coupled Device* – uređaj sa spregnutim naelektrisanjem

CIE – *Commision Internationale de l' Eclairage* – Međunarodna komisija za osvetljenje

CtP – *Computer-to-Plate* – tehnologija od kompjutera do štamparske forme

DBD – *dielectric barrier discharge* – tretman niskotemperaturnom plazmom

FTIR – *Fourier-transform infrared spectroscopy* – Furijeova infra-crvena spektroskopija

IR (IC) – infracrveni svetlosni spektar

LFM – *Linear frequency microscopy*

MFM – *Magnetic force microscopy*

NSOM – *Near-field Scanning optical microscopy*

PCM – *phase change material* – materijal koji menja agregatno stanje u zavisnosti od temperature okruženja

PVA – polivinil alkohol

PTV – porast tonskih vrednosti

PXCT – *ptychographic X-ray computed tomography*

SBFSEM – serijska block-face skenirajuća elektronska mikroskopija

SEM – *scanning electron microscopy* – skenirajuća elektronska mikroskopija

STM – *scanning tunneling microscopy*

TC – *thermochromic* – termohromatski materijal

TEM – *transmission electron microscopy* – transmiciona elektronska mikroskopija

TV – tonske vrednosti

UV – ultra violetno zračenje

Sadržaj

1 Uvod	1
1.1 Obrazloženje teme i okvira disertacije	2
1.2 Pregled sadržaja disertacije	4
2 Aktuelno stanje u oblasti istraživanja	5
2.1 Mikrokapsule – osnovni pojmovi.....	5
2.2 Primena mikrokapsula sa fokusom na grafičku i industriju papira	6
2.3 Oplemenjivanje otisaka u tehnici ofset štampe	10
2.3.1 Funkcionalni premazi.....	15
2.4 Štamparske i druge tehnike za aplikaciju mikrokapsula.....	15
2.5 Prednosti i mane tehnika koje omogućavaju aplikaciju mikrokapsula.....	17
2.6 Tehnike za proizvodnju mikrokapsula	18
2.7 Parametri procesa mikroenkapsulacije koji utiču na karakteristike mikrokapsula.....	20
2.8 Osobine mikrokapsula i metode za njihovu karakterizaciju.....	22
2.8.1 Određivanje fizičkih i hemijskih karakteristika mikrokapsula.....	22
2.8.2 Furijeova infra-crvena spektroskopija.....	24
2.8.3 Određivanje mehaničkih karakteristika mikrokapsula	25
2.8.4 Mehanizmi oslobađanja aktivne materije iz mikrokapsula	26
2.8.5 Metode za određivanje distribucije mikrokapsula u sloju boje ili laka	27
2.8.5.1 Metode zasnovane na određivanju udaljenosti između elemenata od interesa.....	28
2.8.5.2 Metode zasnovane na deljenju slike na podregione.....	29
2.8.5.3 Napredne metode za određivanje prostorne distribucije čestica u premazima	30
2.9 Karakteristike materijala oplemenjenih mikrokapsulama	31
2.10 Dugotrajnost apliciranih mikrokapsula	33
2.11 Karakterizacija površinskih osobina štampanih otisaka	35
2.11.1 Metode za karakterizaciju površinskih osobina materijala.....	38
2.11.2 Parametri površinske hrapavosti dela površine	39
2.12 Karakterizacija kvaliteta štampe.....	41
2.12.1 Parametri kvaliteta štampe	43
2.12.1.1 Optička gustina	43
2.12.1.2 Tonska vrednost i porast tonske vrednosti.....	43
2.12.1.3 Kolorimetrijska merenja štampanog otiska i određivanje razlika u boji	44

2.12.1.4	Spektralne krive	46
2.12.1.5	Belina i žutoća papira	47
2.12.1.6	Sjaj	48
2.13	Mirisi kao dodatna vrednost štampanog proizvoda	50
2.13.1	Subjektivne metode za testiranje otisaka oplemenjenih mirisnim mikrokapsulama	53
3	Predmet, problem i cilj istraživanja	55
4	Hipoteze istraživanja	57
5	Materijali i metode istraživanja	58
5.1	Preliminarni deo istraživanja	58
5.1.1	Materijali – preliminarni deo istraživanja	58
5.1.1.1	Mikrokapsule	58
5.1.1.2	Podloge za oplemenjivanje mikrokapsulama	59
5.1.1.3	Lakovi i boja za oplemenjivanje	60
5.1.2	Metode – preliminarni deo istraživanja	60
5.1.2.1	Priprema uzoraka i oplemenjivanje uzoraka mikrokapsulama	60
5.1.2.2	Karakterizacija materijala i oplemenjenih otisaka	65
5.2	Glavni deo istraživanja	71
5.2.1	Materijali – glavni deo istraživanja	71
5.2.1.1	Mikrokapsule	71
5.2.1.2	Podloge za štampu	71
5.2.1.3	Boje	71
5.2.1.4	Lakovi	72
5.2.2	Metode – glavni deo istraživanja	73
5.2.2.1	Priprema za štampu i štampa uzoraka	73
5.2.2.2	Oplemenjivanje uzoraka	76
5.2.3	Karakterizacija mikrokapsula	79
5.2.4	Karakterizacija lakova	81
5.2.5	Karakterizacija podloge za štampu	84
5.2.6	Karakterizacija oplemenjenih otisaka	84
5.2.6.1	Određivanje fizičkih karakteristika oplemenjenih otisaka	85
5.2.6.2	Određivanje morfoloških karakteristika oplemenjenih otisaka	85
5.2.6.3	Određivanje površinskih karakteristika oplemenjenih otisaka	85
5.2.6.4	Određivanje mikromehaničkih karakteristika oplemenjenih otisaka	87
5.2.6.5	Određivanje optičkih karakteristika oplemenjenih otisaka	89
5.2.6.6	Određivanje distribucije mirisnih mikrokapsula u oplemenjenom sloju laka	90

5.2.6.7	Određivanje prisustva i intenziteta prisutnog mirisa u oplemenjenim otiscima	92
5.2.7	Statistička analiza rezultata	94
6	Rezultati istraživanja	95
6.1	Preliminarni deo istraživanja	95
6.1.1	Analiza karakteristika mikrokapsula	95
6.1.2	Analiza karakteristika korišćenih podloga za oplemenjivanje i oplemenjenih uzoraka	97
6.1.3	Analiza mikromehaničkih karakteristika oplemenjenih uzoraka	105
6.1.4	Analiza optičkih karakteristika uzoraka oplemenjenih tampon tehnikom štampe	107
6.1.5	Mikroskopska analiza oplemenjenih uzoraka sa lakom i mikrokapsulama na foliji	108
6.1.6	Diskusija i zaključci preliminarnih istraživanja	109
6.2	Glavni deo istraživanja	111
6.2.1	Karakterizacija mikrokapsula	111
6.2.2	Karakterizacija lakova	112
6.2.3	Karakterizacija podloga za štampu i oplemenjenih otisaka	114
6.2.3.1	Analiza fizičkih karakteristika podloga za štampu i oplemenjenih otisaka	114
6.2.3.2	Analiza morfoloških karakteristika podloga za štampu i oplemenjenih otisaka	122
6.2.3.3	Analiza površinske hrapavosti oplemenjenih otisaka	131
6.2.3.4	Analiza mikromehaničkih karakteristika oplemenjenih otisaka	141
6.2.3.5	Analiza optičkih karakteristika oplemenjenih otisaka	151
6.2.3.6	Analiza distribucije mirisnih mikrokapsula u oplemenjenom sloju laka	185
6.2.3.7	Analiza prisustva i intenziteta prisutnog mirisa u oplemenjenim otiscima	192
7	Diskusija rezultata istraživanja	200
7.1	Diskusija rezultata karakterizacije mirisnih mikrokapsula	200
7.2	Diskusija rezultata karakterizacije lakova	200
7.3	Diskusija rezultata karakterizacije podloge za štampu i oplemenjenih otisaka	201
7.3.1	Diskusija rezultata fizičkih karakteristika podloge za štampu i oplemenjenih otisaka	201
7.3.2	Diskusija rezultata morfoloških karakteristika podloge za štampu i oplemenjenih otisaka	203
7.3.3	Diskusija rezultata površinske hrapavosti podloge za štampu i oplemenjenih otisaka	205
7.3.4	Diskusija rezultata mikromehaničkih osobina podloge za štampu i oplemenjenih otisaka	206
7.3.5	Diskusija rezultata optičkih osobina oplemenjenih otisaka	208
7.3.5.1	Diskusija rezultata optičke gustine oplemenjenih otisaka	208
7.3.5.2	Diskusija rezultata porasta tonskih vrednosti oplemenjenih otisaka	209
7.3.5.3	Diskusija rezultata relativne spektralne refleksije oplemenjenih otisaka	209
7.3.5.4	Diskusija rezultata sjaja oplemenjenih otisaka	210

7.3.5.5	Diskusija rezultata razlika u boji (ΔE^*_{ab}) oplemenjenih otisaka	211
7.3.5.6	Diskusija rezultata beline i žutoće oplemenjenih premaznih papira.....	212
7.3.6	Diskusija rezultata distribucije mirisnih mikrokapsula u oplemenjenom sloju laka	212
7.3.7	Diskusija rezultata prisustva i intenziteta prisutnog mirisa u oplemenjenim otiscima.....	213
8	Zaključci istraživanja	215
9	Naučni doprinos istraživanja i mogućnosti primene rezultata istraživanja u praksi	221
10	Literatura.....	222
11	Prilozi	242
12	Biografija sa bibliografijom	265

1 Uvod

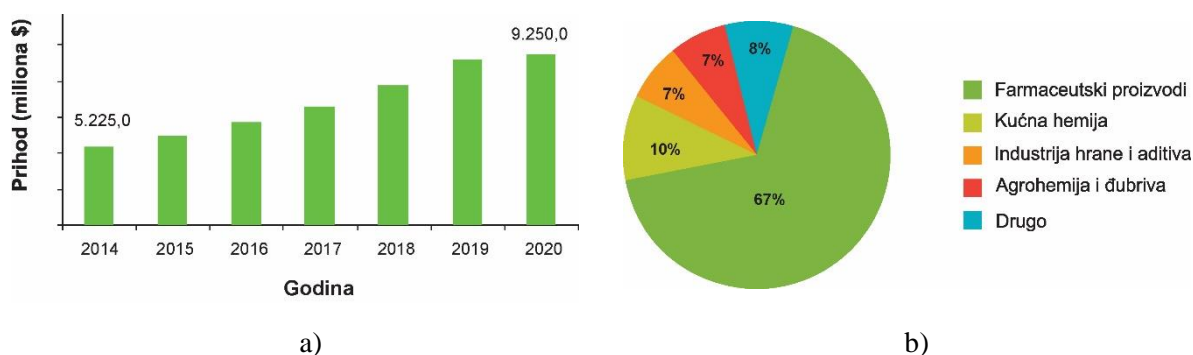
Počeci razvoja tehnologije mikroenkapsulacije vezani su za kraj pedesetih godina prošlog veka i istraživače kompanije Dupont-Nemours (SAD), koji su objavili seriju naučnih radova koji se bave opštom prirodom tehnike međupovršinske polimerizacije (*eng. interfacial polymerization*) i njenim glavnim varijablama, u cilju korišćenja ove tehnologije za proizvodnju mikrokapsula. Tehnologija mikroenkapsulacije je u velikoj meri već sastavni deo naših svakodnevnih života. Ona se još uvek razvija, pronalazi primenu u različitim poljima, menjajući živote ljudi na jedan pozitivan i suptilan način. Mikrokapsule nisu proizvod za direktnu upotrebu, već predstavljaju jedan međusistem koji se koristi za razvoj inovativnih proizvoda ili u unapređenje određenih procesa. Prva komercijalna upotreba mikrokapsula i ove nove tehnologije uopšte, bila je za proizvodnju beskarbonskog samokopirajućeg papira (*eng. carbonless copy paper*) koji predstavlja jedan od najznačajnijih proizvoda tehnologije mikroenkapsulacije. U narednim godinama, tehnologija mikroenkapsulacije se ubrzano razvijala i bivala prihvaćena od strane mnogih industrijskih sektora za proizvodnju različitih proizvoda kao što su: grafička industrija (beskarbonski samokopirajući papir), agrohemija (mikrokapsule sa sporim oslobađanjem enkapsulirane aktivne materije), prehrambena industrija (brzooslobađajuće arome za kuvanje, imobilizacija kvasaca za proizvodnju šampanjca ili piva), proizvodnja termoregulacionih materijala enkapsulacijom PCM materija (*eng. phase change material*) čije jezgro menja agregatno stanje u zavisnosti od temperature okruženja, zatim proizvodnja „inteligentnih“ tekstilnih materijala koji odgovaraju na različite stimuluse (npr. monitoring zdravstvenog stanja), automobilska industrija (npr. pojedini šrafovi se fiksiraju pucanjem mikrokapsula koje enkapsuliraju lepilo), kućna hemija (deterdženti za sudo i veš mašine sadrže enkapsulirane enzime), medicina (proizvodnja veštačkih organa)... (Poncelet, 2015). Što se tiče grafičke i industrije papira, mikroenkapsulacija se danas najviše koristi za proizvodnju beskarbonskog samokopirajućeg papira, mernih filmova osetljivih na pritisak, termohromatskih boja, ekspanirajućih mikrosfera za proizvodnju „bubrećeg“ papira ili dobijanje 3D efekata na otisku, zatim za mikroenkapsuliranje enzima (bioaktivni materijali), proizvodnju termalnih CtP štamparskih ploča (*eng. Computer-to-Plate*), funkcionalnih tekstila (npr. sa apliciranim mirisnim ili PCM mikrokapsulama), izradu proizvoda sa dodatnom vrednošću apliciranjem mikrokapsula sa mirisima. Mikrokapsule se mogu proizvesti mnogobrojnim tehnikama mikroenkapsulacije, a odabir tehnike zavisi od buduće primene mikrokapsula i njihove funkcionalnosti, odnosno aktivne materije koju enkapsuliraju u svom jezgru.

Kvalitet finalnog proizvoda u grafičkoj industriji gotovo da isključivo zavisi od vizuelnog doživljaja odštampanog proizvoda, međutim pored vizuelnog i taktilnog aspekta štampanog materijala, napredak različitih tehnika štampe i implementacija drugih tehnologija, kao što je tehnologija mikroenkapsulacije, je omogućio i uključivanje mirisa u štampani otisak. Oplemenjivanje štampanih otisaka mikrokapsulama pored toga što dodaje vrednost finalnom štampanom proizvodu, time što mu omogućava različite funkcionalnosti, ono takođe utiče i na promenu osnovnih fizičkih, mehaničkih i optičkih karakteristika otisaka i podloge za štampu (Blanco-Pascual, i drugi, 2014; Pavić, 2015a; Tarnopol, 2011; Urbas, i drugi, 2015; Manojlović, 2013). Zato je veoma bitno izvršiti opsežnu karakterizaciju štampanih otisaka oplemenjenih mirisnim mikrokapsulama kako bi se stekao uvid u ponašanje mikrokapsula pri različitim postupcima aplikacije, njihovo stanje na odštampanom otisku,

uzroke potencijalnih problema i grešaka koje mogu nastati prilikom oplemenjivanja, kao i na koji način i u kojoj meri oplemenjivanje otiska mirisnim mikrokapsulama utiče na njegove osnovne karakteristike. Time će se obezbediti stvaranje osnova za tačno definisanje uticaja mirisnih mikrokapsula i njihove koncentracije na najbitnija svojstva oplemenjenih otisaka i obezbediti vredne informacije koje će omogućiti unapređenje kvaliteta oplemenjenih otisaka sa mirisnim mikrokapsulama.

1.1 Obrazloženje teme i okvira disertacije

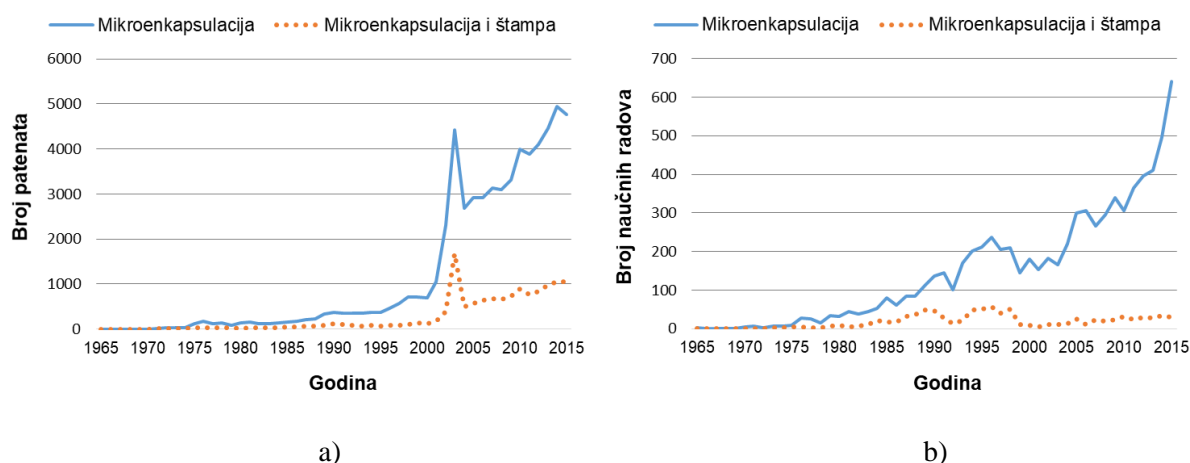
O aktuelnosti teme i potrebama istraživanja u oblasti razvoja i primene tehnologije mikroenkapsulacije u okviru grafičke, ali i drugih industrija, govori nekoliko pokazatelja. Pojedini autori ukazuju na to da će tržište mikroenkapsuliranih proizvoda do 2018. godine vredeti približno 7,5 milijardi dolara (Baker, 2013), a procenjuje se da će se vrednost do 2020. godine povećati na blizu 9,5 milijardi dolara, uz ukupnu godišnju stopu rasta od preko 9,5% od 2015. do 2020. godine, slika 1.1 a (Market Research Store, 2016). Razlog povećanja broja različitih mikroenkapsuliranih proizvoda na tržištu su mogućnosti proizvodnje potpuno novih, originalnih i savremenih proizvoda sa različitim, specijalnim funkcionalnostima (npr. izrada proizvoda sa dodatnom vrednošću upotrebom mirisnih mikrokapsula) koji će zadovoljiti zahtevno tržište, kao i mogućnosti ostvarivanja benefita u pogledu očuvanja životne sredine, koje tehnologija mikroenkapsulacije omogućava, što utiče na povećanje interesa vodećih kompanija koje se bave proizvodnjom potrošačkih dobara (Baker, 2013). Na slici 1.1b je predstavljen tržišni udeo mikroenkapsuliranih proizvoda prema aplikaciji.



Slika 1.1. Prikaz: a) globalnih prihoda na tržištu mikroenkapsuliranih proizvoda (2014–2020) i b) tržišni udeo mikroenkapsuliranih proizvoda prema aplikaciji (Market Research Store, 2016; Baker, 2013)

Još jedan indikator porasta interesovanja za oblast tehnologije mikroenkapsulacije i aktuelnosti ove teme je i rast broja patenata (slika 1.2a) i objavljenih naučnih radova (slika 1.2b) u ovoj oblasti u periodu od 1965. do 2015. godine, uključujući i oblast primene mikrokapsula u grafičkoj industriji (Urbas, i drugi, 2017). Analizom broja publikovanih patenata i naučnih radova (slika 1.2) može se primetiti da je broj patenata značajno veći u odnosu na broj objavljenih naučnih radova, što ukazuje na to da je praktična aplikacija ove tehnologije, odnosno industrija verovatno imala veći uticaj na razvoj tehnologije mikroenkapsulacije u odnosu na akademska istraživanja.

Većina autora u oblasti tehnologije mikroenkapsulacije se najviše bavila razvojem novih metoda mikroenkapsulacije i optimizacije postojećih metoda kako bi se omogućila proizvodnja mikrokapsula unapređenih karakteristika (posebno mehaničkih), zatim razvojem mogućnosti enkapsulacije različitih supstanci, unapređenjem metoda karakterizacije mikrokapsula, kao i ispitivanjem dinamike oslobađanja materijala jezgra (u slučaju mikrokapsula sa propustljivim ili polupropustljivim omotačem). Međutim, postoji veoma mali broj istraživanja koji se bavi ispitivanjem uticaja karakteristika materijala (boje/lakovi, tip i koncentracija mikrokapsula, podloga za štampu), primenjenih tehnika štampe (ili drugih tehnika koje se koriste za transfer mikrokapsula) na karakteristike odštampanih mikrokapsula i njihovu funkcionalnost, kao i uticaja odštampanih mikrokapsula na specifične karakteristike otiska i podloge za štampu. Obzirom da navedeni faktori, imaju veliki uticaj na broj, uniformnost rasporeda i stanje prenetih mikrokapsula na površinu materijala za štampu, a samim tim i na nivo funkcionalnosti odštampanih mikrokapsula, javlja se potreba za karakterizacijom i kontrolom oplemenjenih otisaka dobijenih na ovaj način.



Slika 1.2. Prikaz broja publikovanih: a) патената i b) naučnih radova u periodu od 1965. do 2015. (podaci prikupljeni putem „free patents online database“ i „Science Direct“, mart 2017; ključne reči: „microencapsulation“ i „print“) (Urbas, i drugi, 2017)

U grafičkoj proizvodnji, oplemenjivanje otisaka sa mikrokapsulama se vrši štampom mikrokapsula u kombinaciji sa bojama ili lakovima za štampu, a najčešće se koriste disperzni — lakovi na vodenoj bazi i lakovi na bazi rastvarača. Obzirom da lakovi i boje za štampu imaju sličnu formulaciju i karakteristike, sam proces štampe mikrokapsula se neznatno razlikuje u zavisnosti od toga da li se štampa vrši sa bojom ili lakom (Maekawa, i drugi, 1975; Pavlović, i drugi, 2014; Kipphan, 2001; Kulčar, i drugi, 2010a; Pavić, 2015a). Kao glavni deo istraživanja ove doktorske disertacije biće izvršena karakterizacija otisaka štampanih tehnikom tabačne ofset štampe i naknadno oplemenjenih tehnikama automatske tehnike premazivanja i flekso tehnikom štampe, koristeći različite koncentracije mirisnih mikrokapsula u kombinaciji sa lakovima. Mikrokapsule aplicirane na ovaj način, u sloju laka iznad prethodno odštampanog sloja boje, će u manjoj meri uticati na odštampani motiv nego da su pomešane sa bojom i na taj način odštampane. U okviru preliminarnog dela istraživanja ove doktorske disertacije, izvršena je karakterizacija oplemenjenih uzoraka dobijenih različitim tehnikama (ručna tehnika premazivanja, sito,

tampon i ofset štampa), korišćenjem različitih tipova mikrokapsula (mirisne i PCM mikrokapsule) i lakova kao i boje za štampu, koje su aplicirane na različite tipove podloga za štampu.

Predpostavka je da će funkcionalnost odštampanih mikrokapsula biti veća (u odnosu na štampu mikrokapsula sa bojom koristeći ofset štampu) zbog izbora tehnike aplikacije (flekso štampa i automatska tehnika premazivanja), kao i zbog toga što će se prenete mikrokapsule nalaziti u površinskom sloju laka i na taj način će biti lakše aktivirane. Takođe, značajno veća gustina i viskozitet ofset boje u odnosu na lak za štampu može da izazove grupisanje mikrokapsula (pogotovo mikrokapsula u praškastom obliku), što ima negativan uticaj na raspored mikrokapsula u odštampanom sloju, a samim tim i na funkcionalnost odštampane površine, uz najčešće povećanje potrošnje mikrokapsula. Pošto lakovi za štampu ne sadrže pigment, zbog svoje transparentnosti u pojedinim situacijama omogućavaju lakšu kontrolu kvaliteta otisaka kada se koriste određeni mikroskopski uređaji i metode za analizu distribucije mikrokapsula u odštampanom sloju laka.

Kako bi se izvršila karakterizacija mirisnih mikrokapsula i otisaka oplemenjenih mirisnim mikrokapsulama, prvi korak je odabir i primena adekvatnih i preciznih mernih metoda za karakterizaciju kako neodštampanih tako i odštampanih mikrokapsula, jer bi kontrola kvaliteta štampe u okviru bilo kog štamparskog postupka trebalo da predstavlja neizostavan deo grafičke proizvodnje, kako kod konvencionalnih postupaka štampe, tako i kod oplemenjivanja otisaka, tj. štampe mikrokapsula. Karakterizacijom oplemenjenih otisaka sa mirisnim mikrokapsulama, koja će biti sprovedena u okviru ove doktorske disertacije, biće obuhvaćeni najbitniji parametri fizičkih, mehaničkih i optičkih karakteristika otisaka i funkcionalnih karakteristika, koji će se dobiti korišćenjem savremenih mernih metoda i standardnih mernih procedura. Analiza otisaka oplemenjenih mirisnim mikrokapsulama predstavlja preduslov za detekciju specifičnog ponašanja i stanja mikrokapsula unutar odštampanog sloja laka, kao i za utvrđivanje eventualnih uzroka problema i grešaka koje se mogu javiti prilikom štampe mikrokapsula. U cilju unapređenja kvaliteta oplemenjenih otisaka sa mirisnim mikrokapsulama, izvršiće se analiza uticaja oplemenjivanja otisaka i primena različitih koncentracija mikrokapsula kao i različitih lakova i podloga za štampu, na najbitnije karakteristike otisaka.

1.2 Pregled sadržaja disertacije

Ovu doktorsku disertaciju čine dve osnovne celine, teorijskih osnova, vezanih za temu i problematiku istraživanja, i eksperimentalnog dela, koji se sastoji od opisa korišćenih materijala u istraživanju i metodologije, zatim prezentacije dobijenih rezultata istraživanja, diskusije i zaključaka istraživanja.

Osnovna tema, predmet i okvir istraživanja su predstavljeni u uvodnom delu doktorske disertacije. Pregled teorijskih osnova obezbeđuje neophodne, aktuelne i relevantne informacije u oblasti tehnologije mikroenkapsulacije i njene primene u okviru grafičke industrije, čime se formira osnov za definisanje najbitnijih elemenata eksperimentalnog segmenta disertacije. U teorijskom segmentu disertacije je predstavljeno aktuelno stanje u oblasti istraživanja (poglavlje 2) u kom su dati osnovni pojmovi u tehnologiji mikroenkapsulacije, primena mikrokapsula sa fokusom na grafičku i industriju papira, načini oplemenjivanja otisaka u tehnici ofset štampe, prednosti i mane štamparskih i drugih tehnika za aplikaciju mikrokapsula, zatim predstavljene su tehnike za proizvodnju mikrokapsula, parametri procesa mikroenkapsulacije koji utiču na bitne karakteristike mikrokapsula, osobine mikrokapsula i metode za karakterizaciju njihovih fizičkih, hemijskih i mehaničkih karakteristika, mehanizmi oslobađanja aktivne materije iz mikrokapsula, karakteristike materijala oplemenjenih mikrokapsulama, dugotrajnost

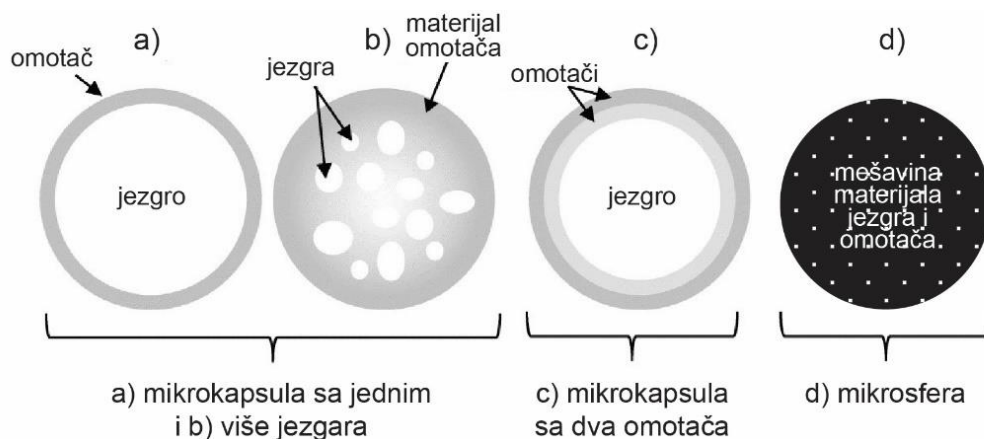
apliciranih mikrokapsula, različite metode za karakterizaciju štampanih i otisaka oplemenjenih mirisnim mikrokapsulama, implementacija mirisa kao dodatne vrednosti štampanog proizvoda, kao i opis subjektivnih metoda za testiranje prisustva i intenziteta prisutnog mirisa u otiscima oplemenjenim mirisnim mikrokapsulama. Nakon predstavljenih teorijskih osnova i ključnih činjenica iz obrađene literature, definisani su predmet i cilj rada i postavljene hipoteze istraživanja koje su u nastavku rada eksperimentalno proverene.

Eksperimentalni deo doktorske disertacije se sastoji od detaljnog opisa korišćenih materijala i metodologije u istraživanju, što je obuhvaćeno poglavljem 5 koga čine opis korišćenih materijala, mernih metoda i uređaja za karakterizaciju mirisnih mikrokapsula i oplemenjenih otisaka mirisnim mikrokapsulama. U nastavku eksperimentalnog dela doktorske disertacije, u poglavlju 6, predstavljeni su rezultati istraživanja, zatim sledi diskusija dobijenih rezultata istraživanjem (poglavlje 7), zaključci istraživanja (poglavlje 8) i naučni doprinos istraživanja sa mogućnostima primene rezultata u praksi (poglavlje 9). Na samom kraju doktorske disertacije su dati pregled korišćene literature, prilozi i biografija sa bibliografijom kandidata (poglavlja 10, 11 i 12).

2 Aktuelno stanje u oblasti istraživanja

2.1 Mikrokapsule – osnovni pojmovi

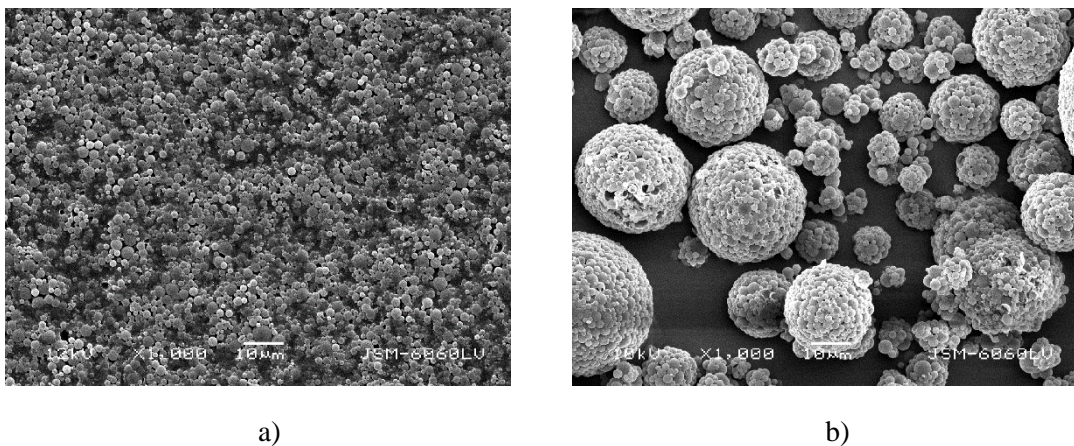
Kao što je već navedeno u opisu predmeta istraživanja, mikrokapsule su čestice sfernog oblika koje se obično sastoje od dva dela: jezgra (unutrašnji deo) i omotača (spoljašnji deo). Jezgro mikrokapsule predstavlja aktivnu materiju u čvrstom, tečnom ili gasovitom agregatnom stanju, a omotač je obično izrađen od prirodnih ili sintetičkih polimera i ima ulogu da zaštiti materijal jezgra (Ghosh, 2006). Osnovni cilj procesa mikroenkapsulacije je formiranje omotača oko aktivne materije (jezgra) što će osigurati da enkapsulirani materijal ne bude oslobođen pre nego što mikrokapsule dođu do predviđenog mesta gde je neophodno da se ispolji njihova funkcionalnost, kao i to da se jezgro zaštiti od uticaja okoline kroz koju prolazi (McShane, i drugi, 2010; Dubey, i drugi, 2009; Stanković Elesini, i drugi, 2016a). Postoji veoma veliki broj supstanci koje se mogu enkapsulirati, kao što su pigmenti, bojila, monomeri, katalizatori, sredstva za umrežavanje, usporivači gorenja, plastifikatori, nanočestice, mirisi (eterična ulja), itd. koje daju mikrokapsulama specifičnu funkcionalnost. Omotač mikrokapsula može biti propustljiv (omogućava produženo oslobađanje aktivne materije u okolinu), polupropustljiv (omogućava apsorpciju supstanci iz okoline i njihovo ponovno otpuštanje kada se mikrokapsula dovede u drugi medijum), ili nepropustljiv (npr. separacija reaktivnih komponenti, zaštita osetljivih supstanci od uticaja okoline, neutralizacija ukusa i mirisa) (Ghosh, 2006). Mikrokapsule se mogu klasifikovati kao mikrokapsule sa jednim, mikrokapsule sa više jezgara i matrični tip (mikrosfera), slika 2.1, dok omotači mikrokapsula mogu biti pravilnog ili nepravilnog oblika (Stanković Elesini, i drugi, 2016a).



Slika 2.1. Prikaz različitih tipova mikrokapsula: a) mikrokapsula sa jednim jezgrom, b) mikrokapsula sa više jezgara, c) mikrokapsula sa dvostrukim omotačem i d) matrični tip mikrokapsule (mikrosfera) (Stanković Elesini, i drugi, 2016a)

Jedna od najbitnijih karakteristika mikrokapsula je njihova veoma mala veličina, što utiče na potrošnju daleko manje količine aktivne materije u poređenju sa direktnom aplikacijom tečnog aktivnog sredstva (Dubey, i drugi, 2009; Microtek Laboratories Inc., 2015). Glavni razlozi zbog kojih se vrši mikroenkapsulacija su: 1) separacija nekompatibilnih komponenti, 2) manipulacija tečnostima u formi solida, 3) zaštita enkapsuliranog materijala od oksidacije ili deaktivacije zbog reakcija koje bi se dogodile u otvorenom prostoru, 4) neutralizacija neprijatnih mirisa i ukusa, 5) kontrolisano oslobađanje aktivne materije i 6) ciljno oslobađanje enkapsuliranog materijala (Ghosh, 2006; Dubey, i drugi, 2009).

U skladu sa željenim osobinama mikrokapsula, bira se odgovarajuća tehnika mikroenkapsulacije za njihovu proizvodnju (Ghosh, 2006; Pavlović, i drugi, 2014; Starešinić, i drugi, 2011). U procesu štampe, najčešće se koriste dva tipa mikrokapsula: suve mikrokapsule (mikrokapsule u prahu) i mikrokapsule u vodenoj suspenziji, slika 2.2. Mikrokapsule se mogu mešati sa različitim tipovima konvencionalnih, UV i plastizol štamparskih boja, kao i sa lakovima za štampu (Maekawa, i drugi, 1975; Pavlović, i drugi, 2014; Kipphan, 2001; Kulčar, i drugi, 2010b).

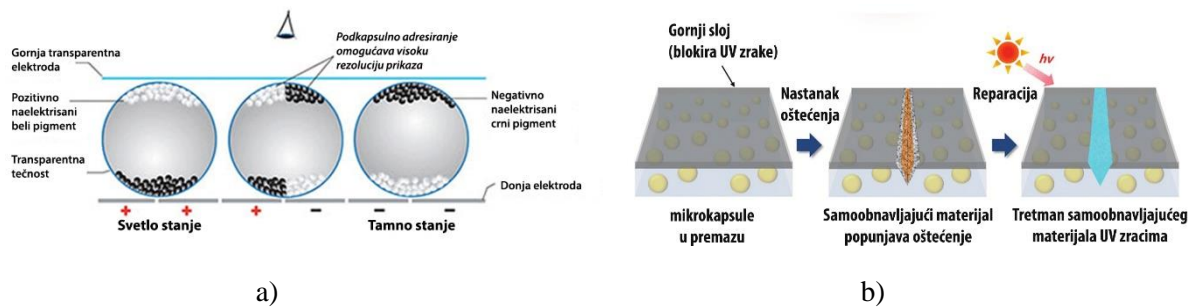


Slika 2.2. Izgled: a) mikrokapsula u vodenoj suspenziji i b) mikrokapsula posle sušenja (SEM; uvećanje $\times 1000$)

2.2 Primena mikrokapsula sa fokusom na grafičku i industriju papira

Grafička industrija je jedna od prvih oblasti gde je uspešno počela da se koristi tehnologija mikroenkapsulacije i to za proizvodnju beskarbonskog samokopirajućeg papira. Ovo je jedna od najpoznatijih i najstarijih aplikacija mikrokapsula, čija se funkcionalnost ispoljavala posredstvom mehaničke aktivacije (Kipphan, 2001). Danas, glavna tržišta mikrokapsula uključuju sledeće oblasti: kozmetičku industriju (npr. mikroenkapsulirani parfemi) i proizvodnju (oplemenjivanje) tekstila u okviru kozmetičke industrije, industriju papira i netkanih materijala, proizvodnju specijalnih premaza za tekstilne materijale, proizvodnju neutralizatora mirisa (npr. ulošci za cipele), prehrambenu industriju, industriju deterdženata i fitosanitarnih proizvoda, biotehnologije, elektronike, medicine, farmacije, poljoprivrede, građevinarstva, tretmana otpada, hemijsku industriju, grafičku industriju, itd. (Arshady, 2003; Boh, 2008; Van Damme, 2007). U nastavku su predstavljeni principi funkcionisanja mikrokapsula koje se danas koriste u različitim industrijama (slika 2.3), tj. način aktivacije mikrokapsula koje se koriste za dobijanje elektronske boje (*eng. e-ink*) koja služi za proizvodnju displeja (*eng. e-paper*) za

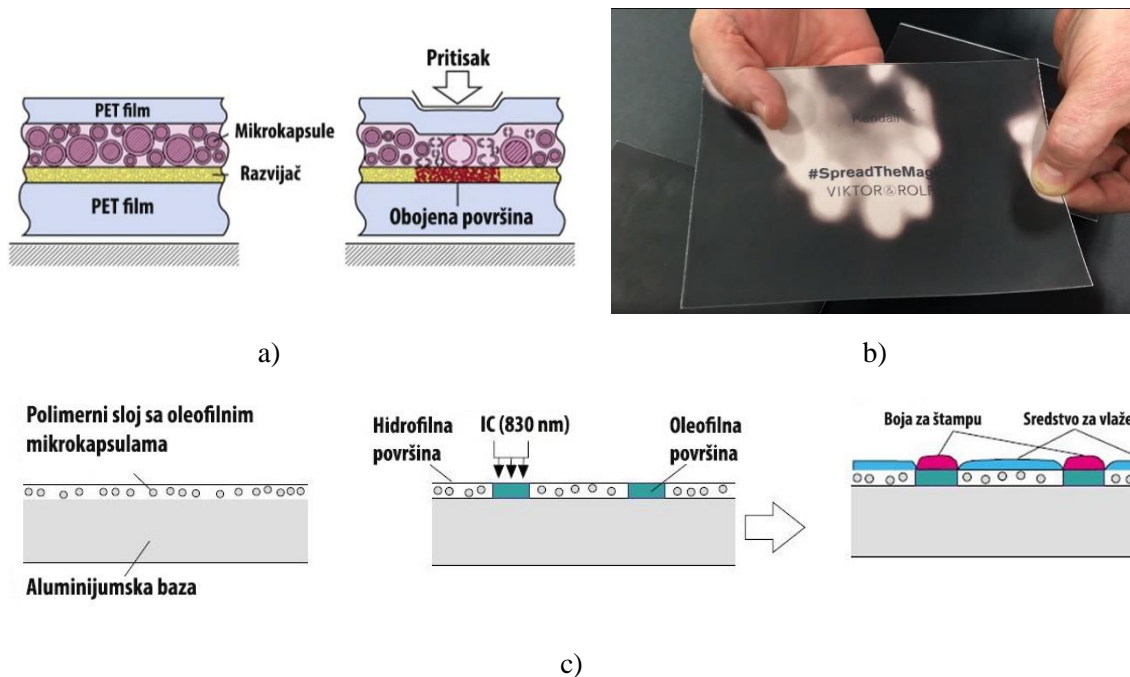
uređaje kao što su Kindle (Amazon, SAD) i Digital Paper (Sony, Japan), slika 2.3a. Na slici 2.3b je predstavljen princip funkcionisanja tzv. samo-obnavljajućih mikrokapsula (*eng. self-healing*) koje prilikom oštećenja premaza ili materijala u kom se nalaze pucanju, dok enkapsulirani materijal izlazi iz mikrokapsule i popunjava nastalo oštećenje, na taj način sprečavajući njegov dalji progres, slika 2.3b. Ove mikrokapsule se koriste u različitim industrijama za proizvodnju boja i premaza, automobilskoj i avio industriji, itd.



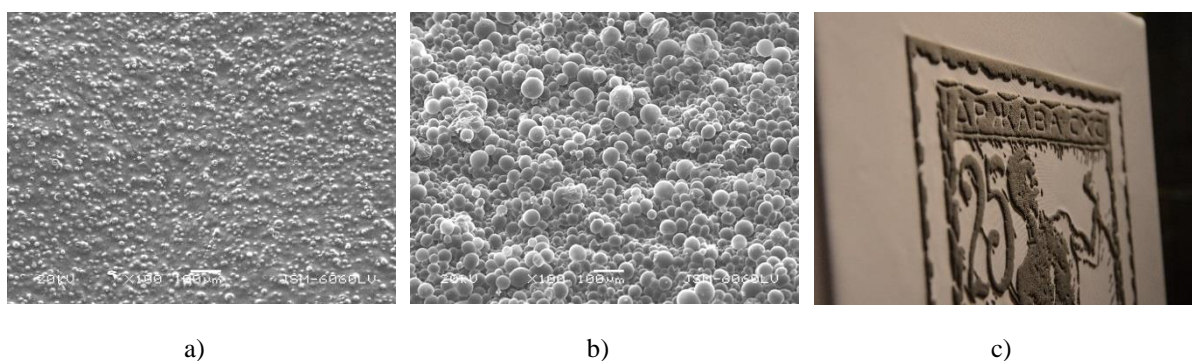
Slika 2.3. Princip funkcionisanja: a) mikrokapsula za elektronsku boju (Savanah Design, 2009), b) samo-obnavljajućih mikrokapsula (Song, i drugi, 2017)

Filmovi osetljivi na pritisak sa implementiranim mikrokapsulama se koriste za merenje i kontrolu intenziteta i distribucije kontaktnog pritiska u različitim grafičkim procesima kao što su proizvodnja ambalaže, papira i u procesu štampe, slika 2.4a (Bumblebee Laboratories, 2007; Sensor Products Inc., 2015). Termohromatske boje sa termohromatskim pigmentima koji enkapsuliraju leuko boje, razvijajući i rastvarač u polimernom omotaču, koriste se za izradu pametne ambalaže i za promotivne aktivnosti. Enkapsulirani termohromatski kompoziti menjaju boju pri promeni temperature, tako što gube obojenje prilikom zagrevanja i ponovo ga dobijaju hlađenjem, slika 2.4b (Seeboth, i drugi, 2008; Phillips, 2000; Johansson, 2006). Termalne CtP (*eng. Computer-to-Plate*) štamparske ploče za ofset štampu se oslojavaju kompleksnim polimernim materijalom sa integrisanim mikrokapsulama unutar njega. Prilikom osvetljavanja štamparske ploče upotrebom infracrvene (IR) svetlosti, mikrokapsule pucaju i oslobađaju materiju koja pokreće hemijske reakcije koje dovode do promene površinskih svojstva ofset ploče i prelaska iz oleofobnih u oleofilne, slika 2.4c (Kipphan, 2001).

Enkapsulacija enzima obezbeđuje skladištenje aktivne materije unutar mikrokapsule i održavanje enzimske aktivnosti tokom procesa štampe, a koristi se za izradu bioaktivnog papira, biosenzora i biogorivnih ćelija (Savolainen, i drugi, 2011). Ekspandirajuće mikrokapsule se koriste za proizvodnju „ekspandirajućih“ boja koje se koriste za štampu, u cilju dobijanja različitih 3D, taktilnih efekata (Stanković Elesini, i drugi, 2014; Urbas, i drugi, 2017b). Ekspandirajuće mikrokapsule se koriste i za izradu tzv. „bubrečeg“ papira (Way, i drugi, 1997), na kom je moguće generisati izdignute, taktilne elemente koristeći metodu stereokopiranja (Tetsuya, i drugi, 2004). Ovakve mikrokapsule se šire pod uticajem povišenog pritiska, uzrokovanim primenom visokih temperatura (Stanković Elesini, i drugi, 2014). Ekspandirajuće mikrokapsule se koriste i za proizvodnju kartonskih čaša za kafu i čaj, gde se velika količina vlakana celuloze zamenjuje malom količinom ekspandirajućih mikrosfera, koje povećavaju robusnost i debljinu kartona, čime se unapređuju njegove termo-izolacione osobine (Akzonobel, 2015). Izgled neekspandiranih i ekspandiranih mikrokapsula pomešanih sa bojom za sito štampu i 3D otisak dobijen upotrebom ekspandirajućih mikrokapsula, prikazan je na slici 2.5.



Slika 2.4. Izgled i princip funkcionisanja proizvoda sa mikrokapsulama: a) film osetljiv na pritisak (Pocket Dentistry, 2016), b) štampani otisak sa termohromatskom bojom (H&H Graphics, 2017), c) CtP ofset termalna ploča (Kipphan, 2001)



Slika 2.5. Izgled: a) neekspandiranih i b) ekspanziranih mikrokapsula pomešanih sa bojom za sito štampu (uvećanje 100 \times), i c) štampane 3D slike gde su upotrebljene ekspanzirajuće mikrokapsule (Urbas, i drugi, 2017)

Komercijalni proizvodi sa mikrokapsulama i njihova primena u okviru grafičke industrije su predstavljeni u tabeli 2.1. U grafičkoj industriji, kvalitet finalnog proizvoda gotovo da isključivo zavisi od vizuelnog doživljaja odštampanog proizvoda. Pored vizuelnog i taktalnog aspekta štampanog materijala, napredak različitih tehnika štampe je omogućio i uključivanje mirisa korišćenjem mikroenkapsulacije eteričnih ulja (Pavić, 2015a). Miris je multisenzorski medijum koji direktno dovodi u vezu percipirani miris sa emocijama i reprodukuje sećanja na određeno iskustvo, što povećava vrednost proizvoda u koji je miris implementiran (Rose, 2007). Zbog činjenice da su mirisi veoma isparljive supstance, osetljive na uslove okoline, enkapsulacija omogućava dužu aktivnost i zaštitu, kao i kontrolisano oslobađanje enkapsulirane materije (Ternat, i drugi, 2008; Herrmann, i drugi, 2000;

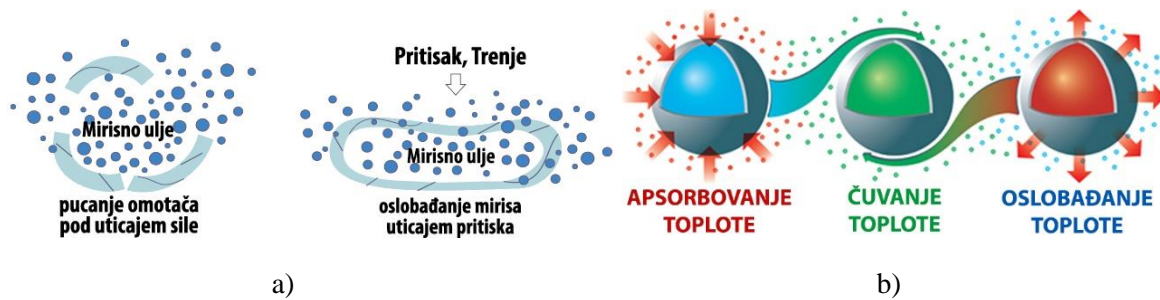
Jacquemond, i drugi, 2009; Stanković Elesini, i drugi, 2016b). Mirisne supstance su najčešće eterična ulja koja se mogu proizvesti u obliku tečnosti, emulzija i tečnih rastvora, gelova ili u formi čvrste materije, u kojima ovakve supstance ostaju sve dok se ne primeni odgovarajuća sila pritiska, pri čemu omotači mikrokapsula pucaju i dolazi do oslobađanja aktivne materije iz jezgra (Stanković Elesini, i drugi, 2016a; Rogers, i drugi, 2006; Martín, i drugi, 2010). Ovakve mikrokapsule se najčešće koriste u “protrljaj i pomiriši” (*eng. scratch and sniff*) aplikacijama, npr. za uzorke parfema u novinama i magazinima, za promotivne reklamne kampanje i za aplikacije gde je potrebno ukloniti gornji sloj nalepnice kako bi se oslobodio miris (*eng. peel-apart*) za nalepnice i knjige, slika 2.6a (Shukla, n.d.; Microtek Laboratories Inc., 2015).

Tabela 2.1. Komercijalni proizvodi sa mikrokapsulama i njihova primena u grafičkoj industriji

Proizvodi sa mikrokapsulama	Primena u grafičkoj industriji
1. Beskarbonski samokopirajući papir	Izrada samokopirajućeg papira.
2. Filmovi osetljivi na pritisak	Merenje intenziteta kontaktnog pritiska i njegove distribucije.
3. Mikroenkapsulirani mirisi	“protrljaj i pomiriši” (<i>eng. Scratch and sniff</i>) i aplikacije gde je potrebno ukloniti gornji sloj nalepnice sa enkapsuliranim mirisima (<i>eng. peel-apart</i>) (uzorci u priložima magazina, nalepnice, knjige), štampa tekstila.
4. Termohromatske boje	Pametna ambalaža, sigurnosna štampa i promotivne aktivnosti, obeležavanje proizvoda.
5. Ekspandirajuće mikrosfere	“Enkapsulirani” papir, karton i papir za šolje za čaj i kafu, štamparske boje, zaptivne smese, adhezivi, oplemenjivanje veštačke i prirodne kože, farbe, netkani materijali, premazi za papir i karton itd.
6. Mikroenkapsulirani enzimi	Bioaktivni papir, biosenzori, biogorivne ćelije.
7. Termalne CtP štamparske ploče	Proizvodnja štamparskih ploča za ofset štampu.
8. Mikrokapsule čije jezgro menja agregatno stanje (PCM)	Štampa funkcionalnih tekstilnih materijala što unapređuje njihove termo-regulacione karakteristike.

Mikrokapsule se mogu aplicirati i na tekstilne materijale, gde je najveće interesovanje trenutno usmereno ka mikroenkapsulaciji dugotrajnih mirisa, omekšivača kože, bojila i pigmenta (npr. aplikacije vezane za sprečavanje falsifikovanja i autentifikaciju brenda), termohromatskih i fotohromatskih materija (npr. obeležavanje proizvoda, medicinske i sigurnosne aplikacije), katalizatora i enzima za specijalni tretman tekstila, sredstava za kalandriranje tekstila, mikroenkapsulacija materija za odbijanje insekata, antimikroba (biocidi), dezinfekcionih komponenti, bioaktivnih medicinskih i kozmetičkih tekstila, usporivača gorenja, PCM materijala (koji menjaju agregatno stanje u zavisnosti od

temperature) za aktivnu termalnu kontrolu (Nelson, 2008; Ocepek, i drugi, 2011). PCM supstance imaju sposobnost da apsorbiraju i čuvaju velike količine energije iz okoline (Ghosh, 2006). Kada temperatura okruženja dostigne tačku topljenja enkapsuliranog PCM materijala, on počinje da apsorbuje toplotu i menja agregatno stanje iz čvrstog u tečno, dok se obrnuti proces dešava pri padu temperature ispod tačke topljenja, slika 2.6b (Ghosh, 2006; Nejman, i drugi, 2014).



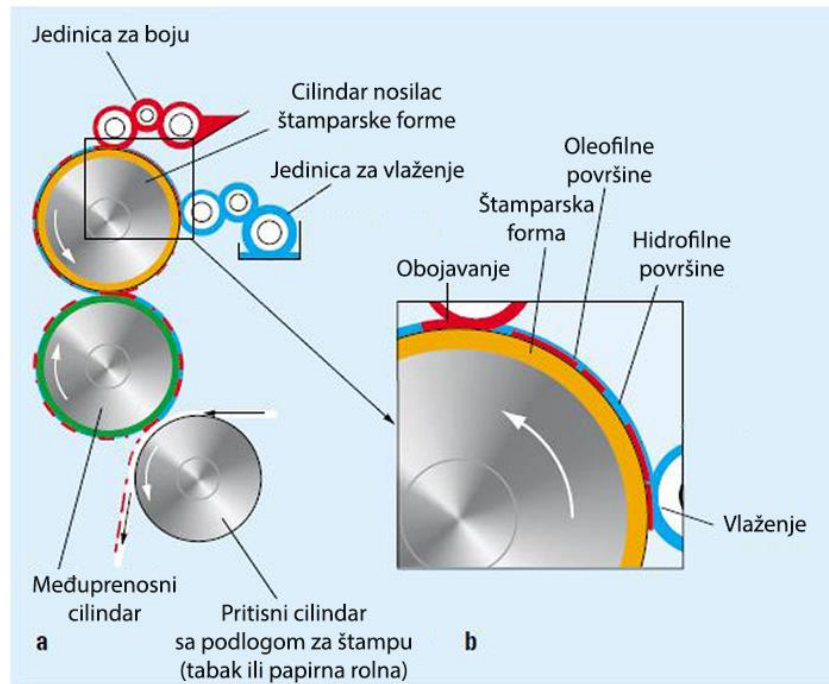
Slika 2.6. Prikaz principa funkcionisanja: a) mikrokapula sa mirisima (New Prisematic Enterprise Co., Ltd., 2010), b) PCM mikrokapula

2.3 Oplemenjivanje otisaka u tehnici ofset štampe

Ofset štampa predstavlja jedan od dominantnih principa štampe koji omogućava veoma visok kvalitet reprodukcije, dok određeni štamparski sistemi u okviru ovog postupka štampe omogućavaju i naknadno oplemenjivanje odštampanih otisaka. Ofset štampa je konvencionalni princip štampe i glavni predstavnik tehnike ravne štampe, čija se upotreba značajno porasla od sedamdesetih godina prošlog veka i time potisnula postupak knjigoštampe (predstavnik tehnike visoke štampe), koji je do tada bio dominantan princip (Kipphan, 2001). Iako se danas digitalne tehnike štampe ubrzano razvijaju, pre svega u pogledu brzine štampe i kvaliteta reprodukcije, ofset štampa i dalje predstavlja najčešće korišćeni postupak, koji omogućava najviši kvalitet, a često i najekonomičniju opciju (za tiraže srednje veličine od 10.000 do 100.000 primeraka) (Perez, 2018; Viluksela, i drugi, 2010; Smithers Pira, 2015; Koivula, 2012).

Ofset štampa predstavlja indirektni postupak štampe kod kog se prenos boje na podlogu ostvaruje pomoću cilindra nosioca štamparske forme, međuprenosnog i pritisknog cilindra koji vodi papir kroz štamparsku jedinicu i omogućava tvrdu podlogu pomoću koje će međuprenosni cilindar ostvariti otisak na papiru, slika 2.7a. Boja prvo dolazi do površine štamparske forme posredstvom sistema valjaka (sistema za boju), zatim se prenosi na međuprenosni cilindar koji je obložen gumenom navlakom, nakon čega se dolazi na površinu podloge za štampu. Kod ofset štampe, štampajuće i neštampajuće površine štamparske forme su prividno u istoj ravni, a „razdvajanje“ štampajućih elemenata, koji su oleofilni (prihvataju boju) i hidrofobni (ne prihvataju sredstvo za vlaženje) i neštampajućih elemenata, koji su hidrofilni (prihvataju sredstvo za vlaženje) i oleofobni (ne prihvataju boju), omogućeno je određenim fizičkim pojavama na kontaktnim površinama štamparske forme koje zavise od fizičko-hemijskih karakteristika materijala i komponenti uključenih u proces štampe. Sistem koji omogućava „razdvajanje“ štampajućih i neštampajućih površina, zove se sistem za vlaženje i obezbeđuje formiranje tankog filma sredstva za vlaženje (koga čine voda, izopropil alkohol, aditivi) na neštampajućim elementima štamparske forme, slika 2.7b (Romano, i drugi, 1998; Kipphan, 2001). Postupak ofset

štampe je veoma kompleksan proces koji se može shvatiti kao multiparametarski sistem, gde se menjanjem vrednosti samo jednog od parametara procesa trenutno utiče na čitav tok štampe, a posledično i na njen kvalitet, odnosno na kvalitet finalnog proizvoda (Kipphan, 2001). Princip tehnike ofset štampe je korišćena u eksperimentalnom delu ove doktorske disertacije za štampu uzoraka koji su naknadno oplemenjeni različitim koncentracijama mirisnih mikrokapsula i lakovima.



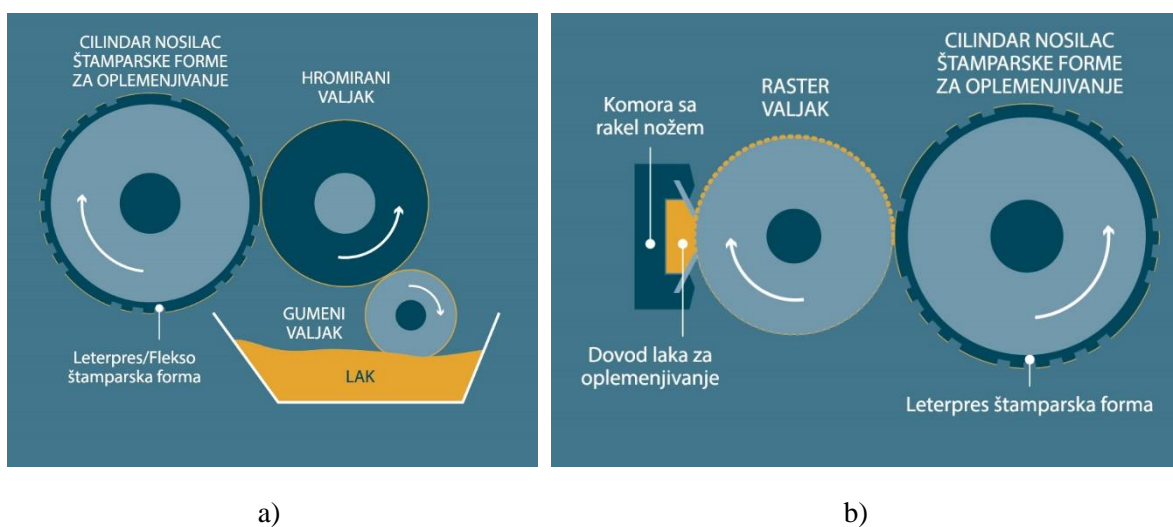
Slika 2.7. Osnovni princip ofset štampe: a) izgled štamparske jedinice, b) prikaz cilindra nosioca štamparske forme i štampajućih/neštampajućih površina na štamparskoj formi (Kipphan, 2001)

Kako bi se unapredio kvalitet štampanog proizvoda u tehnici tabačne ofset štampe moguće je izvršiti oplemenjivanje otisaka na različite načine, npr. štampom laka ili metaliziranih boja, površinskom obradom podloge za štampu (perforacija, utiskivanje), itd. Štampom laka se poboljšava vizuelni izgled otiska (odštampana boja na otisku postaje intenzivnija i hromatičnija), unapređenju mu se i mehaničke osobine, zatim otisak se štiti od abrazije i grebanja (npr. složive kutije, korice za knjige), kao i od prljanja, prodiranja tečnosti i gasova (ambalaža za proizvode prehrambene industrije) (Kipphan, 2001; Romano, i drugi, 1998). Pored povećanja kvaliteta i vrednosti štampanog proizvoda, štampom laka se u određenim situacijama obezbeđuje i unapređenje procesa završne grafičke obrade time što se definiše koeficijent trenja podloge za štampu, što je bitno za optimizaciju transporta, podešavanje mašina završne grafičke obrade i vođenje proizvoda do i između mašina za završnu grafičku obradu. Takođe, pozitivni efekti štampe laka se ogledaju i u tome da se celokupni proces štampe može obaviti upotrebom značajno manje količine pudera, čime se jedinica za izlaganje tabaka ofset mašine za štampu, kao i mašine za naknadnu završnu grafičku obradu u manjoj meri prljaju (Kipphan, 2001; Fujifilm, n.d.).

Za oplemenjivanje otisaka lakom, danas se koriste različite tehnike štampe, kao što su tehnika ravne ofset štampe, flekso, duboke i sito štampe, kao i ručne tehnike premazivanja upotrebom različitih alata, a tipični proizvodi koji se na ovaj način oplemenjuju su brošure, katalozi, etikete, ambalaža za

kozmetičku i prehrambenu industriju, itd. Sito štamptom je moguće ostvariti veoma debeo sloj laka na podlozi za štampu, što omogućava dobijanje specijalnih reljefnih elemenata (npr. Brajeva azbuka, sigurnosni elementi na zaštićenim papirima, dekorativna štampa). U tehnici duboke štampe se koriste disperzni lakovi, lakovi na vodenoj bazi koji su veoma slični onima koji se koriste u tehnici ravne, ofset štampe, s tim da imaju manji viskozitet što diktira sam proces štampe (Kipphan, 2001). Oplemenjivanje otisaka štamptom laka u tehnici tabačne ofset štampe se najčešće vrši pomoću specijalnih jedinica za lakiranje, koje su redno povezane (*eng. in-line*) sa ostalim agregatima za štampu procesnih boja u istoj tabačnoj, ofset štamparskoj mašini, međutim, neki lakovi se takođe mogu štampati i korišćenjem standardnih štamparskih agregata (Kipphan, 2001; Iggesund Holmen Group, 2018). Korišćenjem redno vezane jedinice za lakiranje se ipak ne postiže najviši kvalitet sjaja otiska, jer se lak u određenoj meri meša sa sveže odštampanom, a time i nedovoljno osušenom bojom. Dobijanje homogenog, visoko sjajnog sloja laka se postiže na potpuno suvom sloju boje, korišćenjem sistema za “in-line” sušenje otisaka (npr. UV boje koje se suše izlaganjem ultra ljubičastoj svetlosti u specijalnim sušnicama) ili se lakiranje vrši van ofset štamparske mašine (*eng. off-line*), upotrebom dodatne mašine za lakiranje (Kipphan, 2001).

Jedinica za lakiranje u okviru ofset tabačne štamparske mašine je veoma slična štamparskim agregatima mašina za tehniku flekso štampe. Ova tehnika omogućava štampu veoma tankih, fleksibilnih i čvrstih filmova, gotovo svih vrsta papira, kartona i ambalažnih materijala sa grubom površinskom strukturom. Kvalitet štampe tehnike flekso štampe je niži u odnosu na kvalitet tehnike ofset štampe, međutim, u poslednjih nekoliko decenija unapređenje štamparskih formi i CtP tehnologije, kao i korišćenje novih sistema obojavanja i boja sa unapređenom formulacijom, omogućili su ovoj tehnici značajno viši kvalitet štampe. Kod oplemenjivanja otisaka pomoću jedinice za lakiranje unutar ofset tabačne štamparske mašine, koja radi na principu flekso štamparske jedinice, lak se prenosi direktno na podlogu za štampu sa cilindra na kom se nalazi meka štamparska forma (najčešće leterpres ili fleksografska štamparska forma), na koju se lak prethodno nanosi pomoću tvrdog valjka (Kipphan, 2001). Za aplikaciju laka, koriste se dva sistema: 1) sistem sa valjkom, gde se lak prenosi iz rezervoara pomoću valjaka (slika 2.8a) i 2) sistem sa komorom i rakel nožem, gde se lak prenosi na štamparsku formu pomoću raster valjka (slika 2.8b) (Kipphan, 2001; Iggesund Holmen Group, 2018).



Slika 2.8. Osnovni princip oplemenjivanja otisaka lakom (flekso štampa)
(Iggesund Holmen Group, 2018)

Kvalitet lakiranih otisaka u tehnici tabačne ofset štampe se može dodatno unaprediti prethodnom aplikacijom osnovnog sloja (prajmera, što je obično lak na vodenoj bazi), korišćenjem dvostruke jedinice za lakiranje sa međujedinicom za sušenje. Primenom osnovnog sloja se omogućava zatvaranje pora kod upojnijih papira i izravnavanje površine na koju će se naknadno aplicirati lak, čime se obezbeđuje veća debljina sloja laka sa veoma visokim sjajem (Kipphan, 2001; Gordon, 2012; Romano, i drugi, 1998).

Štampu i oplemenjivanje otisaka, za potrebe određenih istraživanja, je moguće izvršiti i pomoću različitih laboratorijskih uređaja za test štampe, odnosno za probni otisak, koji imaju mogućnost štampe različitim tehnikama (ofset, flekso, duboka štampa). Štampanje uzoraka u laboratorijskim uslovima se vrlo često koristi, obzirom da je štampa test uzoraka na ovaj način daleko brža i ekonomičnija u odnosu na štampu na produkcionoj štamparskoj mašini. Pored brzine i ekonomičnosti, velike prednosti korišćenja ovih automatizovanih uređaja za test štampe su i veoma dobra ponovljivost i kvaliteta štampe (bez obzira na broj odštampanih otisaka), jednostavnost upotrebe, kratko vreme čišćenja mašine, mogućnost podešavanja svih parametara procesa štampe pomoću upravljačke konzole, elektronska kontrola štamparskog pritiska i brzine štampe, laka promena raster valjaka, štaparske forme i rakel noža, mali početni i operativni troškovi (IGT Testing Systems, 2016; Anon, n.d.; Prüfbau, 2016a). Ovi uređaji u potpunosti simuliraju proces štampe za tehniku za koju su namenjeni, omogućavajući laboratorijske uslove štampe uz potpuno oponašanje, kako fizičko-hemijskih pojava koje se odvijaju u toku štampe, tako i svih drugih aspekata procesa štampe (Prüfbau, 2016a; IGT Testing Systems, 2016). Uređaji za probni otisak, odnosno za test štampe u laboratorijskim uslovima, koji se danas koriste u grafičkoj industriji u Evropi su gotovo isključivo proizvedeni od strane firmi IGT i Prüfbau (Hubergroup, n.d.) i najčešće se koriste prilikom testiranja papira ili boja za ofset štampu (Hsieh, 1993). Na slici 2.9 su predstavljeni laboratorijski uređaji za test štampe IGT F1 (IGT Testing Systems, Holandija) za flekso i duboku štampu (slika 2.9a) i Prüfbau (Prüfbau Multipurpose Printability Testing Instrument MZ II, Nemačka) za ofset štampu (slika 2.9b).



Slika 2.9. Izgled laboratorijskih uređaja test štampe: a) IGT F1 (IGT Testing Systems, 2018), b) Prüfbau (Prüfbau, 2016a)

IGT uređaj omogućava korišćenje različitih boja, premaza, lakova i podloga za štampu, nakon čega je moguća analiza velikog broja parametara kvaliteta dobijenog otiska (IGT Testing Systems, 2016). Ovi laboratorijski uređaji, korišćen je u različitim istraživanjima čiji su rezultati objavljeni u priznatim međunarodnim naučnim časopisima (Simseker, 2011; Chalmers, 1998; Holmvall, 2006), konferencijama (Loffler, i drugi, 2006; Rong, i drugi, 2007; Pitigoi, 2016; Yusof, i drugi, 2011), monografijama (Zhao, i drugi, 2018) ili su zaštićeni patentima (Rudolph, i drugi, 2004; Aspler, i drugi,

2015). Takođe, u standardima, odnosno test metodama skandinavskog komiteta za testiranje papirne pulpe, papira i kartona, priprema (*eng. Scandinavian pulp, paper and board testing committee*), odnosno štampa uzoraka IGT uređajem je priznata kao standardna metoda (SCAN-P 86, 2002; SCAN-P 87, 2002).

Za oplemenjivanje otisaka u tehnici ofset tabačne štampe najčešće se koriste lakovi na bazi vode (disperzni lakovi), lakovi na bazi ulja, UV lakovi, ali i drugi specijalni lakovi. Za sušenje odštampanog laka danas se koriste različiti sistemi koji rade na principu primene toplog vazduha, IC sušnice (za sušenje otiska koriste infra crveni deo svetlosnog spektra), UV sušnice, dok pojedine mašine za tabačnu ofset višebojnu štampu imaju i opciju za montažu produžene jedinice za izlaganje odštampanih tabaka (Kipphan, 2001; Izdebska, i drugi, 2016).

Disperzni lakovi se sastoje od polimernih disperzija, smole rastvorne u vodi, disperzije voskova (koje unapređuju otpornost otiska na abraziju), komponenti za lakše formiranje tankog sloja laka, agenasa za umrežavanje i agenasa protiv stvaranja pene. Ovi lakovi se brzo suše, zato se najčešće koriste u specijalnim jedinicama za lakiranje koje poseduju mali broj valjaka, ili u zatvorenim sistemima sa komorom i rakel nožem (zahtevaju flekso štamparsku formu). Međutim, ovi lakovi se mogu primeniti i u standardnim ofset štamparskim agregatima, ali je kvalitet dobijenog sloja laka lošiji jer je debljina sloja laka mala (oko 3 μm), a postoji opasnost i od nagomilavanja laka na valjcima, što dodatno otežava čišćenje štamparske mašine. Sušenje se odvija isključivo fizičkim putem, isparavanjem vode, što može biti potpomognuto primenom toplog vazduha (Kipphan, 2001). Disperzne lakove karakterišu velika brzina aplikacije, brzo sušenje i brzo formiranje sloja laka, odsustvo mirisa, ne žute, bez ili sa primenom veoma male količine pudera u jedinici za izlaganje tabaka ofset mašine, glatka površina odštampanog laka, mogućnost pranja sa vodom, zaštita od abrazije i mazanja svežeg otiska, visoki sjaj ili mat efekti, otpornost na niske temperature, fiksiranje metaliziranih boja (Kipphan, 2001; Leach, i drugi, 2007).

Lakovi na bazi ulja se ponašaju kao boje za ofset štampu bez pigmenta, a koriste se kako bi se povećao sjaj otiska, postigli specifični mat efekti i unapredila otpornost otiska na abraziju. Glavne komponente ovih lakova su smola, sušiva ulja, mineralna ulja i agensi koji potpomažu sušenje, a aplikacija na podlogu za štampu se vrši putem konvencionalnog agregata za ofset štampu, dok se otisak suši apsorpcijom i oksidacijom laka (Kipphan, 2001).

UV lakovi zahtevaju posebnu jedinicu za lakiranje i flekso štamparsku formu koja se postavlja na cilindar u jedinici za lakiranje. Zbog velike debljine apliciranog sloja UV laka (do 8 μm), ovi lakovi omogućavaju visok sjaj odštampanih površina koji se ne može postići upotrebom lakova na vodenoj bazi ili lakova na bazi ulja (Kipphan, 2001; Marrion, 2004). Pored navedenih lakova, postoje i specijalni lakovi koji pored osnovne funkcije oplemenjivanja površine otiska, poseduju i druge funkcionalne karakteristike kao što su: 1) blister lakovi - omogućavaju adheziju za blister ambalažu (kompozitna ambalaža sa plastičnom folijom), 2) osnovni sloj (prajmer - agens za povezivanje), npr. za naknadni tretman UV lakova, 3) specijalni lakovi koji omogućavaju papiru na koji su primenjeni manju zapaljivost (npr. baneri), 4) lakovi za štampu etiketa, 5) dvokomponentni lakovi (lak i učvršćivač), 6) lakovi sa mirisima (lakovi sa mikroenkapsuliranim mirisima) (Kipphan, 2001).

2.3.1 Funkcionalni premazi

Premazi se primenjuju na različite površine kako bi se postigli dekorativni, zaštitni ili funkcionalni efekti, ali najčešće je u pitanju spoj sve tri funkcije. Dodatna svrha funkcionalnih premaza može biti različita u zavisnosti od njenih karakteristika, primenjene podloge na koju je apliciran premaz, a svoju funkcionalnost ispoljavaju na osnovu svojih specifičnih fizičkih, hemijskih, mehaničkih i termičkih osobina. Tipični primeri funkcionalnih industrijskih premaza su premazi koji imaju odliku npr. samočišćenja ili lakog čišćenja površina na koje su aplicirani (npr. anti-grafiti), anti-bakterijski premazi, premazi sa mikrokapsulama koje enkapsuliraju različite aktivne materije, koje im daju specifičnu funkcionalnost, itd. Pored svojih specijalnih osobina, funkcionalni premazi često moraju da zadovolje i dodatne zahteve kao što su dugotrajnost, jednostavna aplikacija, niska cena, prilagođena površinska morfologija, ekološka prihvatljivost. Premazi koji se koriste u industrijskoj proizvodnji različitih proizvoda su najčešće u tečnom obliku, a nakon aplikacije i sušenja, koje se najčešće odvija isparavanjem ili oksidacijom (termički tretman, ekspozicija UV svetlošću), poprimaju izgled kontinualnog ili diskontinualnog filma. Osobine premaza su određene tipom veziva i ostalih aditiva korišćenih u formulaciji, a takođe tip podloge na koju se aplicira premaz, njen predtretman, metod aplikacije i uslovi formiranja filma premaza igraju dodatnu ulogu u određivanju finalnih karakteristika premaza. Oni mogu biti organskog i neorganskog porekla, gde neorganski premazi pretežno imaju zaštinu, a organski dekorativnu kao i funkcionalnu ulogu. Industrijski premazi se obično primenjuju kao višeslojni sistemi (npr. u automobilskoj industriji od 4 do 6 slojeva) i sastoje se od osnovnog sloja i slojeva koji se naknadno primenjuju na osnovni, gde svaki premazni sloj, kao i interakcije između slojeva igraju bitnu ulogu u ukupnoj performansi ovakvih višeslojnih sistema (Ghosh, 2006).

2.4 Štamparske i druge tehnike za aplikaciju mikrokapsula

Različiti tipovi mikrokapsula se mogu integrisati u podlogu za štampu, tkane i netkane materijale ili se mogu preneti na površinu podloge za štampu koristeći jednu od mnogobrojnih tehnika štampe (Rodrigues, i drugi, 2009; Goetzendorf-Grabowska, i drugi, 2004; Goetzendorf-Grabowska, i drugi, 2008) i ostalih tehnika kao što su premazivanje i prskanje (za proizvode kao što su mirišljave, hidrantne ili dekongestivne maramice, higijenske proizvode sa mikrokapsulama koje se aktiviraju putem vlage ili promenom pH vrednosti) (Pavlović, i drugi, 2014). Štamparske i ostale tehnike koje omogućavaju prenos mikrokapsula na podlogu su predstavljene u tabeli 2.2.

Najveća prednost aplikacije mikrokapsula putem određene tehnike štampe je što se mikrokapsule prenose na ciljna područja podloge za štampu, gde se one ravnomerno raspoređuju na površini materijala (Starešinić, i drugi, 2011; Ocepek, i drugi, 2009). Zbog njihove mikroskopske veličine i mehaničke čvrstoće, mikrokapsule se mogu preneti na različite materijale (papir, karton, plastika) korišćenjem različitih tehnika štampe kao što su: sito štampa, tabačna i rotaciona ofset štampa (obično putem jedinice za lakiranje), flekso, duboka i tampon štampa. Mikrokapsule su obično integrisane u bojama na bazi vode, UV ili plastizol bojama za štampu (Savolainen, i drugi, 2011; Maekawa, i drugi, 1975; Rose, 2007; Milošević, i drugi, 2016; Andersson, i drugi, 2009), kao i lakovima za štampu (Kipphan, 2001). Takozvane 3D štamparske boje sa ekspanirajućim mikrokapsulama, osetljivim na visoke temperature, se mogu mešati sa različitim koncentracijama drugih tipova mikrokapsula (npr. mikrokapsulama sa enkapsuliranim mirisima) i naknadno štampati sito tehnikom štampe (Stanković Elesini, i drugi, 2014).

Digitalne tehnike štampe kao što su ink džet (*eng. Ink-jet*) “kap na zahtev” (*eng. Drop-on-demand*) (termalna ili piezo tehnologija) i kontinualni ink džet sistemi nisu pogodni za štampu mikrokapsula zbog mogućnosti začepjenja mlaznica, osim u slučaju da je veličina mikrokapsula manja od 1 μm . Proces zasnovan na tehnologiji mlaznica na bazi ventila (*eng. valve jet*) omogućava aplikaciju mikrokapsula prečnika ispod 10 μm u kombinaciji sa odgovarajućim sistemom za štampu ili oslojavanje (Ghosh, 2006). Ova tehnika pripada beskontaktnom, “kap na zahtev” ink džet principu, gde je prskanje finog mlaza štamparske boje pod pritiskom omogućeno korišćenjem ventila sa dinamičkim otvaranjem što se najčešće upotrebljava u industrijskoj proizvodnji za obeležavanje i kodiranje (Le, 1998; Foxjet, n.d.). Većina boja za ink džet štampu, koje sadrže mikrokapsule, se sastoje primarno od tečne vezivne ili noseće tečnosti i mikrokapsula koje se najčešće sastoje od polimernog omotača izrađenog od jednog ili više polimernih materijala koji obavija materijal jezgra, boje i pomoćnih komponenti (Palmer, 2002).

Tabela 2.2. Štamparske i ostale tehnike za prenos mikrokapsula na podlogu

Tehnike za prenos mikrokapsula		Primena
1. Ostale tehnike	1.1 premazivanje, prskanje	Mirišljave, hidrantne, dekongestivne maramice, proizvodi za higijenu, vrednosti papiri.
	1.2 različite tehnike, prskanja, potapanja, impregnacije	Završna obrada tekstila.
2. Štamparske tehnike	2.1 tabačna i rotaciona ofset štampa, flekso, duboka i tampon štampa	Bioaktivni papir, mirisne mikrokapsule za ambalažu, promotivna primena.
	2.2 sito štampa	Završna obrada tekstila, bioaktivni papir, štampa 3D motiva.
	2.3 ink džet	Obeležavanje i kodiranje.
	2.4 elektrofotografija	Štampa 3D motiva, višebojna štampa.

Elektrofotografska tehnika štampe se može koristiti za štampu izdignutih 3D elemenata sa elektroskopskim prahom koji bubri pri povišenoj temperaturi, gde se mikrokapsule (mikrosfere) mešaju sa bojom ili tonerom u prahu u rezervoaru štampača. Slika se formira i prenosi na podlogu koristeći konvencionalni elektrofotografski štamparski postupak. Primena toplote omogućava fiksiranje tonera za podlogu za štampu i dolazi do značajnog bubrenja praha što utiče na “izdizanje” odštampane slike (Chovancova, i drugi, 2005). Još jedan tip mikrokapsula koji se koristi u postupku elektrofotografije, a služi za generisanje boje na podlozi za štampu, sastoji se od čestica pigmenta, agenasa za sušenje i mešavine estarskih ulja, dok su mikrokapsule obložene veoma krutom omotačem. Kada omotač pukne pod uticajem pritiska dela štamparske mašine zaduženog za fiksiranje boje na podlogu, mikrokapsule oslobađaju enkapsulirani materijal i na površini supstrata se generiše obojenje (Ertel, 1999).

2.5 Prednosti i mane tehnika koje omogućavaju aplikaciju mikrokapsula

Mikrokapsule se mogu uspešno štampati tehnikom tabačne ofset štampe, ali moraju biti odgovarajuće, veoma male veličine (obzirom da je debljina odštampanog sloja boje ili laka svega nekoliko mikrona), jer imaju tendenciju da pod uticajem sila smicanja puknu pre nego što uopšte dođu do površine materijala za štampu zbog dejstva visokog pritiska između štamparskih valjaka i cilindra (Urbas, i drugi, 2014). Mirisne mikrokapsule u prahu se pored boje mogu štampati i u kombinaciji sa različitim lakovima na bazi mineralnih ulja (premazni papiri) ili korišćenjem tehnike sito štampe u kombinaciji sa bojom namenjenoj ovoj tehnici štampe (Urbas, i drugi, 2014; Pavić, 2015a; Pavić, i drugi, 2015b). Treba imati u vidu da mikrokapsule pored toga što omogućavaju specifične funkcionalnosti materijalu na koji su odštampane, one nužno menjaju i druge karakteristike podloge za štampu (povećava se debljina, gramatura, svetlina - zavisi od boje omotača, površinska hrapavost, otpornost na cepanje i zatezna čvrstoća papira). Takođe, veća koncentracija, odnosno veći maseni udeo mikrokapsula (10% - 15%) npr. u laku za štampu omogućava veću dugotrajnost i zaštitu jezgra mikrokapsula (Urbas, i drugi, 2014).

Prilikom štampe mikrokapsula, pogotovo mikrokapsula u prahu, dolazi do pojave aglomerata, što je primarno rezultat procesa sušenja mikrokapsula (Stanković Elesini, i drugi, 2016d). Ovo je negativna pojava koja, zbog grupisanja mikrokapsula, ima uticaj na njihovu distribuciju (raspored) u odštampanom sloju boje ili laka, samim tim i na smanjenje funkcionalnosti odštampanog područja i najčešće dovodi do povećanja potrošnje mikrokapsula. Aglomeracija mikrokapsula je izraženija, a i sami aglomerati su veći, u slučaju otisaka izrađenih sito tehnikom štampe u kombinaciji sa bojom, u odnosu na otiske izrađene tehnikom tabačne ofset štampe korišćenjem laka. Pojava intenzivnijeg grupisanja mikrokapsula primenom sito tehnike štampe se može objasniti specifičnostima korišćenih tehnika štampe (put boje veoma kratak, dok je put koji boja ili lak mora da pređe u tehnici ofset štampe daleko duži), i većoj gustini boja za sito štampu u odnosu na lakove za ofset štampu (Pavić, 2015a). Zbog različitih izvedbi jedinica za obojenje i štampu u kojima valjci i cilindri prenose boju ili lak na željene delove površine podloge za štampu (tehnika ofset štampe), uz primenu relativno visokog pritiska, ovakav način prenosa boje onemogućava prolaz mnogobrojnih velikih nakupina (aglomerata) mikrokapsula između rotirajućih elemenata (valjaka i cilindra) jedinice za obojenje i štampu, što rezultuje i manjim brojem ovakvih grupa mikrokapsula. Iz tog razloga i primenjena tehnika za štampu mikrokapsula u velikoj meri utiče na površinsku strukturu štampanih otisaka. Na pojavu i veličinu grupisanih mikrokapsula se u određenoj meri može uticati na primer primenom odgovarajuće metode i uslova mešanja mikrokapsula i boja ili lakova (npr. čestice nanogline u nezasićenoj poliesterskoj smoli), gde se viskozitet tečnog medijuma smanjuje pri velikoj brzini mešanja zbog reorijentacije čestica unutar medijuma (Bensadoun, i drugi, 2011).

Sito tehnika štampe omogućava prenos najveće količine mikrokapsula na podlogu za štampu, u odnosu na procese premazivanja, fleksografije ili tabačne ofset štampe, a količina prenetih mikrokapsula se može regulisati debljinom odštampanog sloja štamparske boje ili laka (Savolainen, i drugi, 2011; Pavić, 2015a). U slučaju flekso štampe, veće mikrokapsule i njeni aglomerati često pucaju usled dejstva sila smicanja koje nastaju delovanjem rakel noža na raster valjak, najverovatnije zbog činjenice da najveće mikrokapsule ne mogu fizički da stanu u ćelije raster valjka (Savolainen, i drugi, 2011). U slučaju tehnike ofset štampe, jedinice za štampu i lakiranje zahtevaju primenu visokog pritiska kako bi se ostvario prenos štamparske boje ili laka na podlogu za štampu, tako da mnoge mikrokapsule pucaju još u toku ove faze (Pavić, 2015a).

2.6 Tehnike za proizvodnju mikrokapsula

Proces mikroenkapsulacije se sastoji od tri operacije:

- inkorporacije aktivne supstance u jezgro mikrokapsule ili matriks,
- mehaničke operacije u tečnom ili čvrstom matriksu, i
- stabilizacije kapsule putem hemijske, fizičke ili fizičko-hemijske tehnike (Savolainen, i drugi, 2011).

Hemijske tehnike mikroenkapsulacije omogućavaju enkapsulaciju veoma velike količine aktivne materije i mogu se podeliti na tri različita principa mikroenkapsulacije: 1) polikondenzaciju, 2) disperznu i 3) emulzionu polimerizaciju. Fizičke tehnike mikroenkapsulacije su podjeljene u dve podgrupe: 1) fizičko-hemijske i 2) fizičko-mehaničke tehnike. U fizičko-hemijske tehnike spadaju: koacervacija, „sloj po sloj“ mikroenkapsulacija (*eng. layer-by-layer assembly*), sol-gel enkapsulacija i superkritična mikroenkapsulacija potpomognuta uticajem CO₂, a u fizičko-mehaničke tehnike mikroenkapsulacije spadaju: sušenje raspršivanjem, prskanje iz višestrukih mlaznica, premazivanje raspršivanjem (*eng. fluid-bed coating*), tehnike koje koriste centrifugalnu silu, vakuumska mikroenkapsulacija i elektrostatička mikroenkapsulacija (Ghosh, 2006). U tabeli 2.3 su predstavljene različite tehnike i principi mikroenkapsulacije koje se najčešće koriste u okviru grafičke industrije, kao i najčešće korišćene enkapsulirane aktivne materije.

Tabela 2.3. Tehnike i principi mikroenkapsulacije koji se koriste u grafičkoj industriji

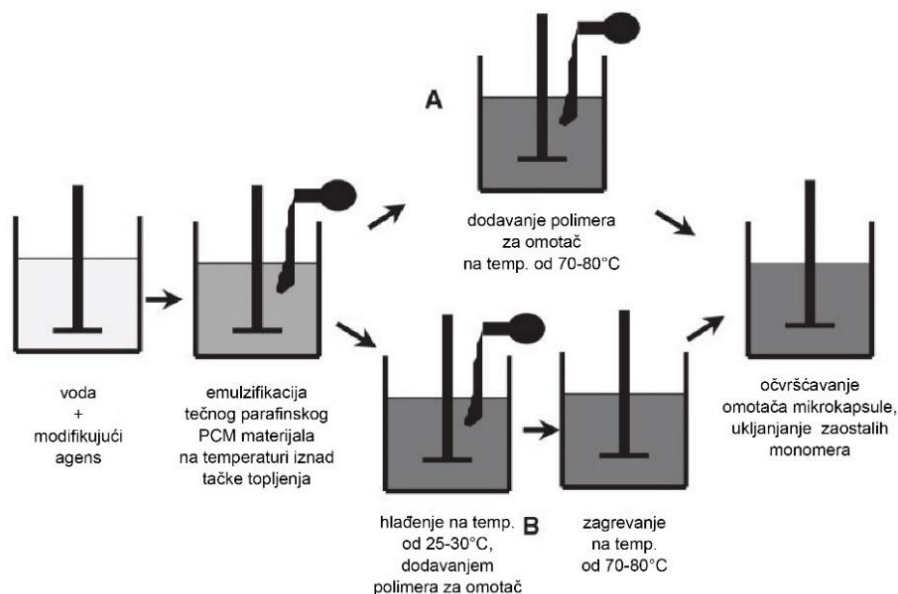
Tehnika mikroenkapsulacije	Princip mikroenkapsulacije	Aktivna supstanca
1. Hemijske tehnike	1.1 međupovršinska polimerizacija	1.1 mirisi
	1.2 “in situ” polimerizacija	1.2 mirisi, PCM materije, esencijalna ulja, antimikrobna sredstva
	1.3 emulzifikacija	1.3 esencijalna ulja
	1.3.1 ink džet	1.3.1 biomedicinske aplikacije
	1.4 međupovršinska polikondenzacija	1.4 enzimi
2. Fizičke (fizičko-hemijske) tehnike	2.1 koacervacija želatina	2.1 parfemi (za boje na bazi vode za duboku ili sito štampu)
	2.2 sol-gel proces	2.2 mirisi u polimernoj matrici

Odabir odgovarajuće tehnike i principa mikroenkapsulacije zavisi od nekoliko faktora:

- fizičkih i hemijskih karakteristika materijala koji učestvuju u procesu mikroenkapsulacije,
- regulacije odnosa između materijala jezgra i omotača,
- kompatibilnosti između upotrebljenih aditiva sa zahtevom primene određenih procesnih koraka na materijalu na koji će mikrokapsule biti primenjene,
- metoda aplikacije mikrokapsula na podlogu,
- željenih karakteristika mikrokapsula (npr. veličina i mehanizam oslobađanja aktivne supstance),
- performansi mikrokapsula u finalnom proizvodu.

Danas je pored veoma velikog broja tehnika mikroenkapsulacije moguće čak i korišćenje jedne digitalne tehnike štampe, ink džet štampe, koja je pretežno namenjena za mikroenkapsulaciju u biomedicinskim aplikacijama (Böhmer, i drugi, 2006). Ona pripada hemijskim tehnikama mikroenkapsulacije, principu emulzifikacije (Ramazani, i drugi, 2016). Posle generisanja kapljice materijala jezgra pomoću mlaznice ink džet štamparske glave, kapljica se propušta kroz sito koje je izrađeno od materijala omotača mikrokapsule (Blanco-Pascual, i drugi, 2014). Neke od izvedbi štampača za ink džet mikroenkapsulaciju se sastoje od zagrejanih piezo štampajućih glava, rezervoara sa tečnim materijalom omotača za mikrokapsule koji se takođe zagreva, i mlaznica kroz koje prolazi mlaz tečnosti materijala omotača mikrokapsule koji na izlasku iz mlaznice formira tanku, tečnu prevlaku od materijala omotača. Postoje slični principi štampača koji poseduju mlaznice uronjene u rezervoar ispunjen vodenom fazom, gde zbog razlike u gustini između štamparske boje i vodene faze, dolazi do nakupljanja kapljica na dnu rezervoara (Böhmer, i drugi, 2006).

„In situ“ principi mikroenkapsulacije kao što su emulziona, suspenziona, precipitativna ili disperzna polimerizacija i međupovršinska polikondenzacija su najbitnije hemijske tehnike mikroenkapsulacije (Ghosh, 2006). U procesu „in situ“ polimerizacije se formiranje omotača kapsule odvija pod uticajem procesa polimerizacije koji uključuje posebne monomere/prepolimere koji se dodaju stabilnoj emulziji formiranoj između kontinualnog rastvora i materije jezgra (koji se ne mešaju). Bitna karakteristika ovog principa mikroenkapsulacije je da se ne zahteva dodavanje reagenasa materijalu jezgra, a polimerizacija se odvija isključivo u kontinualnoj fazi (koja se ne meša sa materijom jezgra). Ova tehnika se u velikoj meri koristi za proizvodnju mikrokapsula male veličine koje enkapsuliraju npr. boje za beskarbonske samokopirajuće papire, parfeme za mirisne aplikacije, PCM materije (Teixeira, 2010). Na slici 2.10 je dat šematski prikaz „in situ“ principa polimerizacije mikroenkapsulacije PCM mikrokapsula.



Slika 2.10. Šematski prikaz „in situ“ principa polimerizacije mikroenkapsulacije: a) bez hlađenja, b) sa hlađenjem pre dodavanja polimera za formiranje omotača (Boh, i drugi, 2005)

Mikroenkapsulacija pomoću „in situ“ polimerizacije nije tehnološki zahtevna i omogućava proizvodnju mikrokapsula sa dobrim mehaničkim karakteristikama (Kukovic, i drugi, 1996). Promenom pH vrednosti ili temperature u procesu proizvodnje mikrokapsula, materijal omotača se taloži i uniformno obavija površinu kapljica u emulziji (buduća jezgra mikrokapsula), što rezultuje ujednačenom debljinom omotača mikrokapsule, bez obzira na njenu veličinu. Kako bi se postigla bolja procesna kontrola i unapredile mehaničke karakteristike mikrokapsula, moraju se dodati odgovarajući modifikujući agensi, koji inicijano služe kao emulzifikatori, a kasnije kao specifični inicijatori polikondenzacije (za monomere amina i aldehida ili prekondenzate amino-formaldehida), koji omogućavaju polimerizaciju samo na površini emulzifikovanih jezgara mikrokapsula, ali ne i u čitavoj vodenoj fazi (Boh, i drugi, 2005).

2.7 Parametri procesa mikroenkapsulacije koji utiču na karakteristike mikrokapsula

Uslovi pri kojima se odvija proces mikroenkapsulacije u okviru različitih tehnika, utiču na karakteristike proizvedenih mikrokapsula (veličina, debljina i struktura omotača mikrokapsula), dok osobine upotrebljenih materijala u procesu mikroenkapsulacije (npr. viskozitet i površinski napon), određuju polje primene mikrokapsula (Blanco-Pascual, i drugi, 2014; Pavlović, i drugi, 2014). Tehnike mikroenkapsulacije i parametri koji utiču na osnovne karakteristike mikrokapsula su predstavljeni u tabeli 2.4.

Jedna od bitnih karakteristika mikrokapsula je efikasnost enkapsulacije (procenat aktivne materije u mikrokapsulama) što zavisi od hemijskih osobina materijala jezgra (molekulska masa, hemijska funkcionalnost, polarnost i isparljivost), karakteristika materijala omotača mikrokapsula, osobina hidrofobnosti korišćenih surfaktanata, kao i od odabrane tehnike mikroenkapsulacije (Martins, i drugi, 2014). Na smanjenje efikasnosti enkapsulacije i karakteristika oslobađanja aktivne materije iz

mikrokapsule utiče aglomeracija mikrokapsula, što se može sprečiti dodatkom određenih surfaktanata ili voskova (Leimann, i drugi, 2009; Joseph, i drugi, 1995), čija je svrha smanjenje površinskog napona između uljane i vodene faze i omogućavanje formiranja malih mikrokapsula (koacervacija) (Martins, i drugi, 2011).

Tabela 2.4. Principi mikroenkapsulacije i parametri procesa koji utiču na karakteristike mikrokapsula

Principi mikroenkapsulacije	Parametri procesa mikroenkapsulacije	Karakteristike mikrokapsula
1. Polikondenzacija	Kombinacija i koncentracija monomera, temperatura, brzina polimerizacije.	Veličina.
2. Koacervacija	Tip i koncentracija PVA (polivinil alkohol), brzina porasta temperature, brzina mešanja, viskozitet i količina dispergovane uljane faze, koncentracija elektrolita koja izaziva razdvajanje faza, tip surfaktanta.	Veličina i distribucija veličina, oblik i stabilnost, morfologija i debljina omotača mikrokapsule, efikasnost mikroenkapsulacije.
3. Međupovršinska polimerizacija	Brzina mešanja, postupak emulzifikacije.	Formiranje čestica.
4. Isparavanjem rastvarača	Viskozitet polimera za omotač mikrokapsule.	Morfologija omotača mikrokapsule.
5. Ink džet	Koncentracija materijala za omotač mikrokapsule, prečnik mlaznice, viskozitet rastvora u kom se nakupljaju kapljice jezgra, napon na piezoelektričom elementu.	Veličina i oblik.
6. Sušenje raspršivanjem	Početna temperatura, brzina raspršivanja, sadržaj suve supstance.	Veličina, formiranje aglomerata.

U zavisnosti od primenjene tehnike i principa mikroenkapsulacije određeni parametri utiču na veličinu, distribuciju veličina mikrokapsula i njihov oblik. Tako na primer kombinacija i koncentracija monomera, temperatura i brzina polimerizacije, utiču na veličinu proizvedenih mikrokapsula (porast temperature utiče na dobijanje manjih mikrokapsula, dok mala brzina omogućava dobijanje većih mikrokapsula) (polikondenzacija) (Shigeri, i drugi, 1970). Na formiranje mikrokapsula i njihovu distribuciju veličina utiče i brzina mešanja (vodenog rastvora PVA) (međupovršinska polimerizacija), gde veća brzina omogućava manje mikrokapsule i užu distribuciju veličina (prosta koacervacija)

(Savolainen, i drugi, 2011; Leimann, i drugi, 2009). Niža koncentracija polimera za omotač mikrokapsule, kao i manji prečnik mlaznica omogućavaju manje mikrokapsule (Böhmer, i drugi, 2006), dok primena višeg napona na piezoelektričnim elementima ink džet štamparske glave izaziva veću deformaciju ink džet piezoelektričnog elementa i generisanje većih kapljica (Dohnal, i drugi, 2010). Veći viskozitet polimera za omotač mikrokapsule daje porozniju površinu omotača mikrokapsule (odparavanje rastvarača) (Erkan, i drugi, 2015), dok se povećanjem viskoziteta rastvora u kom dolazi do nakupljanja kapljica utiče na oblik mikrokapsula (ink džet tehnika) (Dohnal, i drugi, 2010). Kod principa sušenja raspršivanjem (*eng. spray drying*) mikrokapsula u vodenoj suspenziji, dolazi do grupisanja mikrokapsula, gde pri višim ulaznim temperaturama, većim brzinama raspršivanja i višem sadržaju suve materije, dolazi do značajnog povećanja prosečne veličine mikrokapsula, a njihova distribucija veličina postaje šira, asimetrična i blago bimodalna, dok na višim temperaturama oblik određenog broja mikrokapsula postaje konkavan (Stanković Elesini, i drugi, 2016d). Faktori kao što su tip i koncentracija PVA (npr. molekulska masa i stepen hidrolize), koncentracija elektrolita u vodenom rastvoru, brzina porasta temperature, brzina mešanja, viskozitet i količina dispergovane uljane faze, koncentracija elektrolita koja izaziva razdvajanje faza, i uslovi pripreme ulje/voda emulzije (tip surfaktanta) utiču na formiranje, veličinu i distribuciju veličina mikrokapsula, oblik, stabilnost, debljinu i morfologiju omotača mikrokapsula (koacervacija) (Martins, i drugi, 2011; Bachtisi, i drugi, 1996; Leimann, i drugi, 2009).

U slučaju mikroenkapsulacije principom “in situ” polimerizacije, koncentracija materijala omotača ima veoma velik uticaj na mehaničku otpornost proizvedenih mikrokapsula, takođe mala brzina zagrevanja i visoka početna pH vrednost materijala omotača utiče na dobro definisan, sferni oblik mikrokapsula sa odličnim barijernim svojstvima. Umerena koncentracija sodijum hlorida može značajno da poboljša kompaktnost omotača mikrokapsula (Chuanjie, i drugi, 2013).

2.8 Osobine mikrokapsula i metode za njihovu karakterizaciju

Najbitnije karakteristike mikrokapsula, koje određuju njihovu primenu i funkcionalnost su fizičke (veličina, distribucija veličina i zapremina mikrokapsula, morfologija (omotača, debljina omotača), hemijske (hemijski sastav), mehaničke (otpornost na silu pritiska koja dovodi do pucanja omotača), mehanizam aktivacije i karakteristike oslobađanja aktivne materije iz jezgra mikrokapsule, prostorna distribucija mikrokapsula u odštampanom sloju boje ili laka. U nastavku je dat pregled metoda za karakterizaciju navedenih, najbitnijih osobina mikrokapsula.

2.8.1 Određivanje fizičkih i hemijskih karakteristika mikrokapsula

Veličina mikrokapsula i distribucija njihovih veličina se može odrediti korišćenjem optičke, SEM (*eng. scanning electron microscopy*) i TEM mikroskopije (*eng. transmission electron microscopy*). Dobijene mikroskopske slike se koriste za merenje prečnika nasumično odabranih mikrokapsula pomoću nekog od softvera za digitalnu analizu slike (npr. Image-J) (Leimann, i drugi, 2009; Stanković Elesini, i drugi, 2016b; Kulčar, i drugi, 2010a). Takođe, pomoću navedenih mikroskopskih metoda, moguće je analizirati i morfološke karakteristike mikrokapsula, kao što su površinske i karakteristike unutrašnjosti omotača mikrokapsula, karakteristike deformacije i oblika, strukture i formiranja mikrokapsula (Rodrigues, i drugi, 2009; Peña, i drugi, 2009; Mozaffari, i drugi, 2016). Još jedna tehnika koja se koristi

za evaluaciju distribucije veličina mikrokapsula je laserska difrakciona spektroskopija koja je zasnovana na detekciji intenziteta rasute svetlosti. Upotrebom ove tehnike, analiza distribucije veličina može biti precenjena, jer merni uređaj nema mogućnost razlikovanja pojedinačnih mikrokapsula od njenih aglomerata (Böhmer, i drugi, 2006; Blanco-Pascual, i drugi, 2014; Bachtsi, i drugi, 1996). Različite tehnike mikroenkapsulacije koje omogućavaju proizvodnju mikrokapsula širokog raspona veličina su predstavljene u tabeli 2.5.

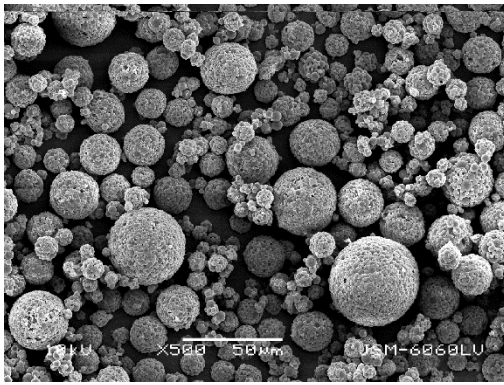
Tabela 2.5. Relativni opseg veličina mikrokapsula proizvedenih različitim tehnikama mikroenkapsulacije (Ghosh, 2006)

Tehnika mikroenkapsulacije	veličina [μm]
Ekstruzija	250 – 2500
Sušenje raspršivanjem	5 – 5000
Premazivanje raspršivanjem	20 – 1500
Tehnika rotacionog diska	5 – 1500
Koacervacija	2 – 1200
Tehnika otparavanja rastvarača	0,5 – 1000
Tehnika separacije faza	0,5 – 1000
“In situ” polimerizacija	0,5 – 1100
Tehnika međupovršinske polimerizacije	0,5 – 1000
Tehnika miniemuzije	0,1 – 0,5
Sol-gel enkapsulacija	2 – 20
“Layer-by-layer” enkapsulacija	0,02 – 20

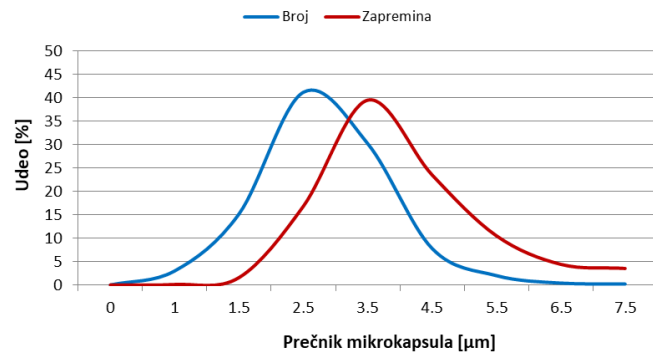
Distribucija veličina mikrokapsula se može izraziti koeficijentom varijacije (CV) koji je definisan kao:

$$CV = \frac{\left(\sum(d_i - \bar{d})^2 / N\right)^{\frac{1}{2}}}{\bar{d}} \quad (2.1)$$

gde je d_i prečnik i -te mikrokapsule, \bar{d} je prosečan prečnik mikrokapsula, a N predstavlja ukupan broj uzorkovanih mikrokapsula (Liu, i drugi, 2005). Distribucija veličina mikrokapsula se može izraziti na dva načina, relativno u odnosu na ukupnu zapreminu mikrokapsula i relativno u odnosu na ukupan broj uzorkovanih mikrokapsula, što najčešće daje različite vrednosti distribucije (Rodrigues, i drugi, 2009). Primer distribucije veličina i distribucije zapremina mikrokapsula u prahu je prikazan na slici 2.11b, gde dijagram pokazuje relativno usku, blago asimetričnu distribuciju veličina (plava kriva), na slici 2.11a je predstavljen izgled suvih, mikrokapsula u praškastom obliku sa jednim jezgrom.



a)



b)

Slika 2.11. Prikaz: a) mikrokapsula u praškastom obliku sa jednim jezgrom i b) njihove distribucije veličina i zapremina (SEM; uvećanje 500×) (Milošević, i drugi, 2017a)

Sledeća bitna fizička karakteristika mikrokapsula je debljina omotača mikrokapsula. Jedna od mogućnosti za izračunavanje debljine mikrokapsula je pomoću izraza 2.2, uz pretpostavku da je omotač mikrokapsule uniformne debljine, i da su mikrokapsule sfere prečnika D :

$$d = \frac{D}{2} x \left(1 - \sqrt[3]{\frac{1}{1 + R \times \frac{\rho_j}{\rho_s}}} \right) \quad (2.2)$$

gde d predstavlja debljinu omotača mikrokapsule, D je prečnik mikrokapsule, R je odnos količine materijala omotača i jezgra mikrokapsule, ρ_j je gustina materijala jezgra, a ρ_s je gustina materijala omotača mikrokapsule (Starešinić, i drugi, 2011). Karakteristično za mikrokapsule proizvedene tehnikom koacervacije i “in situ” polikondenzacije je da imaju uniformnu debljinu omotača (Kukovic, i drugi, 1996).

Hemijski sastav materijala jezgra i omotača se može odrediti korišćenjem FTIRa – Furijeove infra-crvene spektroskopije (*eng. Fourier-transform infrared spectroscopy*), dok se za analizu sastava materijala jezgra može koristiti i gasna hromatografija (Rodrigues, i drugi, 2009; Leimann, i drugi, 2009; Peña, i drugi, 2009).

2.8.2 Furijeova infra-crvena spektroskopija

Hemijsku karakterizaciju, odnosno karakterizaciju molekularne strukture omotača mikrokapsula kao i određivanje reaktivnosti mikrokapsula moguće je obaviti korišćenjem Furijeove infra-crvene spektroskopije (Mozaffari, i drugi, 2016). Pomoću FTIR analize moguća je identifikacija funkcionalnih grupa odgovornih za vibracije u spektru kako bi se ustanovio materijal jezgra ili omotača mikrokapsule, kao i za kontrolu efikasnosti samog procesa mikroenkapsulacije (Teixeira, i drugi, 2012; Theophanides,

2012). Furijeova infra-crvena spektroskopija je tehnika kojom se omogućava dobijanje infra-crvenog spektra apsorpcije ili emisije čvrstog tela, tečnosti ili gasa, simultanim beleženjem podataka visoke spektralne rezolucije u širokom spektralnom opsegu (Griffiths, i drugi, 2007).

2.8.3 Određivanje mehaničkih karakteristika mikrokapsula

Informacija o mehaničkim karakteristikama mikrokapsula je veoma bitna, jer se može iskoristiti za unapređenje njihovog dizajna, optimizaciju funkcionalnosti, minimizaciju proizvodnih troškova i rešavanje ključnih problema u samom procesu izrade (Jalsenjak, i drugi, 1976; Ohtsubo, i drugi, 1989; Prapaitrakul, i drugi, 1990; Su, i drugi, 2012). Mikrokapsule moraju biti dovoljno jake kako bi ostale neoštećene tokom procesa proizvodnje kao i dalje obrade (sušenje, mešanje) jer kada dođe do bilo kakvog oštećenja, njihov omotač puca oslobađajući na taj način enkapsuliranu materiju (Su, i drugi, 2012; Lee, i drugi, 2012).

Jedna od prvih mernih metoda za određivanje mehaničkih karakteristika (pritisne čvrstoće) mikrokapsula je metoda kompresije, koja se može primeniti samo na mikrokapsulama većim od 60 μm (Liu, 1995). Sila koja je potrebna da se primeni na mikrokapsulu kako bi njen omotač pukao, zavisi do debljine omotača, njegovog sastava i veličine jezgra, što je proporcionalno prečniku mikrokapsule (Zhang, i drugi, 1999), gde mikrokapsule veće od 80 μm obično imaju lošiju mehaničku stabilnost zbog povećane nestabilnosti omotača mikrokapsule (Maekawa, i drugi, 1975; Rose, 2007). Potom je razvijena metoda mikromanipulacije koja se pokazala veoma uspešnom za merenje sile pucanja omotača mikrokapsula (Zhang, i drugi, 1991), što je omogućilo direktno merenje na pojedinačnim mikrokapsulama i tako obezbedilo određivanje karakteristika viskoelastičnosti i plastičnosti mikrokapsula (Sun, i drugi, 2002; Zhang, i drugi, 1999; Zhang, i drugi, 1991). Metode bazirane na mikromanipulaciji pojedinačnih mikrokapsula su tehnički zahtevne i ne daju precizne statističke podatke, obzirom da se ne testiraju sve mikrokapsule u jednom eksperimentu već samo ograničen broj mikrokapsula. Jedna od tehnika mikromanipulacije je i mikroskopija atomskim silama (*eng. Atomic force microscopy* - AFM) kojom se mogu izmeriti sile između 10^{-11} N i 10^{-6} N i detektovati deformacije manje od 1 nm (Fery, i drugi, 2004).

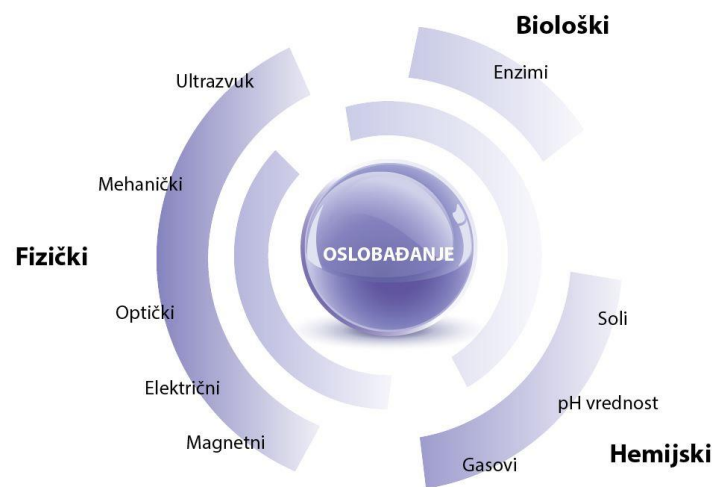
Za određivanje mehaničkih karakteristika mikrokapsula koriste se i metode koje se baziraju na efektima osmotskog pritiska. Jedna od metoda se zasniva na uključivanju polielektrolita u mikrokapsule, koji dovodi do stvaranja osmotskog pritiska u njima, što dovodi do povećanja njihove zapremine, dok polielektrolit koji se nalazi izvan mikrokapsule ima tendenciju da kompresuje mikrokapsulu. Višak polielektrolita u unutrašnjosti ili spoljašnjosti mikrokapsule formira uniformnu silu čija vrednost omogućava informaciju o mehaničkim karakteristikama mikrokapsula, koje se dobijaju pomoću analize deformisanih mikrokapsula korišćenjem fluorescentne konfokalne mikroskopije (Fery, i drugi, 2004).

Još jedna tehnika zasnovana na primeni sile pritiska je i postupak nanoindentacije, koji omogućava merenje primenjenih sila i rezultujućih deformacija, tvrdoće i modula elastičnosti materijala na mikro i nano nivou. Nanoindenteri imaju visoku rezoluciju, osetljivost i preciznost merenja, i predstavljaju važan alat za merenje nanomehaničkih karakteristika veoma malih uzoraka, kao što su pojedinačne mikrokapsule. Lee i saradnici (2012) su korišćenjem nanoindentacije ispitivali mehaničke karakteristike in situ polimerizacijom dobijenih mikrokapsula (Jangov modul elastičnosti i tvrdoću), čiji omotač je izrađen od poli melamin formaldehida sa enkapsuliranom epoksi smolom i utvrdili da se mikrokapsule sa ovakvim omotačem ispoljavaju viskoelastično-plastična svojstva (Lee, i drugi, 2012). Faktori koji u

najvećoj meri utiču na mehaničke karakteristike mikrokapsula su njihova veličina i debljina omotača (Su, i drugi, 2012).

2.8.4 Mehanizmi oslobađanja aktivne materije iz mikrokapsula

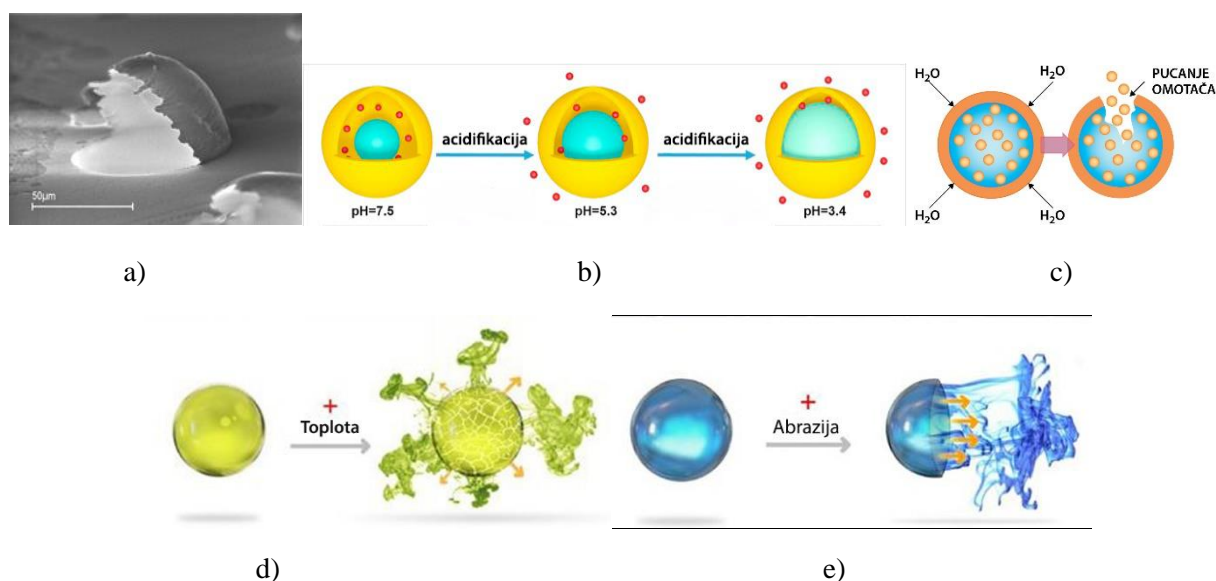
Kako bi mikrokapsule ispoljile svoju funkciju, moraju biti na određeni način aktivirane, a kao rezultat toga enkapsulirana materija se oslobađa iz mikrokapsule. Za aktivaciju mikrokapsula se koriste različiti principi koji zavise od prirode mikrokapsula, odnosno od njihove funkcionalnosti, pa tako mikrokapsule mogu biti aktivirane mehaničkim uticajima, promenom temperature, difuzijom, promenom pH vrednosti, biorazgradnjom ili rastvaranjem omotača, slika 2.12 (Rodrigues, i drugi, 2008). Šematski prikaz različitih mehanizama oslobađanja aktivne materije iz mikrokapsula je predstavljen na slici 2.12.



Slika 2.12. Šematski prikaz različitih mehanizama aktivacije i načina oslobađanja aktivne materije iz mikrokapsula

Prvi razvijeni mehanizmi aktivacije mikrokapsula, koji se još uvek vrlo često koriste, su primena spoljašnjeg pritiska, što dovodi do pucanja omotača mikrokapsule i oslobađanja aktivne materije jezgra mikrokapsule. Ovakva aktivacija je zastupljena kod proizvoda kao što su: beskarbonski samokopirajući papiri, enkapsulirani mirisi i fungicidi za izradu uložaka za cipele, paste za poliranje (aktivacija trljanjem), arome i zaslađivači u žvakaćim gumama, filmovi osetljivi na pritisak koji se koriste u procesima štampe, izrade papira i ambalaže za merenje kontaktnih pritisaka, slika 2.13a (Sensor Products Inc., 2015; Boh, i drugi, 2008). Materijal jezgra mikrokapsule se može osloboditi i abrazijom omotača mikrokapsule, slika 2.13e, (npr. abrazija tekstila u mašinama za pranje i sušenje rublja), toplotom, topljenjem omotača mikrokapsule (primena kod materijala otpornih na gorenje: tapete, tepisi, zavese, zaštitna odeća koja štiti od vatre i kao dodatak plastičnim materijalima i oslojenjima za električne uređaje i žice), slika 2.13d, promenom pH vrednosti ili rastvaranjem omotača mikrokapsule u određenom rastvaraču, slika 2.13b i 2.13c. Mikrokapsule u specijalnim fotografskim emulzijama, svetlo-osetljivim papirima i tonerima za kopir mašine, takođe imaju omotač koji se razgrađuje pod uticajem svetlosti (Ghosh, 2006; Stanković Elesini, i drugi, 2016a; Bône, i drugi, 2011). U grafičkoj

industriji, najčešći mehanizmi aktivacije mikrokapsula su dejstvo spoljašnjeg pritiska, abrazija i aktivacija posredstvom toplote ili svetlosti.



Slika 2.13. Prikaz aktivacije mikrokapsula: a) mehaničkim putem, b) promenom pH vrednosti okruženja, c) rastvaranjem omotača u vodi, d) toplotom, e) abrazijom (Jia, i drugi, 2017; Inesfly corporation, n.d.; Southwest Research Institute, n.d.)

Karakteristike i dinamika oslobađanja aktivne materije iz jezgra mikrokapsula se može odrediti jednostavnim metodom, zagrevanjem mikrokapsula na određenoj temperaturi i merenjem gubitka mase mikrokapsula usled isparavanja u određenim vremenskim intervalima. U slučaju mikrokapsula u vodenoj suspenziji, inicijalni gubitak mase odgovara količini vode koja je isparila, a eventualni pad ukupne mase u narednim merenjima će odgovarati isparavanju enkapsulirane aktivne materije, što je rezultat poroznosti omotača mikrokapsula (Šumiga, 2013; Hwang, i drugi).

2.8.5 Metode za određivanje distribucije mikrokapsula u sloju boje ili laka

Uniformnost disperzije i distribucije čestica pigmenta u tečnoj boji ili suvom sloju boje utiče na sve bitne karakteristike ovakvih sistema, uključujući viskoznost, otpornost na grebanje, poroznost, sjaj, pojavu različitih nepravilnosti (Diebold, i drugi, 2005). Varijacija broja čestica i njihovih aglomerata (grupa) određuje stepen disperzije čestica, dok međusobna udaljenost čestica i njihovih aglomerata definiše stepen distribucije čestica u sistemu (Hui, i drugi, 2008). Neuniformna distribucija čestica pigmenta u boji uzrokuje nehomogena svojstva apliciranog sloja boje na različitim segmentima njene površine (Diebold, i drugi, 2005; Pfeifer, i drugi, 2014). Male čestice imaju tendenciju da se grupišu pod uticajem privlačnih Van der Valsovih sila, što onemogućava idealnu disperziju i distribuciju čestica gde su sve čestice na jednakoj međusobnoj udaljenosti. Na nastanak neuniformne distribucije čestica pigmenta u boji ima uticaj veliki broj mehanizama, kao što su loša inicijala disperzija, flokulacija čestica pri sušenju boje, grupisanje čestica zbog drugih čestica prisutnih u sistemu (Diebold, i drugi, 2005).

Postoje različite metode za određivanje uniformnosti disperzije i distribucije različitih čestica dispergovanih u određenom medijumu, kao što su vizuelne metode (poređenje mikroskopskih slika sa standardnim, referentnim slikama i ocenjivanje uzoraka); polu-kvantitativne, indirekne metode koje se zasnivaju na merenju površinskih karakteristika uzorka (nekom od stilusnih mernih metoda), a zatim se nivo površinske hrapavosti uzrokovan aglomeratima prevodi u meru uniformnosti distribucije (Pfeifer, i drugi, 2014) i metode digitalne obrade slike koje pomoću određenih programa (npr. ImageJ, MATLAB), programskih dodataka (*eng. plugin*) ili programskih makroa vrše obradu slike i ekstrakciju bitnih informacija za određivanje distribucije elemenata od interesa na slici.

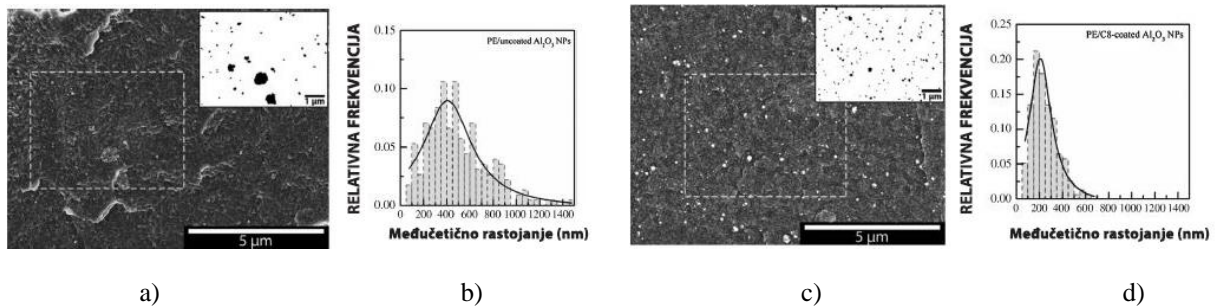
Kod procene uniformnosti distribucije čestica digitalnom obradom slike, koriste se različiti pristupi koji se zasnivaju na obradi piksela (obično koriste meru korelacije između intenziteta piksela u različitim slikama kako bi se kvantifikovao stepen distribucije elemenata od interesa) i oni koji se zasnivaju na analizi interakcije između detektovanih elemenata na slici (analiza i obrada lokacija detektovanih elemenata). Kod pristupa koji se baziraju na obradi piksela, merenja i izračunavanja su jednostavna, ali su kompleksna za interpretaciju, a u određenim slučajevima na rezultate utiču zamućenja i šum prisutan na slici. Rezultati dobijeni analizom interakcije između detektovanih elemenata na slici su intuitivniji za interpretaciju, ali zavise od kvaliteta prethodne detekcije elemenata kao i od segmentacije slike (Shivanandan, i drugi, 2013). Kako bi se izvršila digitalna analiza slike, neophodno je prvo napraviti mikroskopske slike (npr. SEM ili TEM mikroskopija) površine koja će se analizirati (npr. odštampanog sloja laka sa mikrokapsulama). Površine slika koje se analiziraju moraju biti dovoljno velike kako bi predstavljale reprezentativan uzorak, međutim najbolja mera veličine slike nije veličina njene površine, već broj čestica koji je prisutan na slici (optimalno od 500 do 1000) (Diebold, i drugi, 2005).

U obrađenoj literaturi najčešće korišćene metode digitalne obrade slike za karakterizaciju distribucije elemenata od interesa na slici su: 1) metod određivanja udaljenosti između detektovanih elemenata od interesa, npr. metoda udaljenosti najbližeg suseda (*eng. nearest-neighbour distance*), 2) metod zasnovan na segmentaciji slike (deljenju slike na pod-regione), 3) metod baziran na proceni veličine površine slike koji ne sadrži elemente od interesa (npr. „Monte-Carlo“ metoda) i 4) različite kombinovane metode (Hui, i drugi, 2008). Metod segmentacije slike na pod-regione je efikasniji za određivanje nivoa disperzije, dok su metode zasnovane na određivanju udaljenosti između elemenata na slici primenljivije za određivanje nivoa distribucije elemenata od interesa.

2.8.5.1 Metode zasnovane na određivanju udaljenosti između elemenata od interesa

Ovakve metode su najčešće zasnovane na određivanju međusobne udaljenosti elemenata od interesa na slici, npr. čestica pigmenta u boji. Jedna od metoda je određivanje udaljenosti najbližeg suseda, koristeći prethodno definisane koordinate centralnih tačaka elemenata od interesa (Hui, i drugi, 2008), što omogućava dobijanje informacije o disperziji ovih elemenata (npr. gustina čestica) kao i informaciju o pravilnosti njihovog prostornog rasporeda, distribuciji (Ghugre, i drugi, 2010). Drugi pristup je da se na slici definiše određeni broj kao i pozicije „kontrolnih tačaka“ (npr. 100 tačaka po širini \times 100 tačaka po visini slike = 10.000 tačaka), pored koordinata centralnih tačaka elemenata od interesa, u odnosu na koje će se vršiti analiza neposredne okoline kontrolnih tačaka za zadatu vrednost udaljenosti od njih (Diebold, i drugi, 2005). Kod oba pristupa se nakon definisanja potrebnih ulaznih parametara utvrđuje distribucija izmerenih udaljenosti između elemenata. Korišćenjem ova dva pristupa se može odrediti: 1) broj elemenata od interesa oko svake „kontrolne tačke“ za zadatu razdaljinu, 2) udaljenost elemenata od interesa od „kontrolnih tačaka“ (distribucija ovih razdaljina zavisi od nivoa disperzije pigmenta, na

primer ako je disperzija potpuno uniformna tada će svaka od „kontrolnih tačaka“ biti na malo udaljenosti od npr. čestice pigmenta, a ukoliko je disperzija loša u slučaju visokog stepena aglomeracije, tada će neke „kontrolne tačke“ biti na velikoj udaljenosti od čestica pigmenta, pošto će postojati velike površine na kojima gotovo da nema čestica); 3) međusobne udaljenosti svih elemenata od interesa (Diebold, i drugi, 2005; Liu, i drugi, 2015). Na slici 2.14 su prikazane SEM slike i pripadajući histogrami distribucije udaljenosti između čestica nanokompozita.



Slika 2.14. SEM slike i distribucije udaljenosti između čestica nanokompozita: a) uzorak bez premaza, b) histogram distribucije udaljenosti između čestica nanokompozita (uzorka bez premaza); c) uzorak sa premazom i d) histogram distribucije udaljenosti između čestica nanokompozita (uzorka sa premazom) (Liu, i drugi, 2015)

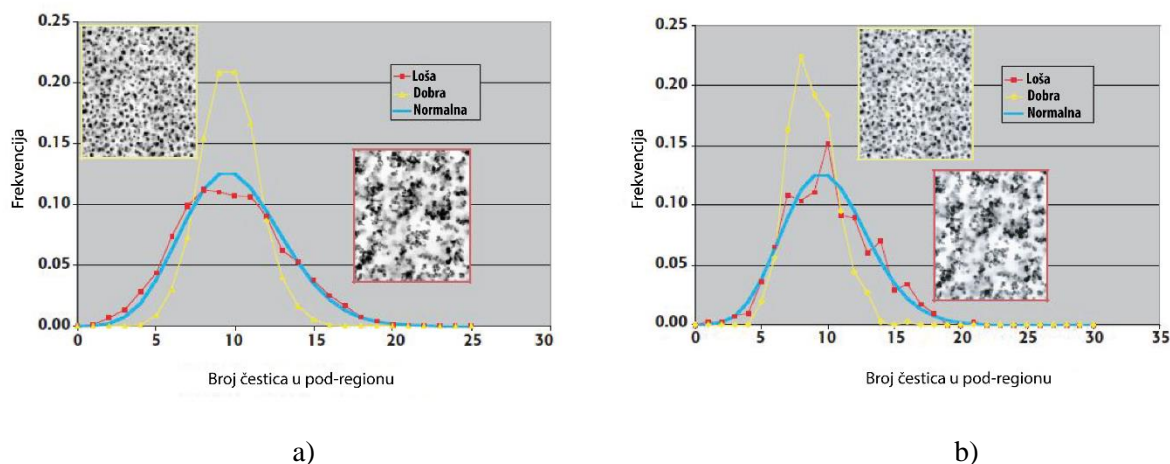
Visoka srednja vrednost udaljenosti između čestica daje indicaciju nižeg efektivnog sadržaja nanočestica u kompozitu u odnosu na idealni sistem, što znači da su nanočestice u određenoj meri grupisane, a široka distribucija vrednosti udaljenosti u slučaju kompozita na bazi neoslojenih nanočestica (slika 2.14b) potvrđuje da nanočestice u ovom materijalu nemaju uniformnu distribuciju. Niska srednja vrednost međusobne udaljenosti čestica i uska distribucija zabeleženih udaljenosti ukazuje na uniformnu distribuciju nanočestica (slika 2.14d) (Liu, i drugi, 2015).

2.8.5.2 Metode zasnovane na deljenju slike na podregione

Ove metode se baziraju na deljenju mikroskopske slike na određeni broj manjih segmenata istih dimenzija, obično na pravougaonike ili kvadrate, nakon čega se određuje broj čestica u svakom podregionu slike i izračunava se vrednost indeksa distribucije, za čega se koristi npr. koeficijent asimetrije (*eng. skewness*), tj. treći centralni moment (treći moment centralne devijacije). Koeficijent asimetrije predstavlja meru asimetrije distribucije varijabli (Hui, i drugi, 2008). Veliko odstupanje u broju registrovanih čestica u različitim segmentima slike je indicacija loše distribucije čestica pigmenta (viša vrednost koeficijenta asimetrije), dok nizak stepen odstupanja ukazuje na dobru distribuciju čestica (niža vrednost koeficijenta asimetrije) (Diebold i Staley, 2005; Hui i sar. 2008). Potpuno uniforman raspored elemenata od interesa (npr. čestica) bi trebalo da pokaže jednak broj čestica u svakom podregionu slike (vrednost koeficijenta asimetrije je 0) (Pfeifer, i drugi, 2014; Hui, i drugi, 2008). Koeficijent asimetrije se može se izračunati na osnovu izraza 2.3:

$$S_k = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^N \left(\frac{x_i - \bar{x}}{\sigma} \right)^3 \quad (2.3)$$

x_i predstavlja broj čestica u i -tom pod-regionu, \bar{x} je srednja vrednost x_i ($i=1, 2, \dots, n$), i σ je standardna devijacija x_i (Hui, i drugi, 2008). Nakon dobijanja informacije o broju čestica u svakom segmentu slike, određuje se i distribucija broja registrovanih čestica u svakom segmentu slike (slika 2.15).



Slika 2.15. Distribucija broja registrovanih čestica u svakom pod-regionu slike u okviru zadate razdaljine: a) u odnosu na svaku „kontrolnu tačku“, b) u odnosu na svaku česticu (Diebold, i drugi, 2005)

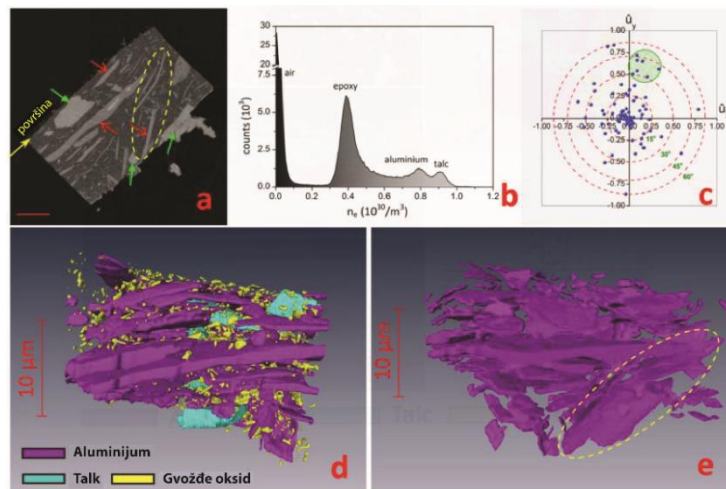
Krive dobre, uniformne distribucije čestica se razlikuje od krive normalne distribucije, po tome što im je vrh viši, oštrije su i uže, dok se kriva neuniformne, loše distribucije razlikuje od krive normalne distribucije po tome što je šira. Odstupanja od normalne distribucije su manje naglašena za sliku sa neuniformnom distribucijom u odnosu na sliku sa uniformnom distribucijom (distribucija čestica na slici sa neuniformnom distribucijom je samo malo lošija u odnosu na normalnu, gde je distribucija čestica na slici sa uniformnom distribucijom značajno bolja u odnosu na normalnu distribuciju) (Diebold, i drugi, 2005).

2.8.5.3 Napredne metode za određivanje prostorne distribucije čestica u premazima

Prostorna distribucija čestica (npr. pigmentata ili mikrokapsula) u različitim premazima je veoma bitna, jer utiče na njihov izgled i performanse. Na osobine premaza kao što su otpornost na UV zrake, dug vek trajanja i preciznost tona boje, utiče prostorna distribucija čestica u gotovom premaznom sloju. Takođe, na primer cena boje je određena količinom upotrebljenog pigmenta, obzirom da je on najskuplja komponenta. Metode za analizu prostorne distribucije čestica omogućavaju uspostavljanje odnosa između 3D (trodimenzionalne) prostorne distribucije čestica i performansi premaznog sloja, što može dovesti do pronalaza metoda za optimizaciju proizvodnje premaza i sličnih aplikacija (Chen, i drugi,

2014). Na slici 2.16 je dat prikaz rezultata PXCT analize (*eng. ptychographic X-ray computed tomography*) premaznog sloja sa česticama aluminijuma.

Postoji određeni broj metoda kojima se uspešno može odrediti prostorna distribucija različitih čestica u premaznom sloju. Tu spadaju različite destruktivne i nedestruktivne metode (npr. serijska block-face skenirajuća elektronska mikroskopija – SBFSEM), PXCT analize zasnovane na tomografiji, kod kojih se segmentacija i prikaz konačnih 3D slika radi pomoću odgovarajućeg softvera (npr. Avizo), nakon čega informacije o veličini i zapremini pojedinačnih objekata (npr. čestice, mikrokapsule) u premaznom sloju postaju dostupne korišćenjem morfometričke analize. Na taj način se može odrediti veličina svakog objekta kao i njihova zapreminska koncentracija u apliciranom premaznom sloju (Chen, i drugi, 2013; Chen, i drugi, 2014).

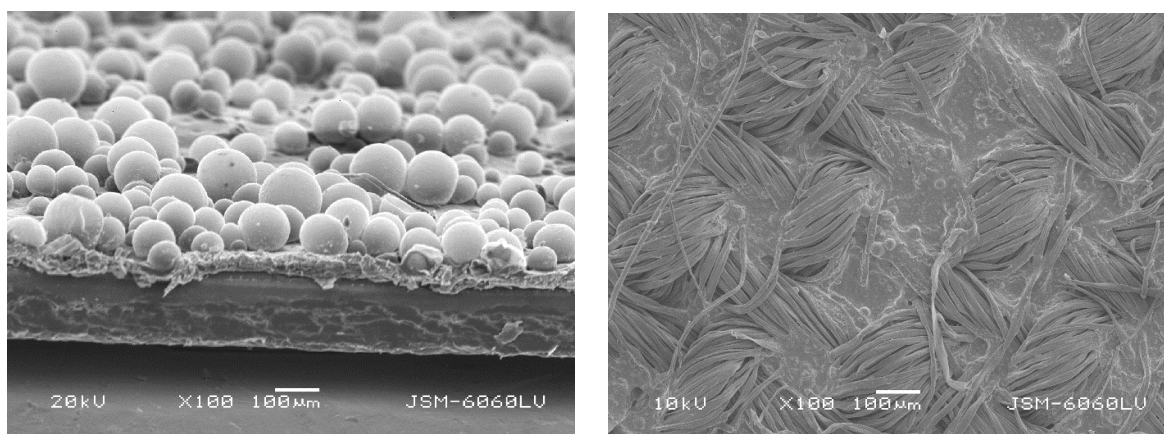


Slika 2.16. Rezultati PXCT analize skeniranih premaza: a) pojedinačan tomografski presek poprečan u odnosu na osu rotacije, b) histogram distribucije gustine elektrona tomografskog preseka, c) kvantitativna analiza orijentacije čestica aluminijuma, d) prikaz 3D prostorne strukture uzorka, e) 3D model prostornog rasporeda izdvojenih čestica aluminijuma u materijalu (Chen, i drugi, 2013)

2.9 Karakteristike materijala oplemenjenih mikrokapsulama

Štampa mikrokapsula omogućava različite funkcionalnosti kao i dodavanje vrednosti finalnom, odštampanom proizvodu, ali treba voditi računa o tome da će odštampane mikrokapsule takođe, u određenoj meri promeniti osnovne karakteristike podloge za štampu kao što su: fizičke (debljina, gramatura, površinska hrapavost), mehaničke i optičke karakteristike (boja, opacitet i sjaj otiska) (Blanco-Pascual, i drugi, 2014; Pavić, 2015a; Tarnopol, 2011; Urbas, i drugi, 2015; Manojlović, 2013). Mikrokapsule koje se mešaju sa bojama ili lakovima za štampu, u određenoj meri utiču na boju i opacitet otisaka. Mešanje mikrokapsula sa štamparskom bojom može da dovede do desaturizacije boje ili promene svetline odštampanog otiska, jer će takav otisak u odnosu na otisak odštampan bez mikrokapsula nužno imati manju količinu boje za istu štampanu površinu (Tarnopol, 2011). Mikrokapsule mogu značajno uticati na smanjenje transparentije materijala na koji su aplicirane, što je u najvećoj meri rezultat boje materijala od kog je izrađen omotač mikrokapsule (Blanco-Pascual, i drugi, 2014).

U slučaju papirnih podloga štampanih tehnikama ofset i sito štampe različitim kombinacijama štamparskih boja, lakova i mirisnih mikrokapsula, utvrđeno je da imaju nižu zateznu čvrstoću u odnosu na iste neodštampane papirne podloge, dok veća koncentracija mikrokapsula povećava krutost supstrata i površinsku hrapavost podloge za štampu, odnosno otiska (Pavić, 2015a). Korišćenjem ofset štampe za oplemenjivnje papirnih podloga suvim mirisnim mikrokapsulama i lakom, Urbas i saradnici (2014) su utvrdili da dolazi do povećanja debljine, svetline, površinske hrapavosti, otpornosti na cepanje i zatezne čvrstoće uzoraka sa mikrokapsulama i lakom u odnosu na one štampane samo sa lakom (Urbas, i drugi, 2014). U istraživanju Kulčar i saradnika (2010), koji su štampani UV boje i termohromatske (*eng. Thermochromic – TC*) mikrokapsule na papirnim podlogama korišćenjem tehnikom sito štampe, zabeležen je fenomen poznat kao histerezis obojenja koji je tipičan za TC materijale. On pokazuje da boja TC uzoraka ne zavisi samo od njegove trenutne temperature (obzirom da se aktivacija, odnosno promena boje ovih mikrokapsula odvija pod uticajem promene temperature okruženja), već i od njegove termičke istorije (Kulčar, i drugi, 2010a). Na slici 2.17 su prikazane mikrokapsule primenjene na papirnu (slika 2.17a) i tekstilnu podlogu (slika 2.17b).



a)

b)

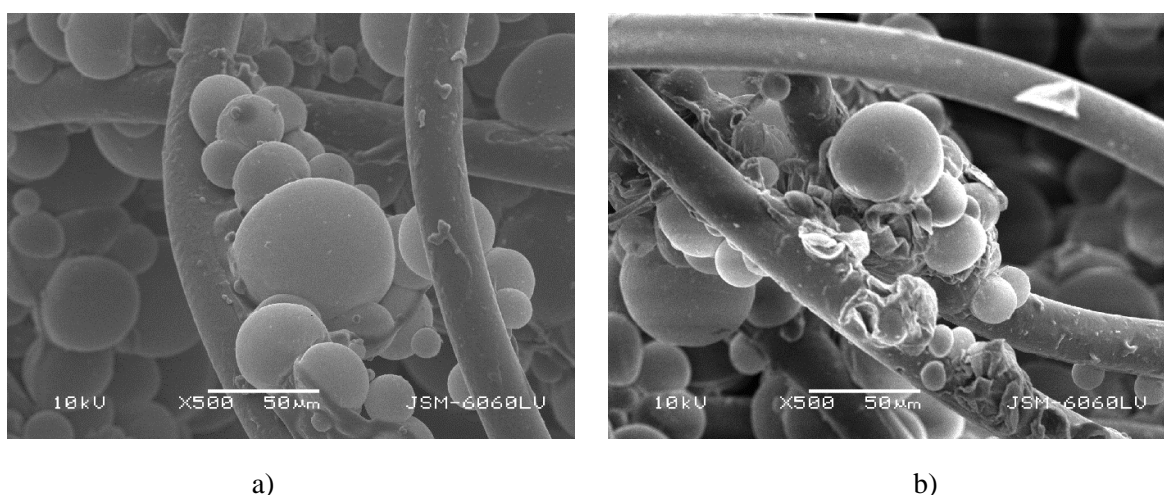
Slika 2.17. Izgled mikrokapsula a) apliciranih na površinu papira i b) apliciranih na tekstilni materijal (SEM; $\times 100$ uvećanje) (autor: Raša Urbas)

U slučaju tehnika štampe kod kojih se koriste tečne boje, kao što je to slučaj sa ink džet štampom, postoje određena ograničenja u pogledu viskoziteta, korozivnih efekata, hemijskog sastava i stabilnosti korišćene boje. Ovakve boje sadrže komponente koje unapređuju njene osobine, mikrokapsule, što rezultuje fizičkom interakcijom i hemijskom reakcijom boje i površine supstrata. Ovakve štamparske boje omogućavaju unapređenje određenih osobina prilikom aplikacije na podlogu za štampu, što može da dovede do poboljšanja adhezije, otpornosti na abraziju, hemijsku otpornost, jaču koheziju odštampane boje. Štamparske boje sa unapređenim karakteristikama se mogu koristiti za štampu na različitim podlogama kao što su: plastika, papir, premazni i sintetički papiri, staklo, tkanine, metal, podloge od neorganskih materija ili celuloze, što omogućava poboljšanje karakteristika otisaka kao što su: povećanje dugotrajnosti i nivoa zaštite od npr. izmena ili falsifikovanja. Oslobođanje prisutnih komponenti iz mikrokapsula u štamparsku boju se može inicirati korišćenjem različitih mehanizama, kao što su udarac, primena sile pritiska, smicanje, povišena temperatura, zračenje ili njihovom kombinacijom (Vaidya, i drugi, 2007).

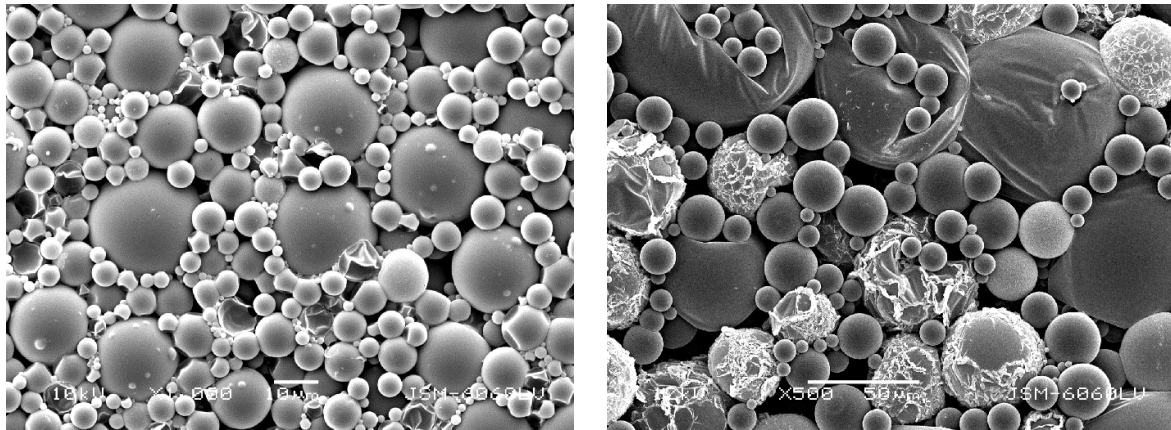
U oblasti štampe tekstila i proizvodnje odeće, pored osnovne funkcije kao što je zaštita tela, odeća mora da ispuni i optimalne termičke, estetske, ergonomske i fiziološke zahteve, zato je veoma važno da tekstil zadrži određene karakteristike posle procesa štampe kako bi se omogućio visok nivo komforta (Morishita, i drugi, 1993; Mecheels, 1991). Generalno, štampa tekstilnih materijala utiče na promene pojedinih osobina tekstila koje su bitne za opšti komfor nošenja, tako što dovodi do povećane provodljivosti i sposobnosti zadržavanja toplote, povećanja otpornosti na protok vodene pare, dok se smanjuje sposobnost upijanja (Stančić, 2015; Stančić, i drugi, 2015; Stančić, i drugi, 2014). Tekstilni materijali štampani sa PCM mikrokapsulama tehnikom sito štampe, skoro četiri puta lošije propuštaju vazduh u odnosu na neodštampan tekstilni materijal (Nejman, i drugi, 2014).

2.10 Dugotrajnost apliciranih mikrokapsula

Mikrokapsule koje su odštampane ili na neki drugi način aplicirane na podlogu, moraju da ispune određene zahteve u pogledu dugotrajnosti i da pokažu relativno konstantna svojstva pri višestrukoj upotrebi (Mondal, 2008). Kod primena kao što su izrada, odnosno štampa bioaktivnih papira različitim tehnikama štampe, ispituje se dugotrajnost njegove enzimske aktivnosti. Utvrđeno je da najvišu otpornost na dejstvo vode i najduži životni vek imaju biopapiri izrađeni pomoću tehnike sito štampe (Savolainen, i drugi, 2011). U oblasti izrade inovativnih tekstilnih materijala različitog sastava (npr. pamuk, vuna i poliester), većina autora se bavila ispitivanjem dugotrajnosti funkcionalnosti primenjenih mikrokapsula (antifungalne osobine, antimikrobno dejstvo, intenzitet mirisa) dobijenih različitim tehnikama mikroenkapsulacije, na efekte pranja, hemijskog čišćenja, mašinskog sušenja, trljanja i peglanja (Rodrigues, i drugi, 2009; Nelson, 2002; Leimann, i drugi, 2009; Thilagavathi, i drugi, 2010; Azizi, i drugi, 2011). Zato je veoma bitno da aplicirane mikrokapsule ostanu fiksirane na tkanini, kako bi izdržale veliki broj navedenih uticaja (Oliveira, i drugi, 2013). Efekat procesa pranja na primenjene mikrokapsule na tekstilni materijal je predstavljen na slici 2.18, dok je izgled neoštećenih i oštećenih mikrokapsula, primenjenih na podlogu za štampu prikazan na slici 2.19.



Slika 2.18. Izgled: a) netretirane i b) tretirane tkanine procesom pranja sa prethodno apliciranim mikrokapsulama (SEM; $\times 500$ uvećanje) (autor: Raša Urbas)



a)

b)

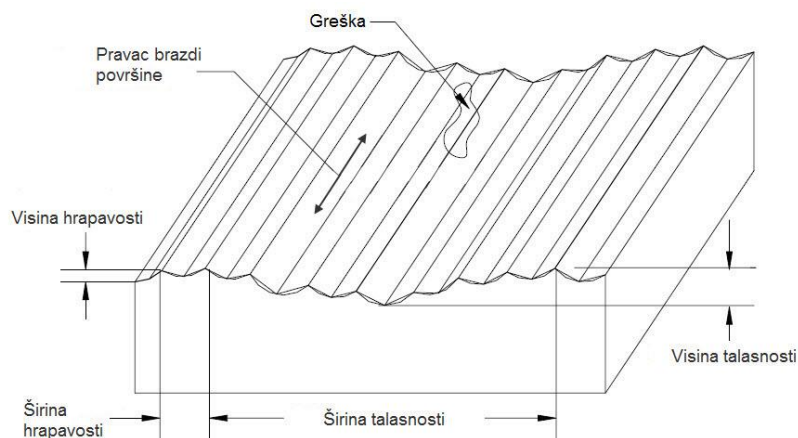
Slika 2.19. Izgled: a) neoštećenih mikrokapsula različitih veličina i b) oštećenih većih mikrokapsula, koje prve pucaju pod uticajem primenjene sile smicanja (SEM; $\times 1000$ a i $\times 500$ b uvećanje)

Na povećanje otpornosti tekstilnih materijala, odnosno otpornosti apliciranih mikrokapsula, na pomenute tretmane se može uticati npr. odabirom odgovarajućeg vezivnog sredstva koje se koristi za aplikaciju mikrokapsula, čime se omogućava da veći broj mikrokapsula ostane fiksiran na tekstilnom materijalu (Sánchez, i drugi, 2010). Takođe, određena istraživanja pokazuju da se adhezija PCM mikrokapsula na vunanim tekstilnim materijalima može značajno povećati primenom tretmana niskotemperaturnom plazmom (*eng. dielectric barrier discharge - DBD*) čime se unapređuju funkcionalne karakteristike ovakvih tekstila i obezbeđuje njihova veća dugotrajnost (Oliveira, i drugi, 2013).

Područje ispitivanja dugotrajnosti apliciranih mirisnih mikrokapsula različitim tehnikama štampe na određenim podlogama za štampu, nije još uvek dovoljno istraženo, što dokazuje mali broj postojećih literaturnih izvora, a ovo je upravo jedan od segmenata istraživanja ove doktorske disertacije. U istraživanjima Mullol i saradnika (2012), kao i Wysocki i saradnika (1989) nije ispitivna dugotrajnost apliciranih mikrokapsula, međutim, korišćene su mirisne mikrokapsule (sa enkapsuliranim mirisima), koje su štampane na papirnim podlogama rotacionom ofset štampom u cilju određivanja funkcije čula mirisa (Mullol, i drugi, 2012; Wysocki, i drugi, 1989). Kod oplemenjivanja papirnih podloga suvim, mirisnim mikrokapsulama u prahu, veća koncentracija ovakvih mikrokapsula odštampanih tehnikom ofset tabačne štampe u kombinaciji sa lakom, omogućava veću dugotrajnost i zaštitu jezgra mikrokapsula (Urbas, i drugi, 2014). Takođe, upotreba mirisnih mikrokapsula različitih veličina omogućava produženo i kontrolisano oslobađanje mirisa, jer kada se na odštampanu površinu sa mikrokapsulama primeni sila pritiska ili smicanja, veće mikrokapsule prve pucaju i oslobađaju miris, dok su manje mikrokapsule na taj način zaštićene od strane većih, a željena funkcionalnost mikrokapsula traje duže (Stanković Elesini, i drugi, 2016c). U tehnici tabačne ofset štampe, smanjenje štamparskog pritiska i implementacija specijalnih mikrosfera (distančera) većih u odnosu na veličinu mikrokapsula koje se štampaju, u boji za štampu, može povećati broj neoštećenih mikrokapsula na otisku i na taj način produžiti funkcionalnost odštampanih mikrokapsula (Rose, 2007). Pojedine kompanije (Driscoll Labels, New Jersey, SAD) tvrde da njihove etikete, koje su oplemenjene mirisnim mikrokapsulama, imaju praktično neograničeni rok trajanja, zadržavajući svoju funkcionalnost i mogućnost oslobađanja enkapsuliranog mirisa i do deset godina (Preston, n.d.).

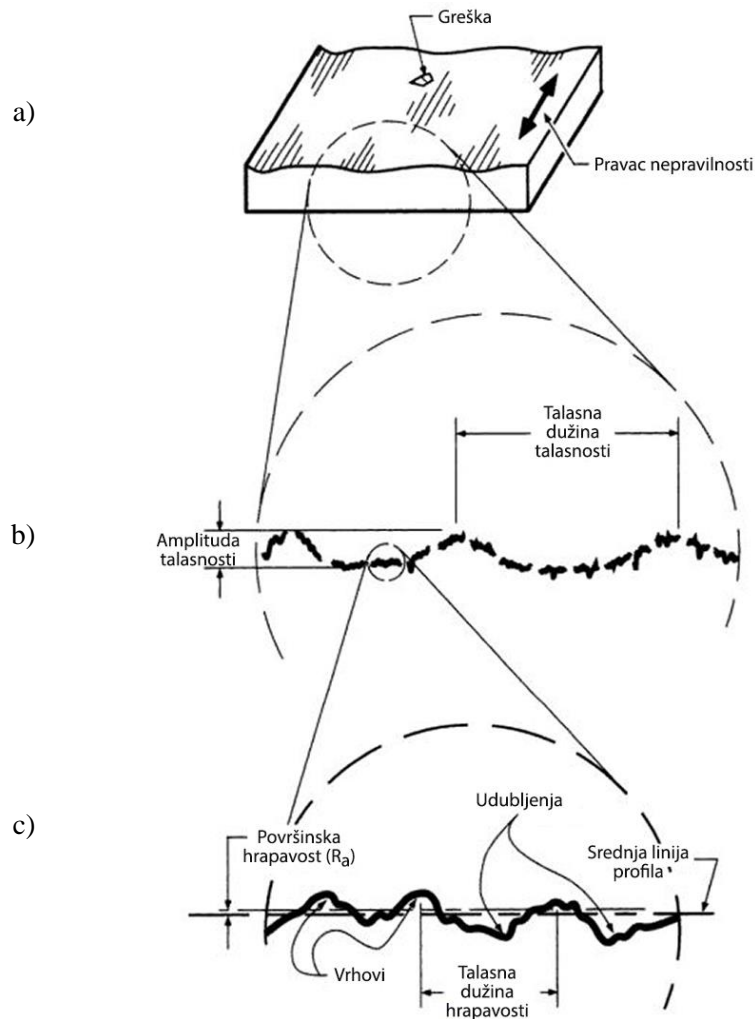
2.11 Karakterizacija površinskih osobina štampanih otisaka

Površina čvrstog tela predstavlja granični element koji ga odvaja od nekog drugog tela, supstance ili okolnog prostora. Površine se mogu klasifikovati kao nominalne odnosno idealne površine, realne površine (stvarne površine čije odstupanje od nominalne određuju procesi izrade) i merne površine (realne površine koje su predmet merenja). Teksturu površine čini skup parametara koji definišu površinske karakteristike čvrstog tela, a manifestuje se kao nasumična ponavljajuća odstupanja od nominalne površine koja formiraju trodimenzionalnu topografiju površine. Tekstura površine uključuje: talasastost, pravac nepravilnosti (*eng. lay*), različite greške prisutne na površini i hrapavost, slika 2.20. Talasastost površine je nepravilnost površine sa relativno velikom talasnom dužinom (veliko rastojanje između dva uzastopna vrha ili dve uzastopne doline profila) i velikom amplitudom, a može nastati kao posledica vibracija prilikom izrade površine, termičke obrade, izlaganja površine materijala silama zatezanja (slika 2.20). Pravac nepravilnosti predstavlja dominantni pravac prostiranja površinske šare koja je načešće definisana načinom izrade površine, slika 2.20. Greške na površini su nenamerna odstupanja koja se pojavljuju na jednom mestu ili se pojavljuju u relativno niskofrekventnim, široko varirajućim intervalima na površini (pukotine, rupe, ogrebotine), slika 2.20. Prilikom merenja površinske hrapavosti, efekat greški se isključuje. Površinska hrapavost je mera teksture površine, a ogleda se u finim vertikalnim odstupanjima površinske teksture realne površine (visoko frekventna, kratko talasna komponenta površine, male amplitude) u odnosu na nominalnu površinu. Ako su ova odstupanja velika, površina se smatra hrapavom, dok ukoliko su odstupanja mala, površina se smatra glatkom. Postoje dva činioca površinske hrapavosti, vrhovi površinskih neravnina koji se nalaze iznad i ispod srednje linije površine, i bočni razmaci između ovih vrhova površinskih neravnina (Glaeser, 2010; Hoffman, i drugi, 2000; Adithan, i drugi, 1996; Maradudin, 2007; Apsley Precision Engineering Ltd, 2018). Papir, kao osnovna sirovina u grafičkoj industriji, ima anizotropne karakteristike u pogledu površinske hrapavosti, kao i mnogi drugi materijali, tako da će rezultati merenja zavisiti od samog pravca merenja površinske hrapavosti. Ovo je uslovljeno samom izradom papira, formiranjem njegove površine, odnosno orijentacijom vlakana u papiru. Pa tako imamo dva osnovna merna pravca, mašinski (*eng. machine direction – MD*) i paravac poprečan na mašinski (*eng. cross machine direction – CD*) (Baum, i drugi, 1986).



Slika 2.20. Šematski prikaz teksture površine (Milošević, 2010)

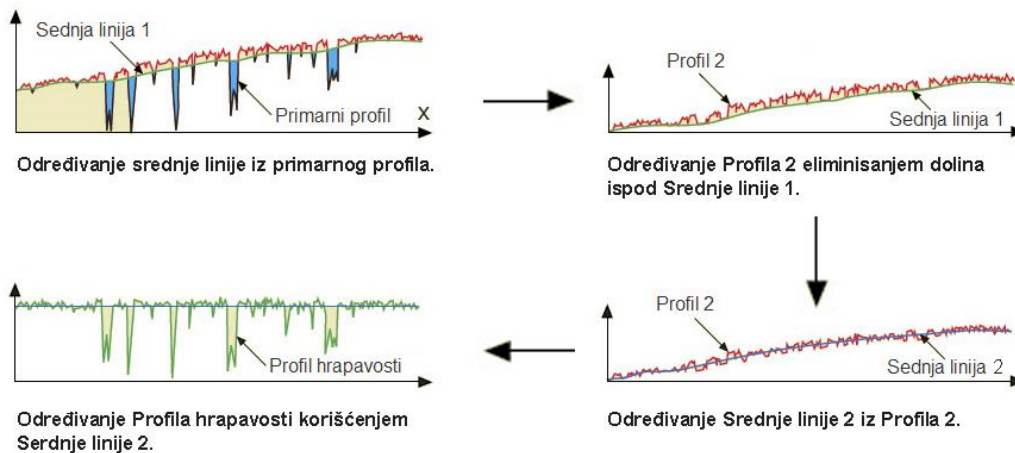
Najbitniji termini vezani za određivanje površinske teksture materijala su predstavljeni i objašnjeni u nastavku. Profil predstavlja konturu normalnog preseka površine, odnosno liniju preseka površine i ravni koja je normalna na tu površinu. Srednja linija profila, je zamišljena linija koja predstavlja srednju vrednost profila, to je linija u odnosu na koju se mere visinska odstupanja površine i paralelna je opštem pravcu profila u okviru uzorkovane dužine, slika 2.21. Vrh profila je tačka koja označava maksimalnu visinu dela profila koji se nalazi iznad srednje linije profila, između dva preseka profila i srednje linije. Dolina je tačka koja označava maksimalnu dubinu dela profila koji leži ispod srednje linije, između dva preseka profila i srednje linije (Hoffman, i drugi, 2000).



Slika 2.21. Šematski prikaz površinskih karakteristika: a) površinska tekstura materijala, b) profil talasastosti površine i c) profil hrapavosti površine (Hoffman, i drugi, 2000)

Izmereni profil kod koga su upotrebljeni mehanizmi filtriranja (mehanički, optički ili digitalni) kako bi se ublažile ili istakle određene karakteristike površinske teksture, odnosno kako bi se razdvojile karakteristike površinske hrapavosti od površinske talasastosti i na taj način dobili profili hrapavosti i talasastosti, naziva se modifikovani profil. Za dobijanje profila hrapavosti izmereni profil se filtrira kako bi se eliminisale veće talasne dužine koje pripadaju talasnosti i greškama oblika, dok se dodatnim

filtriranjem mogu isključiti i druge nesavršenosti površine koje imaju veoma male talasne dužine. Kod profila talasastosti, filtriranjem izmerenog profila se eliminišu male talasne dužine koje odgovaraju površinskoj hrapavosti, slika 2.22 (Hoffman, i drugi, 2000; Milošević, 2010). Površinska hrapavost je dobar indikator performansi i eksploatacionih karakteristika površina, gde visoka površinska hrapavost obično izaziva brže trošenje materijala. Takođe ona utiče na kvašenje i međučestične interakcije na površini materijala, na adheziju boja i premaza, reflektivne i frikционе karakteristike površine materijala (Glaeser, 2010; Tseng, i drugi, 2016; Saurí, i drugi, 2015; Apsley Precision Engineering Ltd, 2018). Upojnost, uniformnost površine i površinska hrapavost, kao površinske karakteristike papira (najčešće korišće podloge za štampu), predstvaljaju bitan faktor koji utiče na kvalitet štampanog otiska. Mala površinska hrapavost, visoki indeks formiranja i mala poroznost površine papira utiče na sjaj, boju i štamparski kontrast otiska i omogućava reprodukciju većeg opsega boja (*eng. color gamut*) (Wu, i drugi, 2008). Nivo sjaja papira je pored površinske hrapavosti, uslovljen i njegovim indeksom prelamanja svetlosti. Pa je tako kod određenih papira sa većom površinskom hrapavošću zabeležena veća vrednost sjaja u odnosu na druge papire sa manjom vrednošću površinske hrapavosti, uz pretpostavku da premazni sloj na površini ovih papira poseduje viši indeks prelamanja svetlosti (Xu, i drugi, 2005).

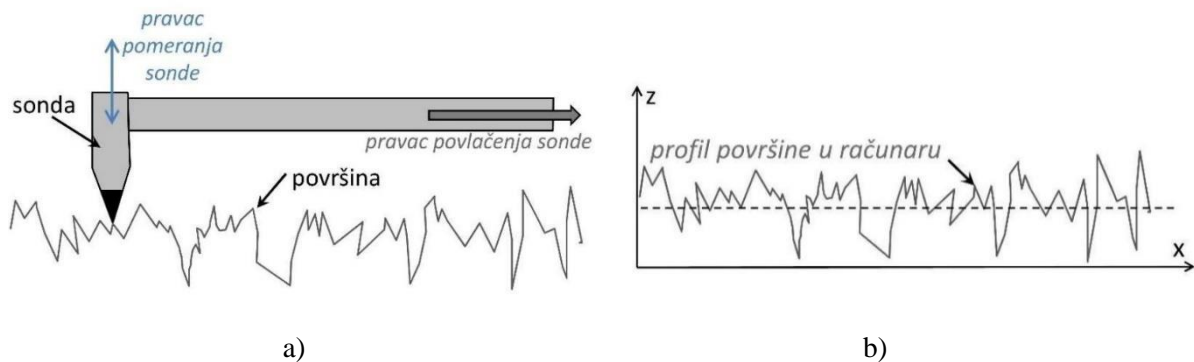


Slika 2.22. Prikaz određivanja profila hrapavosti filtriranjem primarnog profila

U radu Gunde i saradnika (2006) je utvrđeno da se vrednost spekulrnog sjaja smanjuje sa porastom vrednosti površinske hrapavosti (aluminijumski uzorci premazani različitim kombinacijama voskova, punioca i smola), kao i da uzorci koji su premazani sredstvom za oplemenjivanje kod kog su se javile veće čestice na površini premaza, imaju manji spekularni sjaj (Klanjšek Gunde, i drugi, 2007). Pored efekata na sjaj, površinska hrapavost utiče na i na boju (kao uzorak je korišćena slika). Površinska hrapavost u većoj meri utiče na zasićenje nego na ton boje, gde velika površinska hrapavost dovodi do povećanja svetline i smanjenja zasićena boje (Simonot, i drugi, 2003). Kod oplemenjivanja površine otisaka ofset tabačne štampe lakovima, rezultujuća površinska hrapavost otisaka će zavistiti od količine i tipa nanetog laka kao i primenjene tehnike oplemenjivanja. Variranje količine nanosa sjajnog vododisperzivnog i UV laka primenom različite linijature raster valjka jedinice za lakiranje, dovodi do linearne promene površinske hrapavosti otisaka, gde porast nanete količine laka uzrokuje smanjenje površinske hrapavosti i povećavanja sjaja otisaka (Karlović, 2010).

2.11.1 Metode za karakterizaciju površinskih osobina materijala

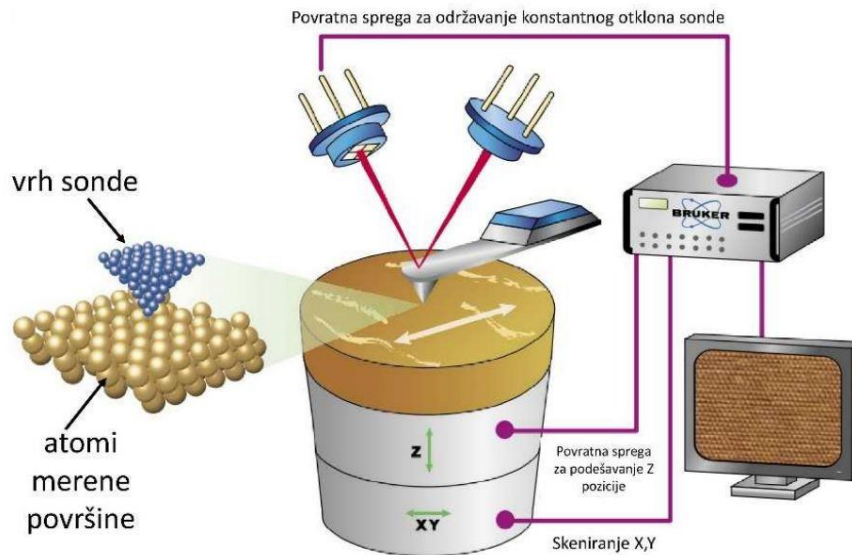
Merenje topografije površine se vrši mernim uređajima koji se zovu profilometri, koji omogućavaju i dvodimenzionalna (2D, linijska) i trodimenzionalna (3D, površinska) merenja površine. Profilometrijske merne metode se mogu podeliti na mehaničke i optičke, odnosno kontaktne i beskontaktno metode, ali postoji i posebna vrsta uređaja koja spada u grupu uređaja za mikroskopiju sa skenirajućom sondom, koja omogućava visoko-precizna merenja površinskih karakteristika materijala na nano, kao i na atomskom nivou. Mehanički profilometri rade na principu beleženja vertikalnih pomeraja dijamantske igle koja se kreće preko merne površine, slika 2.23a, i mogu imati veoma visoku visinsku rezoluciju (nekoliko nm) i prostornu rezoluciju ($>0,5 \mu\text{m}$) (DPM, n.d.; Karlović, 2010; Mainsah, i drugi, 2001). Rezultat ovakvog merenja je profil hrapavosti (slika 2.23b), gde „Z“ koordinata daje indicaciju visine neravnina profila, odnosno površine, a „X“ koordinata definiše poziciju vrhova i dolina na izmerenoj površini, tj. liniji. Uzastopnim merenjem linije po linije, koje su na malom međusobnom rastojanju, dobija se niz profila površine, čijim sastavljanjem se omogućava generisanje trodimenzionalne topografske slike površine (DPM, n.d.).



Slika 2.23. Mehanička profilometrija: a) princip rada mernog uređaja, b) profil koji se dobija u računaru (DPM, n.d.)

U beskontaktno merne metode određivanja površinskih karakteristika materijala spadaju optička profilometrija (koja se zasniva na interferenciji bele svetlosti), metode zasnovane na detekciji optičkog fokusa, svetlosno rasipanje i različite merne metode sa skenirajućom sondom (*eng. Scanning tunneling microscopy – STM, Atomic Force Miscrosopy – AFM, Linear frequency microscopy – LFM, Magnetic force microscopy – MFM, Near-field Scanning optical microscopy – NSOM*). Najčešće korišćene merne metode za kvantitativno određivanje karakteristika 3D površine su skenirajući mehanički stilus, tehnike detekcije fokusa, svetlosna inferometrija i AFM (*eng. Atomic Force Miscrosopy*) (Karlović, 2010; DPM, n.d.; Mainsah, i drugi, 2001). Mikroskopija atomskih sila (AFM) predstavlja direktan metod za određivanje topografije površina na nivou atomske rezolucije, a omogućava kako kontaktni (tvrđi materijali) tako i beskontaktni način merenja (mekani materijali). AFM mikroskop omogućava veoma velike visinske i prostorne rezolucije (limitirana oštrinom merne igle), dok je maksimalna veličina površine koja se može skenirati oko $100 \mu\text{m}^2$. Slično kao i kod mehaničke profilometrije, ovom metodom se uzorak skenira pomoću veoma oštre merne igle (prečnik vrha od 8 nm do 10 nm) u obliku piramide (na čijem vrhu se nalazi samo jedan atom) koja je montirana na elastičnu konzolu. Kontakt između sonde i merene površine se ostvaruje principima privlačnih i odbojnih atomskih sila koje

konzolu sonde savijaju na dole ili na gore, a mehanička sila između vrha merne igle i površine uzorka se meri praćenjem pomeranja elastične konzole. Savijanje konzole se detektuje usled promene lokacije tačke refleksije laserskog snopa sa gornjeg dela elastične konzole na detektor, slika 2.24.



Slika 2.24. Princip rada AFM mikroskopa (DPM, n.d.)

Visinska pozicija merne igle se kontroliše pomoću petlje povratne sprege (*eng. feedback loop*), koja održava konstantnu silu između vrha merne igle i površine uzorka. Prelaskom merne igle preko strukture merene površine, ona se savija indukujući na taj način pomeranje piezoelektičnog elementa (na kom se nalazi uzorak) koji vrši pomeranje uzorka gore ili dole, po Z osi (slika 2.24), što u stvari predstavlja visinu neravnina površinske strukture. Skeniranjem linije po linije površine i naknadnom obradom podataka računom, omogućava se generisanje 3D topografskih slika merenih površina kao i vrednosti različitih parametara površinske hrapavosti (Saurí, i drugi, 2015; DPM, n.d.).

2.11.2 Parametri površinske hrapavosti dela površine

Karakterizacija površinske strukture materijala se može izvršiti pomoću velikog broja parametara površinske hrapavosti koji su klasifikovani u nekoliko grupa: amplitudni, parametri razmaka, hibridni i funkcionalni parametri (SPIP™, n.d.). Amplitudni parametri površinske hrapavosti predstavljaju najbitnije i najčešće korišćene parametre za definisanje karakteristika površina od interesa, a daju informaciju o vertikalnim odstupanjima određene površine (Gadelmawla, i drugi, 2002). Danas su u upotrebi 2D i 3D parametri površinske hrapavosti, a odabir parametara zavisi od korišćene merne metode za određivanje karakteristika površinske hrapavosti. 3D parametri površinske hrapavosti se izračunavaju na osnovu površinskih karakteristika određene površine i omogućavaju statistički preciznije rezultate u odnosu na 2D parametre površinske hrapavosti koji se preračunavaju na osnovu merenja pojedinačne linije na površini uzorka (Gadelmawla, i drugi, 2002; Jansons, i drugi, 2016). Za karakterizaciju površinske hrapavosti u literaturi su najčešće korišćeni 3D amplitudni parametri površinske hrapavosti, kao što su:

- S_a – prosečna hrapavost ili srednja aritmetička hrapavost (*eng. average roughness*),
- S_q – srednje kvadratno odstupanje (*eng. root mean square roughness – RMS*),
- S_{sk} – koeficijent asimetrije površine (*eng. surface skewness*),
- S_{ku} – zaobljenost površine ili koeficijent oštine površine (*eng. kurtosis*)
(Karlović, i drugi, 2011; Wang, 2014; Miletić, n.d.; SPIP™, n.d.).

Prosečna hrapavost (S_a) je aritmetička sredina apsolutnih vrednosti odstupanja profila hrapavosti u odnosu na srednju ravan površine i data je izrazom 2.4:

$$S_a = \frac{1}{MN} \sum_{k=0}^{M-1} \sum_{l=0}^{N-1} |Z(x_k, y_l)| \quad (2.4)$$

gde je M broj tačaka po profilu, N broj profila unutar površine uzorkovanja, a Z predstavlja funkciju visine profila, odnosno normalnu devijaciju od srednje ravni površine u tačkama x i y . Ovaj parametar je jedan od prvih koji su se koristili za opisivanje površinskih karakteristika površine, međutim, obzirom da S_a parametar definiše samo visinska odstupanja površine i ne zavisi od prostornog rasporeda visina, površine sa različitim površinskim profilima, oblicima i frekvencijama mogu imati istovetnu vrednost ovog parametra (npr. površine sa visokim vrhovima sa jedne i dubokim dolinama sa druge strane mogu imati istu S_a vrednost). Zato se pored ovog koriste se i drugi parametri površinske hrapavosti za opis površinskih struktura (Miletić, n.d.; Karlović, 2010; SPIP™, n.d.; Blateyron, 2013; Karlović, i drugi, 2011).

Srednje kvadratno odstupanje površine (S_q parametar), je najčešće korišćeni amplitudni parametar površinske hrapavosti i predstavlja standardnu devijaciju visine profila, a može se izraziti kao (2.5):

$$S_q = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{k=0}^{M-1} \sum_{l=0}^{N-1} [Z(x_k, y_l)]^2} \quad (2.5)$$

gde je M broj tačaka po profilu, N je broj profila unutar uzorkovane površine i Z je normalna devijacija u odnosu na srednju ravan površine u tačkama x , y (Karlović, i drugi, 2011; Wang, 2014). S_q parametar se najčešće koristi u optici za specifikaciju završnog kvaliteta površine. Kao i S_a parametar, ni S_q parametar ne zavisi od prostornog rasporeda visina, niti od „polariteta“ tekture, ali omogućava bolju detekciju velikih odstupanja od srednje ravni profila zbog kvadriranja odstupanja pre određivanja prosečne vrednosti (Miletić, n.d.).

Koeficijent asimetrije površine (S_{sk}) opisuje asimetriju distribucije vrhova na površini, u okviru uzorkovane površine. Vrednost koeficijenta asimetrije površine jednaka 0, predstavlja indicaciju

površine sa simetričnom raspodelom vrhova, tj. Gausovu raspodelu. Negativne vrednosti predstavljaju uzorak kod koga su dominantnija velika udubljenja (doline) u odnosu na regione sa vrhovima, dok pozitivne vrednosti ovog parametra ukazuju na površinu sačinjenu od neproporcionalno velikog broja vrhova. Ovaj parametar površinske hrapavosti se može izraziti kao (2.6):

$$S_{sk} = \frac{1}{MNS_q^3} \sum_{k=0}^{M-1} \sum_{l=0}^{N-1} [Z(x_k, y_l)]^3 \quad (2.6)$$

gde je M broj tačaka po profilu, N je broj profila unutar uzorkovane površine, S_q je srednje kvadratno odstupanje površine i Z je normalna devijacija u odnosu na srednju ravan površine u tačkama x, y . Obzirom da se vrednosti visine tačaka dižu na treći stepen pre usrednjavanja, ovaj parametar omogućava informaciju o „polaritetu“ površine, tj. (Karlović, i drugi, 2011; Wang, 2014; SPIP™, n.d.; Miletić, n.d.).

Parametar zaobljenosti površine (S_{ku}) opisuje simetriju, odnosno oštrinu površine i karakteriše anomalije u distribuciji visina površine. Površina sa nasumičnom distribucijom visina na površini imaće vrednost parametra $S_{ku}=3$. Ukoliko se površina sastoji od visokih vrhova ili dubokih dolina koje odstupaju od normalne raspodele, tada je vrednost zaobljenosti površine veoma velika (uža distribucija visina). Kod površina sa postepenom promenom visine profila ili one koje su sačinjene od struktura koje podsećaju na brežuljke, vrednost parametra zaobljenosti površine će biti manji od 3 (šira distribucija visina). S_{ku} parametar je dobar indikator za površine sa normalnom distribucijom koje imaju određene defekte, neobične vrhove i doline i može se izraziti kao (2.7):

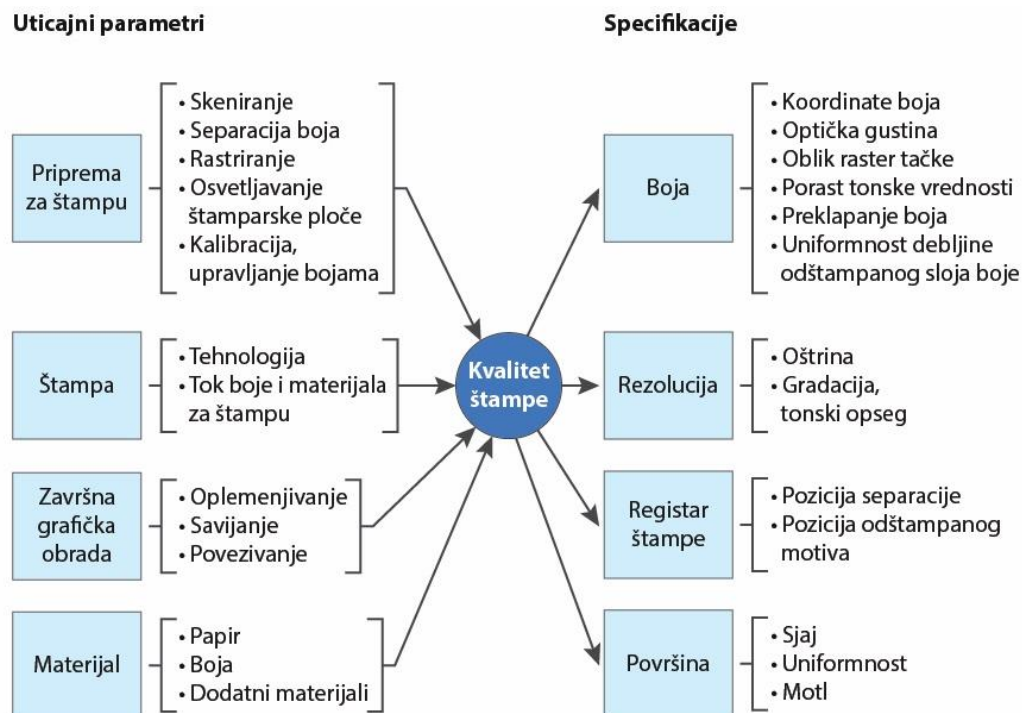
$$S_{ku} = \frac{1}{MNS_q^4} \sum_{k=0}^{M-1} \sum_{l=0}^{N-1} [Z(x_k, y_l)]^4 \quad (2.7)$$

gde je M broj tačaka po profilu, N je broj profila unutar uzorkovane površine, S_q je srednje kvadratno odstupanje površine i Z je normalna devijacija u odnosu na srednju ravan površine u tačkama x, y (Karlović, i drugi, 2011; Sakrana, i drugi, 2004; Miletić, n.d.).

2.12 Karakterizacija kvaliteta štampe

Sam pojam kvaliteta štampe se može opisati kao stepen podudaranja kvaliteta rezultujućeg štampanog otiska i originala koji se reprodukuje (Romano, i drugi, 1998). Postoji puno faktora od kojih zavisi kvalitet štampe, a neki od njih su priprema za štampu, zatim samog procesa štampe (npr. količina i distribucija odštampane boje na podlozi za štampu), korišćena štamparska mašina i materijali za štampu (papir i boja) (Bergman, 2005; Kipphan, 2001). Kvalitet štampe se može odrediti putem atributa ili parametara kvaliteta štampe, koji predstavljaju individualne karakteristike štampanog otiska koje se mogu izmeriti i kontrolisati u toku samog procesa štampe, kako bi se kvalitet štampe čitavog tiraža mogao održavati konstantnim (Dharavath, i drugi, 2005; Kipphan, 2001). Kvalitet štampanog otiska se

može posmatrati kroz nekoliko njegovih aspekata: kvaliteta reprodukcije boje (što predstavlja jednu od najbitnijih karakteristika kvaliteta štampe), reprodukcije finih elemenata na otisku i tonskih vrednosti, preciznosti registra štampe i površinskih karakteristika otiska (Kipphan, 2001). U ofset štampi se najčešće kontrolišu sledeći parametri kvaliteta štampe: optička gustina polja punog tona, tonska vrednost (porast tonske vrednosti), sivi balans, odstupanja u boji (Dharavath, i drugi, 2005). Na slici 2.25 su predstavljeni parametri kvaliteta štampe i uticajni faktori vezani za proces štampe koji definišu finalni kvalitet štampe (Kipphan, 2001).



Slika 2.25. Faktori koji utiču na kvalitet štampe i parametri kvaliteta štampe (Kipphan, 2001)

U grafičkoj industriji se određivanje kvaliteta štampe najčešće vrši objektivnim metodama, korišćenjem specijalnih mernih uređaja i merenjem tačno definisanih kontrolnih elemenata (kontrolne merne trake, test karte) (Kipphan, 2001). Takođe, postoje i druge tehnike, kao što su različite metode digitalne obrade slike kako bi se odredili pojedini atributi kvaliteta štampe, kao na primer u slučaju merenja površinske uniformnosti otiska (*eng. print mottle*) (Milošević, i drugi, 2013). Pored navedenih načina kontrole kvaliteta štampanog otiska, postoji i subjektivna, vizuelna metoda kako bi se izvršila karakterizacija njegovog kvaliteta. Za merenje parametara kvaliteta štampe, danas se koriste denzitometri, spektrofotometri i kolorimetri (Kipphan, 2001).

2.12.1 Parametri kvaliteta štampe

2.12.1.1 Optička gustina

Optička gustina (D) (*eng. print density*) je mera količine svetlosti koju neka površina apsorbira, odnosno reflektuje, tj. mera reprodukovane dubine tonske vrednosti boje (*eng. tone depth*) (Romano, i drugi, 1998). Optička gustina (D) se može izraziti kao (2.8):

$$D = \log \frac{1}{\beta} = \log \frac{I_0}{I} \quad (2.8)$$

gde je β faktor reflektanse (koja opisuje zavisnost količine reflektovane svetlosti i njene talasne dužine) i predstavlja odnos intenziteta reflektovane svetlosti I od površine odštampane boje i intenziteta reflektovane svetlosti I_0 od površine neodštampanog papira. Faktor refleksije β se smanjuje kako se debljina sloja odštampane boje povećava, tj. visoka vrednost optičke gustine, znači visok nivo apsorpcije svetlosti (Kipphan, 2001; Bergman, 2005). Merenje optičke gustine odštampane boje je uobičajen postupak u kontroli kvaliteta štampanog otisaka (merenja se najčešće vrše na punim tonskim površinama), međutim uređaji namenjeni za ovaj tip merenja imaju mogućnost merenja i dodatnih parametara kvaliteta štampe kao što su: porast tonske vrednosti (*eng. Tone value increase – TVI*), relativni štamarski kontrast, preklapanje (*eng. trapping*). U poređenju sa kolorimetrijskim merenjima štampanog otiska, kod kojih su dobijeni rezultati u uskoj vezi sa ljudskom percepcijom boje, denzitometrijska merenja se isključivo zasnivaju na merenju debljine odštampanog sloja boje (Kipphan, 2001).

2.12.1.2 Tonska vrednost i porast tonske vrednosti

Pored odgovarajuće debljine sloja odštampane boje, veoma je bitna i tačnost reprodukovanih tonskih vrednosti (F_D), koje predstavljaju procenat površine podloge za štampu koja je prekrivena bojom, tj. rasterskim tačkama. Veličina rasterskih tačaka na otisku mora biti odgovarajuća, jer svako odstupanje u veličini utiče kako na promene samih tonskih vrednosti, tako i na promene boje otiska (slika 2.26). Postoji veliki broj faktora koji utiču na reprodukciju tonskih vrednosti (TV), tj. na porast tonskih vrednosti (PTV), kao što su površinske karakteristike papira i karakteristike upijanja štamarske boje, reoloških osobina boje, karakteristika gumenog međuprenosnika, intenziteta primenjenog pritiska u štampi, itd. U okviru ofset tabačne štampe postoje standardi koji propisuju vrednosti za pojedine parametre kvaliteta štampe, pa su tako ISO12647-2 standardom definisane vrednosti porasta tonskih vrednosti (PTV) za sve četiri procesne boje (Kipphan, 2001; ISO12647-2, 2004).

Tonska vrednost se meri na rasterskim poljima kontrolne merne trake ili na odgovarajućim posebno pripremljenim test kartama. Koristeći „Murray-Davies” formulu, tonska vrednost se izračunava preko intenziteta reflektovane svetlosti sa pune tonske površine i polu-tonskih površina, odnosno pomoću izmerene vrednosti optičke gustine pomenutih polja, prema jednačini 2.9:

$$F_D[\%] = \frac{1 - 10^{D_R}}{1 - 10^{D_V}} \times 100\% \quad (2.9)$$

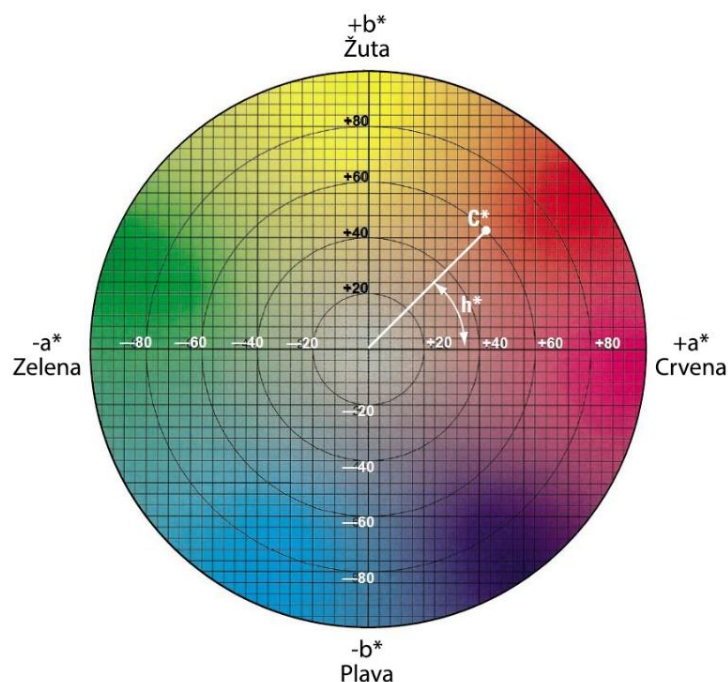
gde je D_V optička gustina polja punog tona, a D_R optička gustina rasterskog polja (Kipphan, 2001).



Slika 2.26. Izgled štampanog otiska: pravilno reprodukovane TV (leva polovina) i otiska sa prekomernim PTV (desna polovina) (Heidelberger Druckmaschinen AG, 2008)

2.12.1.3 Kolorimetrijska merenja štampanog otiska i određivanje razlika u boji

Boja, kao opisna promenljiva reprodukcije otiska, igra veoma značajnu ulogu u grafičkoj industriji, jer se određivanje i praćenje kvaliteta štampe u mnogome bazira na kolorimetrijskim merenjima boje štampanog otiska. U oblasti reprodukcione tehnologije, definisanje boje pomoću različitih tehničkih pomagala, odnosno mernih instrumenata i sistema za klasifikaciju boja mora odgovarati percepciji boja koju ostvaruje ljudski vizuelni aparat, kao „ultimativni merni instrument“ (Kipphan, 2001). Zato se danas za kvantifikaciju boje štampanog otiska, kao jedan od najprihvaćenijih i najbitnijih prostora boja, koristi tristimulusni, trodimenzionalni CIELAB prostor boja koga odlikuje perceptualna uniformnost, odnosno kod koga udaljenosti jedne boje od druge u definisanom koordinatnom sistemu odgovaraju percipiranoj razlici između ove dve boje (Kipphan, 2001; Tomić, 2016). CIELAB prostor boja daje informaciju o sličnosti dve boje, odnosno o stepenu njihovog podudaranja, gde razlika boja predstavlja Euklidovu udaljenost između pozicija boja u definisanom prostoru (Mahy, i drugi, 1994; Tomić, 2016; Karlović, 2010). CIELAB prostor boja koristi tri koordinate – L^* , a^* i b^* , odnosno tri numeričke vrednosti boje koje odgovaraju opaženom stimulusu, kako bi se jednoznačno opisala boja od interesa (Kipphan, 2001; Tomić, 2016). L^* koordinata predstavlja ahromatsku komponentu, svetlinu ($L^*=0$ crna boja, $L^*=100$ bela boja), dok su a^* i b^* hromatske koordinate (pozitivne vrednosti a^* daju indicaciju crveno-ljubičastog tona boje, dok negativne vrednosti a^* daju indicaciju plavo-zelene boje), slika 2.27. Na vertikalnoj osi CIELAB kruga boja, pozitivne b^* vrednosti ukazuju na žutu, a negativne vrednosti b^* koordinate ukazuju na plavu boju, slika 2.27 (Kipphan, 2001).

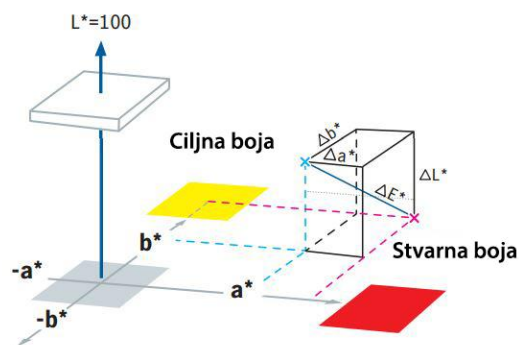


Slika 2.27. CIELAB krug boja (Kipphan, 2001)

Uređaji za merenje boje štampanih otisaka (kolorimetri i spektrofotometri) u osnovi mere samo hromatski stimulus, na osnovu koga se specifikacija stimulusa boje i eventualno percepcija boje može naknadno odrediti numerički pomoću odgovarajućih modela interpolacije. Numerička vrednost za razliku u boji između dve posmatrane boje u sistemu za klasifikaciju boja se obično izražava pomoću delta E vrednosti (ΔE^*_{ab}), gde niže ΔE^*_{ab} vrednosti ukazuju na manje, a više ΔE^*_{ab} vrednosti ukazuju na veće razlike u boji (Kipphan, 2001). Razlika u boji dva uzorka se može izračunati pomoću izraza 2.10:

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad (2.10)$$

gde je ΔL^* razlika u svetlini između uzorka 1 i uzorka 2, dok su Δa^* i Δb^* su razlike CIE 1976 a^* i b^* koordinata, respektivno (ISO 13655, 2009). Na slici 2.28 je predstavljen način izračunavanja ΔE razlike u boji.



Slika 2.28. Princip po kom se vrši određivanje (Heidelberger Druckmaschinen AG, 2008)

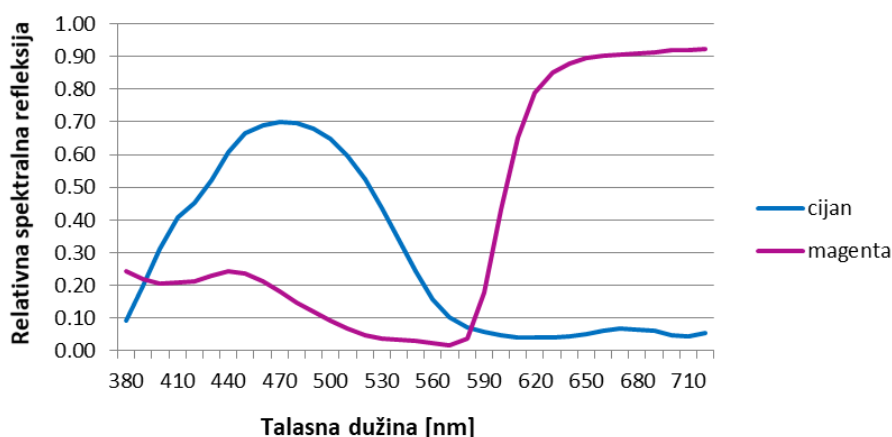
U okviru tabačne ofset štampe, ISO 12647-2 standardom su definisane referentne $L^*a^*b^*$ vrednosti punog tona za svaku procesnu boju (cijan, magenta, žuta i crna) u zavisnosti od korišćenog papira, kao podloge za štampu, i boje pozadine na kojoj su vršena merenja (bela ili crna pozadina), a takođe definisane su i maksimalne dozvoljene ΔE^*_{ab} vrednosti (ISO12647-2, 2004). Razlike u boji između dva uzorka se mogu klasifikovati prema stepenu njihove uočljivosti na:

- neprimetne razlike u boji za $0 < \Delta E^*_{ab} < 1$,
- primetne razlike u boji iskusnom posmatraču za $1 < \Delta E^*_{ab} < 2$,
- umerene razlike u boji (primetne i neiskusnom posmatraču) $2 < \Delta E^*_{ab} < 3,5$,
- očigledne razlike u boji za $3,5 < \Delta E^*_{ab} < 5$,
- značajne ili masivne razlike u boji za $\Delta E^*_{ab} > 5$ (Heidelberger Druckmaschinen AG, 2008).

2.12.1.4 Spektralne krive

Na osnovu spektra iluminanta $S(\lambda)$, izmerene spektralne reflektanse posmatrane boje $\beta(\lambda)$ i funkcija spektralnih vrednosti $x(\lambda)$, $y(\lambda)$ i $z(\lambda)$ standardnog posmatrača (*eng. spectral value functions*) moguće je dobiti potpunu informaciju o boji od interesa i precizno je kvantifikovati (Heidelberger Druckmaschinen AG, 2008). Kako bi se osiguralo da odštampana boja zadovoljava kriterijume grafičke proizvodnje definisane standardom, za karakterizaciju reprodukovane boje se koriste krive spektralne reflektanse (*eng. spectral reflectance curves*) ili kraće spektralne krive (Romano, i drugi, 1998). Pomoću ovih krivih moguće je opisati boju štampanog otiska kvantifikacijom reflektanse (svetlosti reflektovane od posmatrane površine), čime se obezbeđuje potpun i precizan opis boje štampanog uzorka (Romano, i drugi, 1998; Tomić, 2016). Pored karakteristika boje samog otiska, spektralnim krivama se vrši i određivanje karakteristika svetline, beline i boje papira kao bitnih optičkih osobina koje u određenoj meri utiču na kvalitet štampanog otiska (Romano, i drugi, 1998). Za dobijanje spektralnih krivih koristi se merni uređaj, spektrofotometar, koji koristi belu svetlost za osvetljavanje uzorka, čija površina deo svetlosti apsorbira, a deo reflektuje. Reflektovana svetlost sa uzorka, posle prolaska kroz difrakcionu rešetku koja vrši razdvajanje svetlosnog zraka na svoje spektralne konstituente određenih talasnih dužina, dolazi do detektora koji beleži njen intenzitet (Romano, i drugi, 1998; Heidelberger Druckmaschinen AG, 2008). Spektrofotometri registruju intenzitet reflektovane svetlosti na odgovarajućoj talasnoj dužini vidljivog dela spektra (obično u opsegu od 400 nm do 700 nm, sa korakom

od 10 nm) nakon čega se generiše spektralna kriva karakterističnog oblika (Romano, i drugi, 1998). Jedan od mernih uređaja koji radi na ovom principu je i SpectroDens (Techkon, Nemačka) kod koga se intenzitet reflektovanog zračenja ili spektralna reflektansa izražava procenom reflektovanog zračenja u odnosu na refleksiju idealnog reflektora, bele pločice za kalibraciju mernog uređaja (Romano, i drugi, 1998; Tomić, 2016). Spektralne krive se danas koriste u grafičkoj industriji za monitoring i kvantifikaciju boje otisaka štampanih različitim tehnikama na podlogama za štampu izrađenim od različitih materijala (Kašiković, i drugi, 2017; Karlović, 2010), gde oblik spektralnih krivih najčešće predstavlja bitniji faktor u odnosu na vrednosti amplitude generisane spektralne krive (Golob, i drugi, 2008). Na slici 2.29 je prikazan izgled karakterističnih, standardom definisanih krivih spektralne reflektanse za štampane procesne boje cijan i magentu u tehnici ofset tabačne štampe (ISO 2846-1, 2006).



Slika 2.29. Izgled standardnih spektralnih krivih za pune tonske površine cijan i magenta boje, štampanih tehnikom tabačne ofset štampe (ISO 2846-1, 2006)

2.12.1.5 Belina i žutoća papira

Belina predstavlja optičku karakteristiku papira koja daje informaciju o stepenu difuzne refleksije svetlosti sa njegove površine, odnosno podatak o količini i uniformnosti reflektanse svih talasnih dužina vidljivog dela spektra u odnosu na reflektansu idealno belog standarda (koji ne apsorbuje, niti propušta svetlost) (Romano, i drugi, 1998; x-rite, 2018). Kao standard, odnosno idealno bela boja, koristi se pločica izrađena od barijum sulfata, koja reflektuje 100% upadne svetlosti. Praćenje karakteristike beline papira je veoma bitno u procesu izrade papira jer utiče na kvalitet reprodukcije boja u štampi. Viši nivo beline papira omogućava veći kontrast između štampanih i neodštampanih površina, a samim tim i viši kvalitet otiska (Romano, i drugi, 1998). Najčešće korišćene mere za belinu u industriji papira su CIE belina (*eng. CIE Whiteness*), koja se dobija pomoću mernog instrumenta spektrofotometra, i TAPPI svetlina koja se dobija upotrebom kolorimetara (x-rite, 2018). Međunarodna CIE organizacija (*fra. Commission internationale de l'eclairage*) koja se bavi standardizacijom u oblasti iluminanata, boja i prostora boja, je 1981. godine predložila formulu za izračunavanje CIE beline zasnovanu na merenju CIE tristimulusnih vrednosti (jednačine 2.11 – 2.13):

$$W = Y + 800 (x_n - x) + 1700 (y_n - y) \quad (2.11)$$

$$x = X/(X + Y + Z) \quad (2.12)$$

$$y = Y/(X + Y + Z) \quad (2.13)$$

gde su x i y hromatske koordinate uzorka, x_n i y_n su hromatske koordinate idealnog difuzora, a X , Y i Z su CIE tristimulusne vrednosti uzorka (ISO 11476, 2009; Aksoy, i drugi, n.d.).

Izraz za određivanje stepena beline opisuje plavo-žutu osu sa dominantnom talasnom dužinom od 466 nm u CIE dijagramu hromatičnosti, pa ukoliko je papir žući, vrednost beline će biti manja, a ukoliko je prisutnija plava nijansa, vrednost beline će biti viša (Aksoy, i drugi, n.d.; x-rite, 2018). Takođe, dokazano je da CIE belina dobro korelira sa b^* koordinatom koja predstavlja plavo-žutu osu u CIELab prostoru boja (x-rite, 2018). Vrednosti beline se obično kreću između 90 i 120 za „beo“ papir, gde se kod papira sa optičkim izbeljivačima dobijaju više vrednosti beline (Techkon GmbH, 2018).

Stepen žutoće se definiše kao mera odstupanja boje neke površine od poželjne bele ili bezbojne. Prema ASTM E313 standardu (D 1925), stepen žutoće je razvijen za određivanje žutoće homogenih, nefluorescentnih, približno bezbojnih, transparentnih ili netransparentnih plastičnih materijala, i uspešno se primenjuje na različite bele ili približno bele materijale, uključujući plastiku, tekstilne materijale, ali i druge materijale kao što je papir. Formula za izračunavanje stepena žutoće glasi (2.14):

$$YI = \frac{100 \cdot (C_x X - C_z Z)}{Y} \quad (2.14)$$

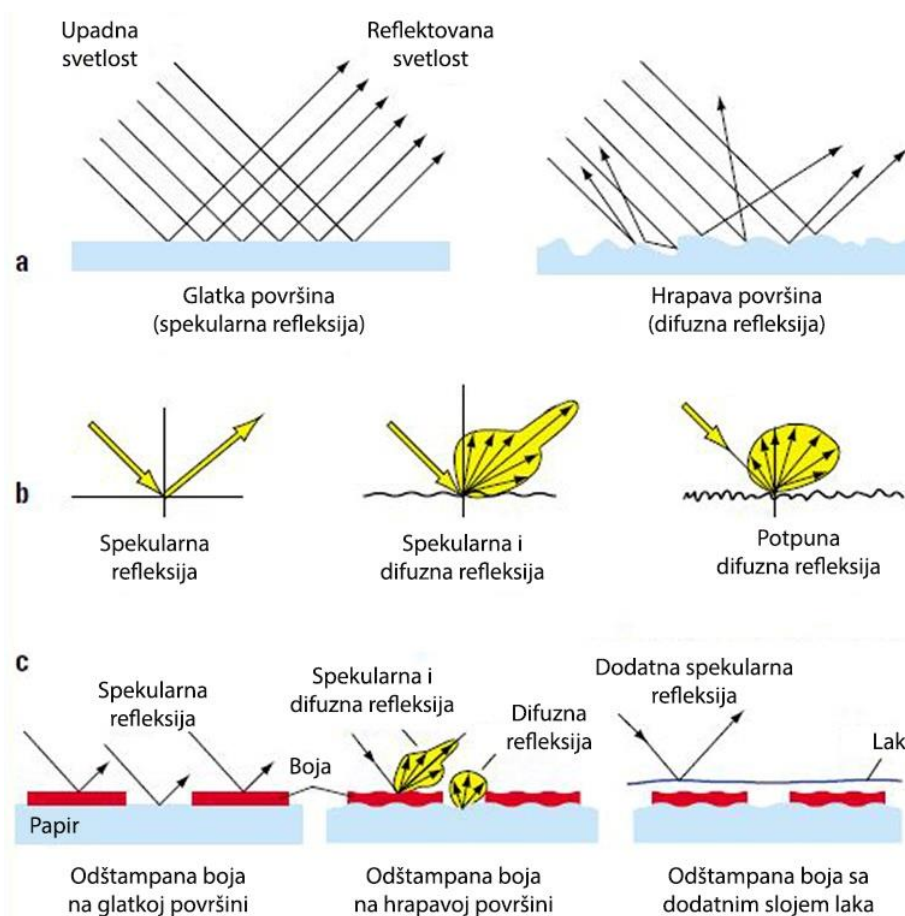
gde su: X , Y i Z CIE tristimulusne vrednosti, a C_x i C_z koeficijenti žutoće (ASTM E313, 2001). Pozitivne vrednosti ukazuju na to da papir ima žutu nijansu, a negativne vrednosti na to da papir ima plavu nijansu (Techkon GmbH, 2018).

2.12.1.6 Sjaj

Sjaj (*eng. print gloss*) predstavlja karakteristiku površine materijala koja uzrokuje da se površine papira i odštampane boje presijavaju, gde orijentacija zraka reflektovane svetlosti sa ovih površina definiše njihov stepen sjajnosti (Romano, i drugi, 1998; Kipphan, 2001). Sjaj izaziva reflektovana svetlost sa određene površine kod koje je upadni ugao jednak većem delu reflektovane svetlosti (Kipphan, 2001). Mat površina predstavlja površinu suprotnih površinskih karakteristika sjajnoj površini, one su mnogo manje glatke što uzrokuje da se svetlosni zraci koji padnu na njenu površinu odbijaju u različitim pravcima, difuzno, zbog prisutnih površinskih nepravilnosti (Romano, i drugi, 1998).

Sjaj štampanog otiska ima značajan uticaj ne samo na njegov izgled već i na opažanje boje otiska (Mikula, i drugi, 2003). Štampani proizvodi sa višim sjajem obično imaju bolji ukupni izgled i omogućavaju im veću atraktivnost, jer viši nivo sjaja utiče na korisnika da obrati veću pažnju na takav proizvod. Boja visoko sjajnih otisaka je intenzivnija (veća dubina boje), tj. hromatičnija, a u isto vreme i tamnija (Kipphan, 2001), dok boja mat površina ima niži intenzitet obojenja i veću svetlinu u odnosu na sjajne površine iste boje (Mikula, i drugi, 2003). Boje za štampu koje se karakterišu kao sjajne se

duži vremenski period zadržavaju na površini podloge za štampu prilikom sušenja, u odnosu na boje kod kojih vezivo prevremeno penetrira u podlogu pre nego što se boja osuši, što dovodi do toga da takve boje za štampu imaju niži nivo sjaja (Romano, i drugi, 1998). U slučaju satiniranih ili sjajnih premaznih papira, upadni svetlosni zraci su posle refleksije od površine uglavnom paralelni ili su odbijeni u istom pravcu, što omogućava površini papira da se presijava, odnosno čini je sjajnom. Ovakvi papiri se koriste kako bi se poboljšao ukupan izgled štampanog proizvoda ili unapredio sjaj odštampane boje, jer sjajni papiri reflektuju svetlost i kroz odštampani sloj boje. Papiri srednjeg nivoa sjaja se koriste za izradu nešto drugačijih štampanih proizvoda, kod kojih je potrebno smanjiti naprezanje očiju, jer velika količina reflektovane svetlosti čini tekst odštampan na sjajnom papiru teškim za čitanje (Romano, i drugi, 1998). Odštampanu boju u većoj ili manjoj meri karakteriše polu-mat površina, međutim, štampane površine se mogu oplemeniti lakom ili laminirati folijom u naknadnim operacijama završne grafičke obrade i time unaprediti i povećati nivo sjaja. Slika 2.30 prikazuje spekularnu i difuznu refleksiju do koje dolazi na različitim štampanim i oplemenjenim površinama (Kipphan, 2001).



Slika 2.30. Karakteristike refleksije različitih površina: a) refleksija/rasipanje svetlosti na glatkoj i hrapavoj površini, b) tipovi refleksije svetlosti na površinama različite površinske strukture, c) tipovi refleksije kod štampanih otisaka (papir sa glatkom i hrapavom površinskom strukturom i oplemenjeni otisak sa lakom) (Kipphan, 2001)

Sjaj određene površine se meri koristeći njene refleksijone karakteristike, pomoću uređaja za merenje sjaja, glosmetara, koji beleže i vrše poređenje količine upadne svetlosti sa količinom reflektovane svetlosti sa merene površine (Romano, i drugi, 1998; Kipphan, 2001). Merenje glosmetara je zasnovano na detekciji reflektovane svetlosti pod različitim uglovima u zavisnosti od površinske strukture merene površine (spekularna ili difuzna refleksija), a obično imaju mogućnost detekcije reflektovane svetlosti samo u nekoliko pravaca, odnosno uglova (25°, 45° i 75°, sa uglom osvetljavanja uzorka od 45°) (Kipphan, 2001). Idealno sjajna površina koja se koristi za kalibraciju glosmetara (polirano crno staklo) ima vrednost od blizu 100 jedinica sjaja. Mat papiri obično imaju vrednost sjaja manju od 20 jedinica sjaja, dok premazni papiri srednje površinske glatkoće (*eng. dull-finish papers*) imaju vrednost do 40 jedinica sjaja (Romano, i drugi, 1998). Klasični uređaji za merenje sjaja, glosmetri, mere intenzitet spekularne refleksije uzorka u odnosu na standard za određeni ugao merenja. Vrednost sjaja G_s se može definisati izrazom 2.15:

$$G_s = 100 \times I_u / I_{ref} \quad (2.15)$$

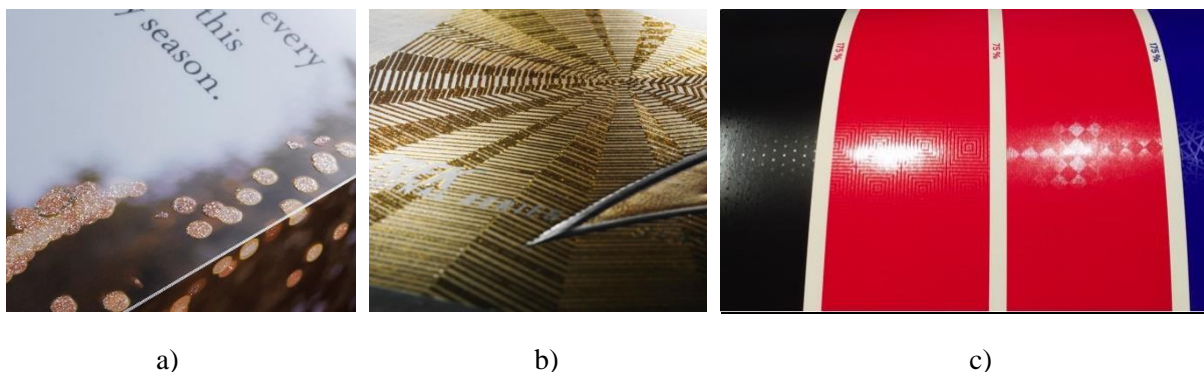
gde je I_u intenzitet reflektovane svetlosti, a I_{ref} intenzitet reflektovane svetlosti sa referentne, standardne površine (polirano crno staklo) (Karlović, 2010).

2.13 Mirisi kao dodatna vrednost štampanog proizvoda

Grafička industrija se suočava sa sve većim izazovima i potražnjom za inovativnim proizvodima u koje bi trebalo „ugraditi“ jednu novu vrednost kako bi omogućili dodatni benefit potrošačima i naravno veće prihode štamparijama. Iako je optimizacija efikasnosti proizvodnje upotrebom naprednih tehnologija još uvek preduslov za profitabilnu štampariju, dugoročno posmatrano ovo nije dovoljno. Zato je neophodno kreirati proizvode sa dodatnom vrednošću (*eng. value-added products*) ili omogućiti ponudu širokog spektra usluga koje će povećati mogućnosti da primarni klijenti štamparija plasiraju svoje proizvode na tržište kako bi na efikasniji način došli do svojih krajnjih potrošača (British Printing Industries Federation, n.d.; Garcia, 2012). Pored razvoja novih marketingških strategija i unapređenja brenda, dodavanje vrednosti finalnom štampanom proizvodu omogućava se primenom različitih načina oplemenjivanja otisaka ili dodatnih operacija završne grafičke obrade kao što su: parcijalno ili lakiranje čitave površine otiska što daje utisak trodimenzionalnosti otiska, laminacija (Gillman, 2017), pregovanje (Rockley, 2015), UV lakiranje koje omogućava dobijanje taktilnih efekata, primena perlascentnih i gliter (šljaštećih) lakova, zatim aplikacija različitih lakova koji omogućavaju široki spektar taktilnih efekata od veoma mekog do veoma grubog taktilnog stimulusa, generisanje retikulacionog efekta primenom kombinacije lakova (Coatings and Adhesives, n.d.), utiskivanje različitih vrsta folija bez ili uz primenu toplote, primena holografskih folija, isecanje (JohnsByrne, 2016), aplikacija mirisa štampom mirisnih mikrokapsula, slika 2.31 (Scentisphere, n.d.).

Istraživačko-razvojni tim firme Augustus Martin, koja se bavi štampom i razvojem inovativnih rešenja u grafičkoj industriji, je dizajnirao boje sa tzv. specijalnim efektima kako bi se pojačao vizuelni uticaj štampanih proizvoda na kupce i povećao obim prodaje štampanog materijala koji podstiče različita čula (vid, dodir i miris). Oni su razvili takozvane „čulne boje“ za štampu, kako bi intenzivirali interakciju i produžili vreme koje će potencijalni kupac da provede u kontaktu sa određenim štampanim proizvodom,

aktivirajući na taj način pored i druga čula. Augustus Martin nude mogućnost štampe termohromatskim bojama, lakove i boje koje omogućavaju generisanje površina sa različitim površinskim karakteristikama (npr. utisak gumene ili površine od kamena) dajući im precizan taktilni osećaj, zatim boje koje omogućavaju da se pod uticajem vlažnih prstiju odštampana boja "ukloni" sa podloge otkrivajući na taj način novu poruku ili sliku (*eng. wash off ink*). Pored navedenih specijalnih boja i lakova firma Augustus Martin nudi još i "protrljaj i pomiriši" boje za štampu (*eng. scratch and sniff*), kojima se omogućava integracija mirisa u štampani proizvod, a ovakve boje se mogu proizvesti upotrebom gotovo bilo kog mirisa (Augustus Martin Limited., n.d.).



Slika 2.31. Izgled oplemenjenih štampanih proizvoda upotrebom: a) gliter laka, b) UV laka, c) kombinacije lakova za dobijanje retikulacionog efekta (JohnsByrne, 2016)

Obzirom da ljudi percipiraju svet oko sebe pomoću svojih čula, samim tim i doživljaj različitih proizvoda i usluga zavisi od njih, tako da ukoliko je čulno iskustvo intenzivnije, utoliko će ono biti privlačnije. Pre nekih dvadeset pet godina, proširivanjem postojećih senzornih marketingških tehnika, istraživanjem tri tada još uvek nedovoljno eksploatisana čula u ovoj oblasti (čulo dodira, ukusa i čulo mirisa), kao potpuno nova oblast marketinga pojavio se čulni marketing (*eng. sensorial marketing*). On je omogućio da se potrošači privuku na jedan prisniji način i tako se firme emotivno povežu sa njima u pokušaju da svoj proizvod plasiraju u domove potrošača. Prilikom eksploatacije proizvoda kod kojih je potrebno aktivirati više čula kako bismo mogli u potpunosti da ih percipiramo i pritom osetimo više različitih tipova čulnih nadražaja, javlja se multi-čulno iskustvo brenda (*eng. multi-sensory brand-experience*) (Hultén, 2011; Manenti, 2013; Eriksson, i drugi, 2011; Preston, n.d.).

Čulo mirisa, zajedno sa čulom ukusa, spada u grupu hemijskih receptora i jedno je od pet osnovnih čovekovih čula koje nam omogućava da osetimo različite mirise iz okruženja, detekcijom hemijske prirode molekula različitih supstanci (Bradford, 2017; resources.schoolscience.co.uk, n.d.). Čulo mirisa je daleko najsugestivnije čulo i jedino koje ne možemo „isključiti“ (Lindström, 2005). Pod uticajm mirisa kao stimulusa, javljaju se emocionalne reakcije koje doprinose aktiviranju i kreiranju memorijskih slika i sećanja, pozitivne atmosfere, kao i pozitivnog uticaja na emocionalno stanje i raspoloženje potrošača (Hultén, 2011). Naša percepcija mirisa zavisi od puno faktora kao što su starost, pol, zdravstveno stanje, trudnoća i genetske razlike. Sećanje o pojedinim mirisima je individualne prirode, a naši stavovi o različitim mirisima su zabeleženi u našoj memoriji još od vrlo ranog uzrasta. Ova sećanja na pojedine mirise utiču na način na koji percipiramo nove mirise (BELL Laboratories, n.d.). Prijatni mirisi imaju pozitivan efekat na kupčevu percepciju proizvoda, utiču na cenu pojedinačnog

proizvoda koju je kupac spreman da plati, kao i na ukupan iznos potrošenog novca (Manenti, 2013). Rezultati istraživanja New York Times-a pokazuju da više od 80% potrošača bira proizvod čija ambalaža omogućava da se proizvod vidi i pomiriše u odnosu na slične proizvode kod kojih to nije moguće i zato se u godinama koje predstoje očekuje da broj oglasa, ambalaže i drugih štampanih proizvoda sa mirisima poraste (Preston, n.d.). Mirisna i aromatična ulja se enkapsuliraju i mogu se integrisati u etikete, ambalažu (olfaktorna ambalaža) ili boje za štampu, koja oslobađa enkapsulirani miris, ali i u niz drugih proizvoda kao što su igračke, dečje knjige, sveće, magazini (slika 2.32a), čestitke. Neke aplikacije zahtevaju dodir, odnosno da se površina sa apliciranim mirisima blago protrlja kako bi se on oslobodio, dok druge koje koriste nešto drugačiji način enkapsulacije omogućavaju da se miris oslobađa kontinuirano, tokom dužeg vremenskog perioda (čak do šest meseci) (Preston, n.d.). Globalne farmaceutske kompanije su bile među prvima koje su usvojile ovu novu tehnologiju, kako bi podigle marketingšku aktivnost na viši nivo, povećale svest potrošača o brendu i omogućile takvim proizvodima veću atraktivnost i jedinstvenost (npr. kozmetika - kreme za lice). Kompanija Proctor & Gamble (SAD) je implementirala “protrljaj i pomiriši” (*eng. scratch and sniff*) mirisne etikete koje oslobađaju mirise na različiti promotivni materijal, oglase u magazinima i ambalažu „Whitening Crest“ linije pasti za zube, reprezentujući na taj način njihove ukuse (slika 2.32b).



a)



b)

Slika 2.32. Štampani otisci sa mirisnim mikrokapsulama: a) oglas sa mirisom za dezodorans u magazinu (The Aroma Company, n.d.), b) ambalaža za „Whitening Crest“ pastu za zube (Walmart Inc., n.d.)

Zatim firma Unilever (Nemačka) koristi mirisne boje za štampu ambalaže za proizvodnu liniju dezodoranasa i proizvoda za ličnu negu. CSP Technologies firma (SAD) je razvila ambalažu koja oslobađa mirise, kao i ambalažu koja apsorbuje arome iz ambalaže. Firma Disperse Technologies (UK) proizvodi filmove i premaze koji mogu da „zarobe“ bilo koji miris rastvoran u ulju. Scentsationals Technologies (SAD) je lider na tržištu proizvodnje različite ambalaže sa integrisanim aromama koje se primenjuju direktno na komponente ambalaže, uključujući poklopce i zatvarače, flaše, posude, fleksibilne vreće, različitu kućnu opremu, poslužavnike (Preston, n.d.).

Pojedine firme koje se bave grafičkom delatnošću, pored velikog broja gotovih, enkapsuliranih mirisa za oplemenjivanje štampanih otisaka, nude i mogućnost da u kooperaciji sa kupcem razviju potpuno

nove mirise koji će da odgovore na njihove specifične zahteve, dok veoma često kupac dostavlja željenu mirisnu supstancu ili eterično ulje koje se prvo enkapsulira, a potom štampa (Scentisphere, n.d.).

2.13.1 Subjektivne metode za testiranje otisaka oplemenjenih mirisnim mikrokapsulama

U različitim istraživanjima koja se bave ispitivanjem funkcije čula mirisa kod ljudi, kao i određivanjem performansi, odnosno mirisa pojedinih proizvoda sa dodatom vrednošću (u koje su implementirani mirisi) korišćene su mikrokapsule koje enkapsuliraju određene mirise, štampane različitim tehnikama na raznovrsnim podlogama za štampu. Kratak pregled ovih istraživanja koja se baziraju na anketiranju ispitanika i njihovoj subjektivnoj proceni o prisustvu i intenzitetu prisutnog mirisa je dat u nastavku.

Mullol i saradnici (2012) su se u svom radu bavili ispitivanjem statusa funkcije čula mirisa jednog dela opšte populacije Španije, rasprostranjenošću olfaktorne disfunkcije i povezanih faktora rizika. U istraživanju su koristili mirisne mikrokapsule koje enkapsuliraju četiri različita mirisa: ruža, banana, mošus i gas kao industrijski miris (30% metanetiol i 70% tiofan). Mikrokapsule su štampane u dnevnim novinama „El Periódico de Catalunya“ (Barselona, Španija) u tiražu od 250.000 primeraka, zajedno sa dva anketna lista (jedna vezana za ispitivanu funkciju čula mirisa – 3 pitanja, a druga vezana za demografiju i zdravstveno stanje ispitanika – 12 pitanja). U radu nije dat podatak o tehnici štampe koja je korišćena za štampu mikrokapsula, ali se zbog velikog tiraža predpostavlja da je u pitanju rotaciona ofset štampa. Ispitanici koji su učestvovali u anketiranju su bili čitaoci novina različite životne dobi i pola (ukupno 9348 ispitanika – važećih anketnih listića). Ispitanici su trebali da protrljaju i pomirišu (*eng. scratch and sniff*) svaki od četiri mirisa (polja sa odštampanim mikrokapsulama različitog mirisa) i odgovore na tri pitanja vezana za: detekciju mirisa (da li su osetili bili kakav miris), prepoznavanje mirisa (da li su ikada osetili taj miris) i identifikaciju mirisa (da navedu miris koji su osetili). Neki od rezultata su pokazali da je čulo mirisa kod žena bolje u odnosu na čulo mirisa kod muškaraca bez obzira na starost. Takođe, sposobnost prepoznavanja i identifikacije mirisa raste do četvrte decenije života i opada posle šeste decenije (Mullol, i drugi, 2012).

Wysocki i saradnici (1987) su u kooperaciji sa Društvom za nacionalnu geografiju (*eng. National Geographic Society*) i Magazinom Nacionalna geografija (*eng. National Geographic Magazine*) sprovedli istraživanje detekcije, procene intenziteta i sposobnosti identifikacije mirisa jednog dela populacije SAD-a. U istraživanju su korišćene mikrokapsule sa šest različitih mikroenkapsuliranih mirisa (odbojni: androstenon, galaksolid, metanetiol i prijatni: izoamil acetat – miris banane, eugenol, miris ruže) koje su štampane tehnikom rotacione ofset štampe, a instalirana je i specijalna oprema za štampu kako bi se simultano štampalo svih šest mirisa pomoću jedne štamparske forme. Šest odštampanih površina (polja) sa mikrokapsulama različitog mirisa, kao i anketni listići, koji su se nalazili u magazinu Nacionalna geografija, poslali su svim članovima Društva za nacionalnu geografiju, na ukupno 10,5 miliona adresa (1,42 miliona čitalaca je odgovorilo na anketu, a 1,2 miliona anketnih listića je obrađeno). Anketa je sadržala pitanja koja su se odnosila na demografske informacije o ispitanicima i pitanja vezana za ličnu procenu funkcije sopstvenog čula mirisa, o zdravstvenom stanju (npr. privremeni gubitak čula mirisa; alergije, pušenje), za učestalost korišćenja parfema u toku nedelje, itd. Nakon odgovaranja na ova pitanja, ispitanici su trebali da protrljaju i pomirišu (*eng. scratch and sniff*) svaku od šest površina sa različitim mirisima i odgovore na odgovarajuća pitanja vezana za prisutnost, kvalitet, intenzitet i prepoznavanje percipiranog mirisa. Neki od rezultata ovog istraživanja pokazuju da percepcija mirisa generalno slabi sa godinama, dok 1% od ukupnog broja ispitanika nije osetio tri ili više mirisa od ukupno šest. Pored toga što imaju više mišljenje o svojim olfaktornim sposobnostima,

žene su rangirale percipirane mirise kao intenzivnije, a takođe su i preciznije identifikovali mirise u odnosu na muškarce (Wysocki, i drugi, 1989).

U radovima Stanković Elesini i saradnika (2016) i (2017) vršena su ispitivanja prisustva i intenziteta mirisa u leptir mašnama koje su oplemenjene mirisnim mikrokapsulama (dobijenim modifikovanom in situ polimerizacijom), koje enkapsuliraju komercijalno dostupne mirise (dva seta uzoraka, jedan sa muškim mirisom i jedan sa ženskim mirisom). Mikrokapsule su štampane manuelnom sito tehnikom štampe na tekstilni materijal (100% batist pamuk) od kog je izrađen jedan segment leptir mašni. Za štampu je korišćena mešavina komercijalno dostupne boje (Elastil Comprente, Minerva, Italy), 20% masenog udela suspenzije mikrokapsula i 8% masenog udela vode. Leptir mašne su skladištene u specijalno izrađene kutije od kartona kako bi se leptir mašne zaštitile od prašine, prljanja i da bi se miris što duže zadržao (Stanković Elesini, i drugi, 2017; Stanković Elesini, i drugi, 2016b). U testu je učestvovao 31 ispitanik (15 muškaraca i 16 žena), svaki od njih je testirao jednu leptir mašnu, a samo ispitivanje je trajao ukupno dva meseca (od novembra 2015. do januara 2016. godine). Pre prvog testa i posle svakog nošenja, leptir mašne su odlagane u specijalno izrađene kutije, dok je svaki ispitanik nosio leptir mašnu ukupno 10 puta. Leptir mašne su nošene u različitim prilikama i okruženjima, kako bi se simulirali realni uslovi upotrebe ovog proizvoda, tako da je bio prisutan i uticaj okoline, a nakon svakog nošenja ispitanici su popunjavali anketu, odgovarajući na pitanja vezana za prisustvo, dužinu trajanja, intenzitet i slabljenje oslobođenog mirisa. Rezultati istraživanja pokazuju da su leptir mašne u maloj meri izgubili svoj miris od prvog do desetog nošenja, a većina leptir mašni (83,9%) su i dalje oslobađale blag miris, koji se intenzivirao trljanjem leptir mašni prstima (Stanković Elesini, i drugi, 2017).

Ispitivanje prisustva i intenziteta mirisa u okviru ove doktorske disertacije se donekle oslanja na prethodno navedena istraživanja, na osnovu kojih je uz određene modifikacije formulisan eksperiment za testiranje mirisa koji je predstavljen u eksperimentalnom delu doktorata, u segmentu Materijali i metode.

3 Predmet, problem i cilj istraživanja

Tehnologija proizvodnje mikrokapsula je patentirana još 1957. godine, a mikrokapsule dobijene na ovaj način su korišćene za proizvodnju beskarbonskog samokopirajućeg papira (*eng. carbonless copy paper – NCR*) koji predstavlja jedan od najznačajnijih proizvoda tehnologije mikroenkapsulacije. Razvoj ove tehnologije je u godinama koje su usledile doveo do pojave različitih tipova mikrokapsula i tehnika njihove proizvodnje za različite oblasti primene. Danas se mikrokapsule pretežno koriste u medicini, farmaciji, poljoprivredi, građevinskoj industriji, hemijskoj industriji, prehrambenoj industriji, biotehnologiji, kozmetičkoj industriji, elektronici, tekstilnoj i grafičkoj industriji. Mikrokapsule se mogu proizvesti mnogobrojnim tehnikama mikroenkapsulacije, a odabir tehnike zavisi od buduće primene mikrokapsula i njihove funkcionalnosti, odnosno aktivne materije koju enkapsuliraju u svom jezgru. U grafičkoj industriji i industriji papira, mikroenkapsulacija se koristi za proizvodnju beskarbonskog samokopirajućeg papira, mernih filmova osetljivih na pritisak, termohromatskih boja, ekspanzirajućih mikrosfera za proizvodnju „bubrečeg“ papira ili dobijanje 3D efekata na otisku, mikroenkapsuliranje enzima (bioaktivni materijali), proizvodnju termalnih CtP štamparskih ploča, funkcionalnih tekstila sa unapređenim toplotnim karakteristikama, izradu proizvoda sa dodatom vrednošću apliciranjem mikrokapsula sa mirisima.

Predmet ovog istraživanja je karakterizacija oplemenjenih otisaka mirisnim mikrokapsulama pomoću automatske tehnike premazivanja i tehnike flekso štampe, koji su prethodno štampani tabačnom ofset tehnikom. U ovoj doktorskoj disertaciji, u okviru preliminarnog dela istraživanja izvršena je karakterizacija oplemenjenih uzoraka dobijenih različitim tehnikama (ručna tehnika premazivanja, sito, tampon i ofset tehnika štampe), korišćenjem različitih tipova mikrokapsula (mirisne i PCM mikrokapsule) i lakova kao i boje za štampu, koje su aplicirane na različite podloge za štampu. Glavni deo istraživanja će obuhvatiti analizu najbitnijih karakteristika upotrebljenih materijala (mikrokapsula, lakova i podloga za štampu) a ispitaće se njihov, kao i uticaj korišćenih tehnika za aplikaciju mikrokapsula, kao i uticaj različitih koncentracija mirisnih mikrokapsula u odštampanom sloju laka, na fizičke, mehaničke, optičke i funkcionalne karakteristike oplemenjenih otisaka. Takođe, ispitaće se i uticaj pomenutih faktora na ponašanje mirisnih mikrokapsula u odštampanom sloju laka, tj. na uniformnost distribucije (rasporeda) mikrokapsula u sloju laka, jer je pozicija mikrokapsula veoma bitan faktor koji utiče na kvalitet i funkcionalnost otisaka oplemenjenih mikrokapsulama. Funkcionalnost apliciranih mirisnih mikrokapsula će se ispitati putem subjektivnog testa prisustva i intenziteta prisutnog mirisa u oplemenjenim otiscima.

Problem istraživanja. Oplemenjivanjem štampanih otisaka mikrokapsulama se dodaje vrednost štampanom proizvodu omogućavajući mu određenu funkcionalnost, ali mu se takođe menjaju i osnovne fizičke, mehaničke i optičke karakteristike. Zato je bitno izvršiti karakterizaciju oplemenjenih otisaka kako bi se utvrdilo ponašanje mikrokapsula tokom postupka oplemenjivanja i njihovo stanje na podlozi za štampu, kao i na koji način i u kojoj meri oplemenjivanje otiska različitim koncentracijama mirisnih mikrokapsula utiče na osnovne karakteristike otisaka. Većina autora u ovoj oblasti se bavila unapređenjem metoda karakterizacije mikrokapsula, enkapsulacijom različitih supstanci, razvojem novih i optimizacijom postojećih metoda mikroenkapsulacije, dok se veoma mali broj istraživanja bavi ispitivanjem uticaja karakteristika materijala i primenjenih tehnika aplikacije na karakteristike nanešenih

mikrokapsula i njihovu funkcionalnost, kao i uticaja apliciranih mikrokapsula na specifične karakteristike otisaka i podloge za štampu.

Glavni **cilj** istraživanja predstavlja detaljna karakterizacija najbitnijih fizičkih, mehaničkih, optičkih i funkcionalnih svojstava oplemenjenih otisaka mirisnim mikrokapsulama, koja će biti realizovana putem njihove opsežne karakterizacije. Rezultati koji će se dobiti ovakvom karakterizacijom oplemenjenih otisaka lakovima i mirisnim mikrokapsulama bi trebalo da omogući veliki broj informacija kako o najbitnijim parametrima kvaliteta otisaka, tako i o stanju i ponašanju apliciranih mirisnih mikrokapsula u sloju laka, dajući na taj način kvalitetniju i potpuniju analizu u odnosu na do sada korišćene metode za karakterizaciju oplemenjenih otisaka mikrokapsulama. Na osnovu detaljnih informacija karakterizacije kvaliteta oplemenjenih otiska sa mirisnim mikrokapsulama, stiče se mogućnost da se uticajem na pojedine aspekte pripreme i aplikacije mirisnih mikrokapsula unapredi kvalitet oplemenjenih otiska na ovaj način.

4 Hipoteze istraživanja

Analizom stanja u oblasti prethodnih, eksperimentalno potvrđenih saznanja u domenu tehnologije proizvodnje mirisnih mikrokapsula, ispitivanja dugotrajnosti mirisnih mikrokapsula, optimizacije različitih tehnika za mikroenkapsulaciju, kao i oplemenjivanja otisaka mirisnim mikrokapsulama korišćenjem različitih tehnika, postavljene su sledeće hipoteze:

H1: Moguće je razviti metod za karakterizaciju otisaka oplemenjenih mirisnim mikrokapsulama, koji će omogućiti njihovu kvalitetniju i sveobuhvatniju analizu, a time obezbediti bolji uvid u stanje mikrokapsula u prenetom sloju laka, ponašanje mikrokapsula tokom procesa oplemenjivanja, kao i na koji način i u kojoj meri oplemenjivanje podloge za štampu mirisnim mikrokapsulama utiče na najbitnije karakteristike oplemenjenih materijala i otisaka.

H2: Karakteristike komponenti kompleksnog, heterogenog sistema (koga čine podloga za štampu, lak i mirisne mikrokapsule), zatim korišćenje različitih tehnika oplemenjivanja (automatska tehnika premazivanja i flekso tehnika štampe), kao i različitih koncentracija mirisnih mikrokapsula u lakovima, utiču na površinska svojstva oplemenjenih otisaka, a time i na kvalitet štampe, odnosno na optičke karakteristike oplemenjenih površina mirisnim mikrokapsulama.

H3: Moguće je definisati jednostavnu mernu metodu za određivanje distribucije apliciranih mirisnih mikrokapsula u oplemenjenom sloju laka, na osnovu koje se može predvideti kvalitet otisaka oplemenjenih mirisnim mikrokapsulama i koja bi se mogla koristiti za kontrolu kvaliteta u praksi.

H4: Tehnika oplemenjivanja, odnosno aplikacije mirisnih mikrokapsula na odgovarajuću podlogu za štampu, ima veliki uticaj na funkcionalnost oplemenjenih površina mirisnim mikrokapsulama.

5 Materijali i metode istraživanja

Poglavlje 5 ove doktorske disertacije, „Materijali i metode“, je podeljeno na dva segmenta „Preliminarni deo istraživanja“ i „Glavni deo istraživanja“, u okviru kojih će biti predstavljeni svi materijali koji su se koristiti za štampu i oplemenjivanje štampanih i neštampanih uzoraka (mirisne i PCM mikrokapsule, lakovi i boja, različite podloge za štampu) kao i pregled primenjenih tehnika za oplemenjivanje, metoda i mernih instrumenata za naknadnu karakterizaciju kako korišćenih materijala, tako i oplemenjenih uzoraka mikrokapsulama.

5.1 Preliminarni deo istraživanja

Cilj preliminarnog dela istraživanja je ispitivanje mogućnosti oplemenjivanja određenih podloga za štampu različitim tipovima i koncentracijama mikrokapsula u kombinaciji sa lakovima i bojom za štampu, korišćenjem različitih tehnika za oplemenjivanje. U ovom segmentu rada su predstavljeni korišćeni materijali i tehnike za oplemenjivanje uzoraka mikrokapsulama, kao i metode i merni uređaji za karakterizaciju korišćenih materijala i oplemenjenih otisaka. Ispitivanjem mogućnosti oplemenjivanja uzoraka pomoću različitih mikrokapsula, tehnika i podloga za štampu, odnosno analizom kvaliteta apliciranih mikrokapsula, utvrdiće se da li su korišćeni postupci oplemenjivanja adekvatni.

5.1.1 Materijali – preliminarni deo istraživanja

5.1.1.1 Mikrokapsule

U preliminarnim istraživanjima su se koristile tri vrste mikrokapsula: 1) mirisne mikrokapsule u vodenoj suspenziji (NTF, Ljubljana, Slovenija), 2) suve mirisne mikrokapsule u praškastom obliku (FOLCO SCENT® Printable Scents, Follmann GmbH & Co. KG, Nemačka) i 3) PCM mikrokapsule (Aero, Celje).

Mirisne mikrokapsule u vodenoj suspenziji su proizvedene tehnikom modifikovane „in situ“ polimerizacije koja se veoma često koristi u grafičkoj industriji zbog jednostavne tehnologije izrade i mogućnosti proizvodnje mikrokapsula sa dobrim mehaničkim karakteristikama (Šumiga, 2013; Kukovic, i drugi, 1996). Takođe, mikrokapsule koje kontrolisano oslobađaju enkapsulirani miris jesu jedna od najčešćih funkcionalnosti koje se primenjuju u grafičkoj industriji. Korišćene mirisne mikrokapsule za oplemenjivanje su u vodenoj suspenziji, imaju jedno jezgro sačinjeno od kombinacije različitih esencijalnih ulja sa mirisima žalfije, ruzmarina i lavande (Melamin, Slovenia), dok je omotač mikrokapsula bele boje. Poliakrilni polimer je korišćen kao modifikujući agens (inicijator polikondenzacije za “in situ” polimerizaciju) dok je sodijum hidroksid (Kemika, Croatia) korišćen kao terminator reakcije polikondenzacije i za pH neutralizaciju. Kako bi se uklonio oslobođeni formaldehid tokom polikondenzacije, suspenziji mikrokapsula je dodat amonijak (Kemika, Croatia). Modifikovani proces “in situ” polimerizacije je izveden u 11 laboratorijskom reaktoru prema sledećim fazama: (1) priprema vodenog rastvora modifikujućeg agensa; (2) emulzifikacija materijala jezgra na sobnoj temperaturi brzinom mešanja od 1500 rotacija/min u trajanju od 20 min; (3) dodavanje odgovarajućeg

polimera za formiranje omotača mikrokapsula; (4) početak reakcije polikondenzacije povišenjem temperature do 70 °C – 80 °C; (5) proces polikondenzacije – formiranje mikrokapsula (oko 1 sat); (6) završetak polikondenzacije; (7) uklanjanje oslobođenog formaldehida dodavanjem amoniaka pri temperaturi od 50 °C; i (8) hlađenje do sobne temperature (Stanković Elesini, i drugi, 2016d). O mikrokapsulama u vodenoj suspenziji posedujemo najviše informacija obzirom da su proizvedene u laboratoriji na Fakultetu prirodnih nauka i inženjerstva (Faculty of Natural Sciences and Engineering) u Ljubljani (Slovenija) gde je obavljen veći deo eksperimentalnog segmenta ove doktorske disertacije.

Korišćene **mirisne mikrokapsule u prahu** takođe imaju jedno jezgro (6 µm – 10 µm srednja veličina, prema tehničkoj specifikaciji proizvođača FOLCO SCENT® Printable Scents, Follmann GmbH & Co. KG, Nemačka), bele su boje, a enkapsuliraju esencijalno ulje sa mirisom bosiljka.

PCM mikrokapsule sa omotačem izrađenim od modifikovane melamin formaldehidne smole, enkapsuliraju parafinske čestice sfernog oblika, što im omogućava čuvanje velike količine toplotne energije pri zagrevanju okoline i njeno oslobađanje pri hlađenju i narandžaste su boje (Aero, Slovenija). Ove mikrokapsule su proizvedene in-situ postupkom, gde je modifikator bio pripremljen u obliku vodene suspenzije a imao je dvostruku ulogu (kao emulgator i zaštitni koloid za materijal jezgra, odnosno kao katalizator pri procesu formiranja omotača mikrokapsula). Prema hemijskoj strukturi, emulgatori uključeni u proces polimerizacije su aktivni anjonski polielektroliti, koji imaju istovremeno hidrofobno i hidrofilno dejstvo, što im omogućava prihvatanje za površinu dispergovanih kapljica jezgra (Šumiga, 2013). Kao jezgro korišćenih PCM mikrokapsula upotrebljen je parafin (tačka topljenja: 27 °C – 50 °C), emulgator: stiren – malein – anhidridni – kopolimer (procentualni udeo emulgatora: 15% – 20%), sredstvo za regulaciju pH vrednosti (amonijak – NaOH). Prosečna veličina mikrokapsula bila je od 1,91 µm do 6,00 µm, a debljina omotača jezgra ~0,08 µm.

5.1.1.2 Podloge za oplemenjivanje mikrokapsulama

U preliminarnim istraživanjima su se koristile različite podloge za oplemenjivanje, odnosno štampu mikrokapsula kao što su: 1) transparentna folija (A4 1/100, Apli Paper S.A.U., Španija), 2) papiri za štampu različite gramature i površinske obrade.

Transparentna folija (A4 1/100, Apli Paper S.A.U., Španija) je korišćena kao podloga za oplemenjivanje uz pretpostavku da će omogućiti lakše utvrđivanje rasporeda odnosno distribucije/disperzije mikrokapsula u odštampanom sloju laka. **Uzorci od papira**, Nevia (Gold East Paper, Kina) gramature 170 g/m², različite površinske obrade (mat i sjajni) štampani/oplemenjeni su tehnikom tampon štampe korišćenjem PCM mikrokapsula u kombinaciji sa belom bojom za tampon štampu. U tabeli 5.1 su predstavljene osnovne karakteristike korišćenih podloga za oplemenjivanje.

Tabela 5.1 Osnovni podaci o korišćenim podlogama za oplemenjivanje

Podloga	Transparentna folija	Premazni papiri	
Proizvođač	Apli Paper	Nevia	
Gramatura	133,11 g/m ²	170 g/m ²	170 g/m ²
Površinske karakteristike	sjajna	mat	sjajni
Belina/žutoća	/	99,84/-7,09	98,46/-6,42
Debljina	96,90 μm	155,88 μm	146,92 μm

5.1.1.3 Lakovi i boja za oplemenjivanje

U istraživanju su se koristile različite vrste lakova, koji bi trebalo zbog svoje karakteristike transparentnosti, kao i u slučaju folije, da omogući lakše uočavanje i utvrđivanje pozicija i rasporeda mikrokapsula u oplemenjenom sloju laka. Odabrana su tri različita laka namenjena za oplemenjivanje otisaka u ofset štampi: 1) lak na bazi vode C-375 (L₁), 2) lak na bazi vode 2 (L₂) i 3) lak na bazi ulja C-378 (L₃) (Cinkarna Celje, Slovenija). Ovi lakovi su odabrani zbog načina aplikacije, odnosno štampe sa mikrokapsulama za čega su se koristile različite tehnike: ručna tehnika premazivanja i tehnika sito štampe. Takođe, odabrani lakovi su relativno prozirni što obezbeđuje da odštampane mikrokapsule kako na površini, tako i u sloju laka budu lakše uočene korišćenjem mikroskopske analize oplemenjenih otisaka. Lakovi L₁ i L₂ na vodenoj bazi se mešaju sa mirisnim mikrokapsulama u vodenoj suspenziji, dok se lak L₃ meša sa suvim, mirisnim mikrokapsulama u praškastom obliku. Lak na bazi vode L₁ ima osnovu od stabilizovane vodene disperzije od akrilnih smola (emulzija akrilnog stirena) sa dodatkom polietilenskog voska. Pogodan je za zaštitu ambalaže za prehrambenu industriju (bez direktnog kontakta sa hranom) i odlikuje se visokim sjajem i otpornošću na abraziju (Cinkarna Celje, Slovenija). Sledeći lak na vodenoj bazi (L₂) ima osnovu od akrilne emulzije bez dodatka polietilenskog voska (Cinkarna Celje, Slovenija), ali je još uvek u fazi razvoja i nije komercijalno dostupan, zato ne postoji veći broj informacija o njemu. Lak L₃ je na bazi mineralnih ulja (poliuretanska smola, nitroceluloza i plasticizeri), i odlikuje se visokim sjajem, transparentnošću i otpornošću na abraziju (Cinkarna Celje, Slovenija).

Bela boja za štampu (MS-Weiss, PRINTCOLOR, Švajcarska) u kombinaciji sa PCM mikrokapsulama je korišćena za oplemenjivanje papirnih podloga (Nevia) pomoću tehnike tampon štampe uz dodatak odgovarajućeg rastvarača (Tiflex 2881, Francuska), kako bi se obezbedio optimalan viskozitet boje prilikom štampe. Bela boja je odabrana kako bi se omogućilo lakše uočavanje narandžastih PCM mikrokapsula u oplemenjenom sloju boje.

5.1.2 Metode – preliminarni deo istraživanja

5.1.2.1 Priprema uzoraka i oplemenjivanje uzoraka mikrokapsulama

Oplemenjivanje uzoraka je vršeno korišćenjem različitih tehnika štampe (sito i tampon) kao i ručnom tehnikom premazivanja, kako bi se ispitala podobnost ovih tehnika za aplikaciju mikrokapsula, što je utvrđeno na osnovu analize stanja i kvaliteta prenetih mikrokapsula na površinu podloga za štampu.

Oplemenjivanje uzoraka tehnikom sito štampe

Uzorci od transparentne folije (A4 1/100, Apli Paper S.A.U., Španija), veličine 21 cm × 29,7 cm, su oplemenjeni tehnikom manuelne sito štampe korišćenjem sva tri prethodno navedena laka (L_1 , L_2 i L_3), mirisnim mikrokapsulama u vodenoj suspenziji i suvim mirisnim mikrokapsulama u praškastom obliku, koje su pre aplikacije pomešane sa odgovarajućim tipom laka. Priprema, odnosno mešanje kako samih lakova, tako i kombinacije mirisnih mikrokapsula i lakova radi njihove homogenizacije je vršeno pomoću HS-30D WiseStir uređaja (Witeg Labortechnik GmbH, Nemačka) i trokrake rotirajuće glave (Propeller-type 3×Bladed) u trajanju od 20 minuta pri brzini od 800 obrtaja/min. Prikaz mašine za manuelnu sito štampu i specifikacija HS-30D WiseStir uređaja za mešanje mikrokapsula i lakova dati su na slici 5.1, odnosno u tabeli 5.2. Deo uzoraka je oplemenjen samo lakom bez mikrokapsula, a deo lakom sa mikrokapsulama (masena koncentracija mikrokapsula u laku je bila 1%). Korišćeno je sito gustine tkanja od 62 niti/cm, sa prečnikom niti od 64 μm i zategnutošću od 15 N i aluminijumskim ramom, i silikonski rakel nož (oštrog profila, tvrdoće 15° Shore A). Foto emulzija za izradu šablona je ručno primenjena u dva sloja, a štampajuć elementi su bili kvadratni otvori na situ dimenzija 4 cm × 4 cm. Posle mešanja, lakovi kao i lakovi sa mikrokapsulama su pomoću pipete naneti na površinu pripremljenog sita, a otisci su izrađeni ručnim povlačenjem rakela. Za potrebe daljih analiza uzorci su isečeni na dimenzije 5 cm × 5 cm. Svi uzorci su oplemenjeni sa jednim prolazom, tj. sa jednim slojem laka. Nakon oplemenjivanja, svi uzorci su se sušili 24 časa na sobnoj temperaturi (25 °C, 55% relativne vlažnosti vazduha; LED Termohigrometar, RWT-291B, Realwayto, Kina).



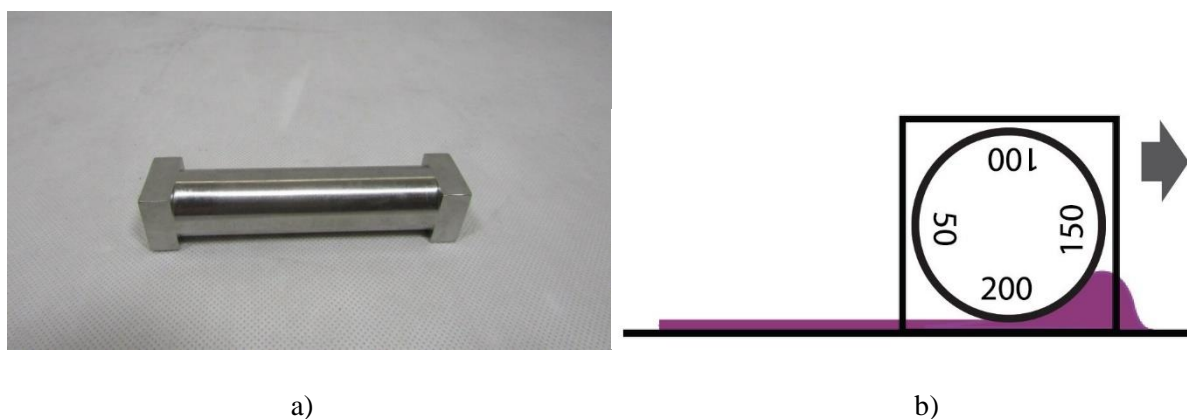
Slika 5.1. Izgled mašine za manuelnu sito štampu (DHgate, 2019)

Tabela 5.2. Tehničke karakteristike HS-30D WiseStir uređaja za mešanje mikrokapsula i lakova (Witeg Labortechnik GmbH, n.d.)

Kapacitet (H₂O)		maks. 10 l
Maksimalna viskoznost		10.000 mPa·s
Snaga motora (ulaz/izlaz)		83/75 W (1/10 HP)
Maksimalni obrtni moment		85 N·cm
Maksimalni prečnik osovine		8 mm
Brzina		od 200 do 3.000 rotacija/min
Motor		Direktno vođeni motor
Displej		Digitalni LCD
Radni uslovi	Temperatura	od 0 °C do 40 °C
	vlažnost vazduha	maks. 80%
Zaštitni uređaj		zaštita motora od preopterećenja i pregrevanja
Dimenzije (š × d × v)		90 mm × 140 mm × 180 mm
Masa		4,5 kg
Potrošnja struje		75 W
Napajanje		AC 230 V, 50/60 Hz

Oplemenjivanje uzoraka ručnom tehnikom premazivanja

Uzorci izrađeni od transparentne folije su takođe oplemenjeni i pomoću alata za manuelni postupak premazivanja (BYK 4-sided applicator, Nemačka) koji omogućava maksimalnu debljinu sloja laka od 200 µm koja je i korišćena, slika 5.2. Kao i kod postupka oplemenjivanja sito tehnikom štampe i ovde je nanešen samo jedan sloj laka na podlogu za štampu. Izrađena su dva seta uzoraka, jedan samo sa lakvima a drugi set sa kombinacijom lakova i odgovarajućih mikrokapsula u masenoj koncentraciji od 1%. Uzorci su sušeni na isti način kao i u slučaju uzoraka oplemenjenih sito tehnikom (24 časa, 25 °C, 55% relativne vlažnosti vazduha; LED Termohigrometar, RWT-291B, Realwayto, Kina).



Slika 5.2. Prikaz: a) alata za manuelno premazivanje BYK 4-sided applicator (Nemačka) i b) principa oplemenjivanja ovim alatom

Oplemenjivanje uzoraka tehnikom tampon štampe

Oplemenjivanje papirnih uzoraka (Nevia) je vršeno pomoću indirektno duboke štampe, tj. tampon štampom. Korišćena je polu-automatska, jednobojna mašina za tampon štampu TICP 1-1010 (TSH Printer LTD GmbH, Švajcarska/Nemačka) sa otvorenim sistemom za boju i tamponom kružnog oblika veličine \varnothing 10 cm, slika 5.3. Pritisak tampon/štamparna forma i tampon/podloga za štampu bio je jednak (podešavanje pritiska na mašini je iznosilo 5,5 bar). Kao uzorci za oplemenjivanje, korišćene su dve različite podloge za štampu od papira (Nevia, tabela 5.1) koje su prethodno isečene na dimenzije 10 cm \times 10 cm, što je i maksimalan format podloge za štampu na ovoj mašini. PCM mikrokapsule su pomešane sa belom bojom (MS-Weiss, PRINTCOLOR, Švajcarska; razređivač Tiflex 2881, Francuska) na isti način kao i u slučaju mešanja lakova i mirisnih mikrokapsula. Štampana su dva seta uzoraka, jedan samo sa bojom i drugi set sa kombinacijom boje i PCM mikrokapsula u masenoj koncentraciji od 10%. Uzorci su sušeni na sobnoj temperaturi u trajanju od 24 časa (25 °C, 55% relativne vlažnosti vazduha; LED Termohigrometar, RWT-291B, Realwayto, Kina). U tabeli 5.3 su predstavljene osnovne karakteristike korišćene mašine za tampon štampu.

Korišćena štamparska forma za tampon štampu bila je Nyloprint WS 0.73 (FlintGroup, Luksemburg) koja se sastoji od čelične baze, fotoosetljivog fotopolimernog sloja i zaštitne folije (tvrdoća ploče je 77 Shore D), a razvijanje je vršeno u vodi. Kao uređaj za izradu štamparske forme za tampon štampu korišćen je Nyloprint CW 22 \times 30 Kombi (BASF, Nemačka). Osvetljavanje ploče je vršeno pomoću pozitiv filma ($D_{\min}=0,185$ i $D_{\max}=4,372$) u trajanju od 80 sekundi kako bi se generisali štampani i neštampani elementi (intenzitet UV lampi 12.7 mW/cm²), a rasterski film linijature 200 lpi je korišćen za naknadno osvetljavanje ploče kako bi se definisala dubina štampanih elemenata. Za osvetljavanje štamparske ploče raster filmom korišćena su dva vremenska intervala kako bi se dobile različite dubine štampanih elemenata, a time i različite debljine odštampanog sloja boje na otiscima (20 sekundi – R20 dublje puno tonsko polje; 60 sekundi – R60 pliće puno tonsko polje). Razvijanje ploče je vršeno u trajanju od 160 sekundi u vodi temperature 30 °C, dok je sušenje ploče na toplom vazduhu trajalo 10 min na 60 °C. Gotova štamparska forma za tampon štampu se sastojala od dve pune tonske površine veličine 3 cm \times 2 cm (R20 i R60) različite dubine i pet linijskih elemenata širina: 0,5 pt, 1 pt, 2 pt, 3 pt i 4 pt.



Slika 5.3. Izgled korišćene mašine za tampon štampu (Centropapir Plus d.o.o., n.d.)

Tabela 5.3. Osnovne tehničke karakteristike korišćene mašine za tampon štampu

Funkcija	Jednobojna mašina
Konfiguracija	Otvoren sistem
Veličina klišea	100 mm × 100 mm
Prečnik nanosa boje	70 mm
Sila pritiska	420 N (43 kg)
Brzina	2.050 otisaka/sat
Radni pritisak	6 bara
Napajanje	220 V, 50-60 Hz, 30W
Dimenzije (š × d × v)	560 mm × 330 mm × 530 mm
Masa	45 kg

Oplemenjivanje uzoraka tehnikom ofset štampe

Za oplemenjivanje transparentne folije (A4 1/100, Apli Paper S.A.U., Španija) korišćena je i ofset tehnika štampe, odnosno uređaj za probni otisak koji radi na principu tehnike ofset štampe (Prüfbau Multipurpose Printability Testing Instrument MZ II, Nemačka), slika 5.4. Prüfbau uređaj u potpunosti simulira proces oplemenjivanja lakom pomoću standardnog ofset štamparskog agregata i omogućava štampu velikog broja podloga korišćenjem različitih vrsta boja i specijalnih funkcionalnih premaza različitog sastava (Liu, i drugi, 2014; Guillaume, i drugi, 1993; Haenen, i drugi, 2007; Berckmans, i drugi, 2008; Henderson, i drugi, 2006; Plazonic, i drugi, 2016; Ono, i drugi, 2002). Ovaj laboratorijski uređaj za štampu se najčešće koristi za testiranje papira ili boja za ofset štampu, kao i njihove interakcije i omogućava veoma kvalitetan otisak uz dobru ponovljivost, potpuno simulirajući kako fizičko-hemijske pojave koje se odvijaju u toku štampe, tako i sve druge aspekte procesa ofset štampe (Hsieh, 1993; Gomez, i drugi, 2016; Prüfbau, 2016a). Iako u postupku štampe ne postoji emulzija boja-voda (kod sistema bez jedinice za vlaženje), što dovodi do diskontinualnog transfera boje, kao i pokrivanja samo male površine uzorka bojom, otisci štampani ovim uređajem daju dobru indicaciju ponašanja boje i podloge za štampu (Hoc, 2005).



Slika 5.4. Izgled Prüfbau uređaja za test štampu u laboratorijskim uslovima

Osnovu Prüfbau uređaja čine dva spregnuta, rotirajuća valjka (metalni i gumeni, od kojih metalni pored rotirajućeg vrši i aksijalno kretanje) koja služe za razribavanje, odnosno dobijanje tankog sloja boje ili laka, uniformne debljine, kao i naknadnog prenosa boje ili laka na mali međuprenosni cilindar (koji poseduje gumenu navlaku). Kada se na površini međuprenosnog cilindra formira sloj boje ili laka dovoljne debljine, skida se i postavlja na gornji segment uređaja. Test uzorak se zatim vodi kroz kontaktnu zonu štampe pri konstantnoj brzini, gde se međuprenosni cilindar dovodi u kontakt sa pripremljenim uzorkom usled čega se ostvaruje otisak. U jedinici za štampu se mogu podešavati različiti nivoi štamparskog pritiska kao i brzina štampe. Mali međuprenosni cilindri koji se koriste za transfer boje na podlogu su izrađeni od lakog metala (64 mm prečnik, širina 40 mm) i presvučeni su nekompresibilnom ofset gumenom navlakom (tvrdoće između 75° i 85° Shore A) (SCAN-P 36:02, 2002; 78:02, 2002; 79:02, 2002). Za oplemenjivanje uzoraka transparentne folije pomoću Prüfbau uređaja, korišćen je L₁ lak i mirisne mikrokapsule u vodenoj suspenziji u različitim masenim koncentracijama u laku (0%, 1% i 15%). Mešanje laka i mirisnih mikrokapsula je obavljeno pomoću prethodno predstavljenog uređaja, u trajanju od 20 minuta. Za svaki oplemenjeni otisak je odmereno 8 cm³ laka (ili mešavine laka i mikrokapsula), a valjci (metalni i gumeni) su podešeni na 10 obrtaja kako bi se lak ravnomerno preneo na međuprenosni cilindar. Štamparski pritisak je bio podešen na 150 N/cm³ uz brzinu štampe od 1 m/s; sušenje uzoraka (24 časa, 25 °C, 55% rel. vlaž. vaz.; LED Termohigrometar, RWT-291B, Realwayto, Kina).

5.1.2.2 Karakterizacija materijala i oplemenjenih otisaka

Karakterizacija mikrokapsula

Karakterizacija upotrebljenih mikrokapsula u preliminarnom delu istraživanja je obuhvatala analizu morfoloških osobina mikrokapsula, određivanje prosečne veličine mikrokapsula kao i njihove distribucije veličina i zapremina, koristeći SEM mikroskop za dobijanje SEM slika (JSM 6060 LV, Jeol, Japan), slika 5.5a.

Za određivanje veličina i distribucije veličina i zapremina upotrebljenih mikrokapsula, korišćene su SEM slike različitih uveličanja kao i ImageJ softver za digitalnu analizu slike (ImageJ, 2004), a merenja su sprovedena na bazi 500 merenja (uzorkovanih mikrokapsula). Uzorci sa mikrokapsulama su pripremljeni, odnosno napareni prema standardnoj proceduri (debljina apliciranog sloja zlata pri naparavanju 9,2 nm; trajanje naparavanja 90 sekundi; primenjeni intenzitet električne struje od 130 mA), slika 5.5 b (JFC 1300 Auto Fine Coater, Jeol, Japan). Tehničke karakteristike navedenih uređaja su date u tabelama 5.4 i 5.5.



a)



b)

Slika 5.5. Izgled: a) SEM mikroskopa za morfološku analizu mikrokapsula i oplemenjenih otisaka (JSM 6060 LV, Jeol, Japan) i b) uređaj za pripremu uzoraka za SEM analizu (JFC 1300 Auto Fine Coater, Jeol, Japan)

Tabela 5.4. Tehničke karakteristike SEM mikroskopa JSM 6460 LV (NTF, n.d.)

Rezolucija (visok vakuum)	2 nm (30 kV), 15 nm (1 kV)
Rezolucija (nizak vakuum)	3 nm
Uvećanje	od 8× do 300.000×
Slika	sekundarni elektroni (SEI)
	sastav, topografija, senčenje (BEI)
Napon ubrzanja	od 0,5 kV do 30 kV
Jačina izbijanja elektrona	od 1 pA do 100 nA
Filament	W, fabrički centriran
Kondenzatorska sočiva	tip Zoom
Sočivo objektiva	super konični tip
Goniometrijski merni otvor	eucentrični tip
X – Y	od 20 mm do 10 mm
Z	od 5 mm do 48 mm
Nagib	od –10° do 90°
Rotacija	360°

Tabela 5.5. Tehničke karakteristike uređaja za pripremu uzoraka za SEM analizu JFC 1300 Auto Fine Coater (CEKSM, n.d.)

Funkcija	fino površinsko oslojavanje nemetalnih i uzoraka koji ne provode el. struju za naknadnu SEM analizu
Metali za oslojavanje	Au, Ag, Pt, Pt legure, Au/Pt
Vreme naparavanja	podesivo

Karakterizacija podloga za štampu i oplemenjenih uzoraka mirisnim mikrokapsulama

Prethodno navedene podloge za štampu su podvrgnute analizi njihovih osnovnih fizičkih, morfoloških i optičkih karakteristika. Fizičke osobine koje su analizirane su gramatura (Mettler AE200 analitička vaga (ISO 536, 2012) i debljina (Mitutoyo Absolute, Japan; slika 5.6) (SIST EN ISO 5084, 1996). Morfološke karakteristike oplemenjenih i neoplemenjenih površina su određene na osnovu SEM slika pomoću prethodno predstavljenog SEM mikroskopa (JSM 6060 LV, Jeol, Japan) korišćenjem različitih uvećanja. Optičke karakteristike podloga za štampu kao što su belina/žutoća i boja (CIE L*a*b* vrednosti) s jedne strane, kao i optička gustina (u slučaju transparentne podloge za štampu), s druge strane, određene su pomoću spektrodensitometra SpectroDens (Techkon, Nemačka) i Vipdens150 (Viptronic, Nemačka) mernim uređajem, respektivno. Takođe, SpectroDens uređajem su određene optičke karakteristike štampanih i oplemenjenih otisaka tampon tehnikom, kao što su relativna spektralna refleksija i CIE L*a*b* vrednosti, za naknadni proračun razlika u boji (ΔE_{ab}^*). Na slici 5.7 su predstavljeni SpectroDens i Vipdens150 merni instrumenti, a u tabelama 5.6 i 5.7 su date njihove tehničke karakteristike, respektivno.



Slika 5.6. Izgled korišćenog uređaja za merenje debljine uzoraka



a)



b)

Slika 5.7. Izgled: a) SpectroDens (Techkon, Nemačka) (offsetprintinginks, 2012) i b) Vipdens150 (Viptronic, Nemačka) mernog uređaja (Viptronic, n.d.)

Tabela 5.6. Tehničke karakteristike Spectrodens uređaja (Techkon, Nemačka)

Geometrija merenja	0/45° optika prema DIN 5033
Spektralni opseg	od 400 nm do 700 nm sa korakom od 10 nm
Veličina mernog otvora	3 mm standardnog kružnog oblika opciono: 1,5 mm × 1,5 mm 2,5 mm × 1 mm 3 mm kružni sa UV-Cut filterom
Izvor svetla	Lampa sa plemenitim gasom, tip A iluminanta
Polarizacioni filter	Dvostruko ukršten; uključivanje i isključivanje po potrebi
Illuminanti/Standardni posmatrač	A, C, D50, D65 / 2°, 10°
Filteri za optičku gustinu	DIN 16536, DIN 16536 NB, ISO/ANSI T, ISO/ANSI I, ISO E, D _{max}
Ponovljivost	0,01 D 0,03 CIE ΔE _{ab} *
Među-instrumentalno podudaranje	0,01 D 0,3 CIE ΔE _{ab} *

Tabela 5.7. Tehničke karakteristike Vipdens150 mernog uređaja (Viptronic, Nemačka)

Merni opseg optičke gustine	od 0,00 D do 6,00 D
Vreme merenja	0,9 s
Veličina mernog otvora	od 1 mm do 3 mm
Broj merneja pre zamene	40.000
Ekran	LCD
Ponovljivost	+/- 0,01 D
Linearnost	+/- 0,01 D
Linearnost	+/- 0,5%
Napajanje	4 baterije
Dimenzije (š × d × v)	144 mm × 83 mm × 41 mm
Masa	470 g

U slučaju oplemenjenih otisaka dobijenih tampon štampom, ispitane su i fizičke karakteristike odštampanih linija, odnosno njihova reprodukovana debljina na otisku (0,5 pt, 1 pt, 2 pt, 3 pt i 4 pt), tj. ponašanje boje sa mikrokapsulama na primenjenim podlogama za štampu, pomoću mikroskopskih slika dobijenih digitalnim mikroskopom VT-300 Portable Digital Microscope (ViTiny, SAD) i ImageJ softvera (ImageJ, 2004). Merni uređaj VT-300 je prikazan na slici 5.8, a njegove najbitnije tehničke karakteristike su predstavljene u tabeli 5.8.



Slika 5.8. Izgled digitalnog mikroskopa VT-300 Portable Digital Microscope (Elfa Distrelec, n.d.)

Kako bi se dobile mikroskopske slike apliciranih mirisnih mikrokapsula u kombinaciji sa lakovima na transparentnoj podlozi za, pomoću kojih je predviđena naknadna analizu ponašanja, odnosno analiza njihove distribucije u sloju laka, korišćen je mikroskop BX51 System Microscope (Olympus, Japan). Na ovaj način će se omogućiti dobijanje mikroskopskih slika, tako da na aplicirane mirisne mikrokapsule neće biti vidljive samo na površini oplemenjenih uzoraka, već i u samom sloju apliciranog laka. Na slici 5.9 je prikazan korišćeni mikroskop, a u tabeli 5.9 su predstavljene njegove najbitnije tehničke karakteristike.

Tabela 5.8. Tehničke karakteristike VT-300 digitalnog mikroskopa (GWJ Co., 2018)

Uvećanje	od 10× do 200×
Optičko uvećanje	od 10× do 40×
Digitalno uvećanje	5×
TFT LCD ekran	320 px × 240 px
Sočiva i CMOS senzor	2 Mpx
Foto rezolucija	1600 px × 1200 px, JPG fajl
AC adapter	od 100 V do 240 V, 50/60 Hz
Svetlosni izvor	4 bele LED diode
Dimenzije (d × š × v)	121 mm × 56 mm × 26 mm



Slika 5.9. Izgled korišćenog konfokalnog mikroskopa (Olympus, n.d.)

Tabela 5.9. Najbitnije tehničke karakteristike korišćenog BX51 System mikroskopa (Olympus, n.d.)

Uvećanje	od 50× do 1000×
Maksimalna rezolucija	170 Lp/mm
Osvetljenje	12 V, 100 W halogen LED indikator za intenzitet osvetljenja
Filtri	LBD-IF, ND6

5.2 Glavni deo istraživanja

U glavnom delu istraživanja ispitan je uticaj različitih tipova lakova i koncentracija mirisnih mikrokapsula (u vodenoj suspenziji) u njima, kao i uticaj primenjenih tehnika za oplemenjivanje na različite fizičke, mehaničke, optičke i funkcionalne karakteristike oplemenjenih površina lakovima i mirisnim mikrokapsulama. Obzirom da je osnova ovog istraživanja detaljna karakterizacija oplemenjenih otisaka mirisnim mikrokapsulama, uzorci su podvrgnuti različitim analizama kako bi se stekao uvid u stanje i ponašanje apliciranih mikrokapsula na različitim podlogama za štampu, kao i informacije vezane za ponašanje ovih funkcionalnih premaza u procesu eksploatacije. U ovom segmentu rada su predstavljeni korišćeni materijali i tehnike za štampu i oplemenjivanje uzoraka mirisnim mikrokapsulama, kao i metode i merni uređaji za karakterizaciju korišćenih materijala i oplemenjenih otisaka mirisnim mikrokapsulama.

5.2.1 Materijali – glavni deo istraživanja

5.2.1.1 Mikrokapsule

U glavnom delu istraživanja za oplemenjivanje uzoraka su se koristile mirisne mikrokapsule u vodenoj suspenziji, koje imaju jedno jezgro i enkapsuliraju različita esencijalnih ulja sa mirisima žalfije, ruzmarina i lavande (Melamin, Slovenija). Ove mirisne mikrokapsule su proizvedene tehnikom modifikovane „in situ“ polimerizacije na isti način kao što je to opisano u poglavlju 5.1.1.1, jedina razlika između mirisnih mikrokapsula korišćenih u preliminarnom i glavnom istraživanju je rezultujuća veličina mikrokapsula, što je predstavljeno u nastavku, u delu doktorske disertacije „6. Rezultati“.

5.2.1.2 Podloge za štampu

U istraživanju su se za štampu i naknadno oplemenjivanje mirisnim mikrokapsulama koristile dve vrste premaznih papira kao podloge za štampu, standardni sjajni i mat premazni papiri (GardaGloss Art i GardaMatt Art, Lecta, Španija) koji su namenjeni za štampu ofset tehnikom. Posle ofset štampe, uzorci će se oplemenjivati, odnosno lakirati različitim tehnikama. U tabeli 5.10 su predstavljene osnovne karakteristike korišćenih papirnih podloga za štampu i naknadno oplemenjivanje mirisnim mikrokapsulama date od strane proizvođača.

Tabela 5.10. Osnovne karakteristike korišćenih papira (Lecta, Španija) (Lecta, n.d.)

Papir	Površinske karakteristike	Gramatura [g/m ²]	Specifična zapremina [cm ³ /g]	Debljina [μm]	CIE belina
GardaGloss Art	sjajni premazni	130	0,73	95	119,0
GardaMatt Art	mat premazni	130	0,85	111	121,3

5.2.1.3 Boje

Obzirom da je za štampu uzoraka (premaznih papira) odabrana ofset tehnika, kao jedan od dominantnih principa štampe, korišćene su Diatone® PREMIUM+ boje za štampu (Sakata inx, Japan), koje se mogu koristiti za štampu gotovo svih vrsta papira. U ponudi proizvođača postoje samo četiri procesne boje (CMYK). Ove boje sadrže soli kobalta i se veoma brzo suše. Otporne su na trljanje i pogodne za štampu

brzih poslova (montiranih na okretanje po kraćoj ivici tabaka). Takođe, one omogućavaju veći sjaj ukoliko se otisci podvrgnu sušenju u IC sušnici (za sušenje otiska koriste infra crveni deo svetlosnog spektra). Boje bi trebalo iskoristi u roku od dvanaest meseci od datuma proizvodnje boje.

U eksperimentu, odnosno za štampu odabranih papirnih podloga su korišćene dve procesne boje, cijan i magenta. U tabeli 5.11 su predstavljene osnovne karakteristike korišćenih boja za štampu date od strane proizvođača. Priložene vrednosti za otpornost na svetlost u tabeli 5.11 prate „blue wool“ skalu (1 loše, 8 odlično), dok su vrednosti za otpornost na svetlost bazirane na karakteristikama otpornosti pigmenta na svetlost (1 loše, 5 odlično).

Tabela 5.11. Karakteristike korišćenih boja za štampu (Sakata Inx Corporation, 2013)

Boja	Ton	Otpornost na svetlost	Otpornost na kiseline	Otpornost na alkalije
Diatone® PREMIUM+	cijan	8	5	5
	magenta	5	2	3

5.2.1.4 Lakovi

Za oplemenjivanje uzoraka, koji će prethodno biti štampani ofset tehnikom, koristila su se dva tipa lakova namenjenih za oplemenjivanje otisaka u ofset štampi: 1) lak na bazi vode C-375 (L₁) i 2) lak na bazi vode 2 (L₂) (Cinkarna Celje, Slovenija). To su isti lakovi koji su korišćeni i predstavljeni i u preliminarnom delu istraživanja, u poglavlju 5.1.1.3 *Lakovi i boja za oplemenjivanje*. Ovi lakovi su odabrani zbog načina aplikacije, jer su namenjeni za oplemenjivanje otisaka u tehnici ofset štampe za podloge koje se u okviru ovog postupka štampe i koriste. Lakovi L₁ i L₂ se mešaju sa mikrokapsulama u vodenoj suspenziji.

Lak na bazi vode **C-375 (L₁)** ima osnovu od stabilizovane vodene disperzije od akrilnih smola (emulzija akrilnog stirena) sa dodatkom polietilenskog voska. Namenjen je za oplemenjivanje papira i kartona i pogodan je za zaštitu ambalaže za prehrambenu industriju (bez direktnog kontakta sa hranom). Odlikuje se visokim sjajem, otpornošću na abraziju i brzim sušenjem, uz mogućnost da se sušenje dodatno ubrza pomoću IC ili sušnica koje rade na principu toplog vazduha. Preporuka je da se ovaj lak koristi za oplemenjivanje čitave površine podloge za štampu, a može se primenjivati putem jedinice za vlaženje ofset mašine za štampu, pomoću specijalne jedinice za lakiranje unutar mašine ili korišćenjem posebne mašine za postupak lakiranja. U zavisnosti od načina aplikacije, količina nanosa laka može iznositi od 3 g/m² do 8 g/m². Po potrebi se može razblažiti vodom, a na površine oplemenjene ovim lakom se mogu primenjivati različiti disperzni adhezivi. Obzirom da se ovaj lak vrlo brzo suši, preporuka je da se mašina za štampu temeljno opere vodom uz eventualni dodatak odgovarajućih sredstava za pranje i to odmah nakon procesa oplemenjivanja (Cinkarna Celje, 2013).

Lak na vodenoj bazi (L₂) koji će takođe biti korišćen za oplemenjivanje otisaka je u fazi razvoja i ispitivanja, tako da nije još uvek komercijalno dostupan, pa su samim tim i informacije vezane za njegov sastav i karakteristike ograničene. Osnova L₂ laka je na bazi akrilne emulzije bez dodatka polietilenskog voska.

5.2.2 Metode – glavni deo istraživanja

U ovom segmentu rada biće predstavljeni koraci pripreme za štampu i proces ofset tabačne štampe, kao i način oplemenjivanja odabranih podloga za štampu, nakon čega će biti opisane različite tehnike i metode za određivanje specifičnih osobina materijala uključenih u proces oplemenjivanja (mikrokapsule, podloga za štampu i lakovi), karakteristika oplemenjenih otisaka sa različitim koncentracijama mirisnih mikrokapsula u lakovima, kao i merni uređaji korišćeni prilikom postupka karakterizacije.

5.2.2.1 Priprema za štampu i štampa uzoraka

Pre štampe uzoraka bilo je neophodno izraditi dve štamparske forme za cijan i magenta boju, a za to je korišćen CtP uređaj (*eng. Computer to Plate*) za oslikavanje ofset štamparskih ploča, koji koristi UV (ultravioletnu) tehnologiju oslikavanja, Luxel V-6 e (Fujifilm, Japan). Izrada štamparskih formi potrebnih za štampu (oslikavanje, razvijanje, sušenje), izvršena je prema standardnoj proceduri i specifikaciji proizvođača, a koja se koristi i u slučaju produkcione štampe. U tabeli 5.12 su dati tehničke karakteristike korišćenog CtP uređaja, dok su najbitnije informacije o Libra VP digitalnoj štamparskoj ploči (Kodak, SAD) korišćenju za postupak ofset štampe, predstavljene u tabeli 5.13.

Tabela 5.12. Tehničke karakteristike Luxel V-6 e CtP uređaja (Fujifilm, n.d.)

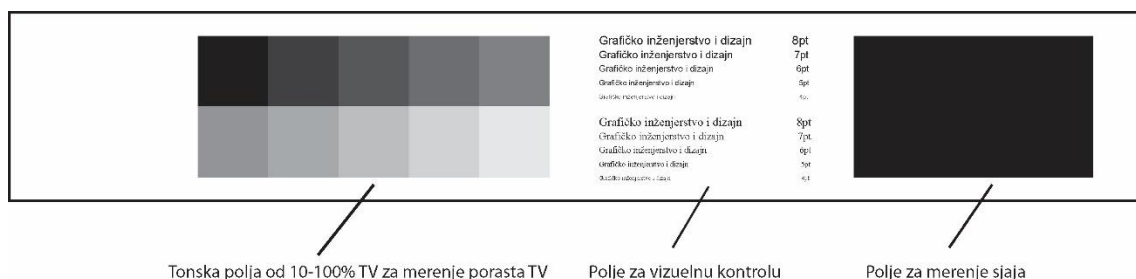
Oslikavanje	ultravioletna laserska tehnologija/ laser @ 405 nm			
Ulaganje ploča	ručno, jedna ploča			
Debljina ploče	0,15 mm	0,20 mm	0,24 mm	0,30 mm
Max. veličina ploče	525 × 459 mm	765 × 686 mm	765 × 686 mm	765 × 686 mm
Min. veličina ploče	350 × 350 mm	350 × 350 mm	410 × 410 mm	410 × 410 mm
Produktivnost	10 (2400 dpi) [ploča/h]		14 (1200 dpi) [ploča/h]	
Rezolucija	1200, 1219, 1270, 2400, 2438, 2540, 3600, 3657 dpi			
Rastriranje	Fujifilm TAFFETA FM, Co-Res Screening			
Optimalni uslovi okruženja	temp. od 18 °C do 29 °C; vlažnost vaz: od 20% do 70%			
Masa uređaja	620 kg			

Tabela 5.13. Tehničke karakteristike Libra VP digitalne štamparske ploče (Kodak, 2017)

Ploča	negativ, digitalna ultravioletna fotopolimerna
Osnova	elektrohemijski zrnčan i anodiziran aluminijumski lim
Debljina	0,15 mm, 0,20 mm i 0,30 mm
Zaštitno svetlo	žuto svetlo prilikom manuelne manipulacije pločama
Kompatibilnost	Kompatibilna za većinu dostupnih CtP sistema ultravioletne tehnologije
Spektralna osetljivost	405 nm
Potrebna laserska energija	od 30 $\mu\text{J}/\text{cm}^2$ do 50 $\mu\text{J}/\text{cm}^2$
Rezolucija	od 2% do 98%, 200 lpi
Procesor	KODAK MERCURY P-HD Plate (kompatibilan sa ostalim konvencionalnim procesorima za violet fotopolimerne štamparske ploče)
Razvijač	KODAK LIBRA Clean-Out Finisher, KODAK 850S Plate Finisher
Potrošnja razvijača	do 25 m^2/l
Maksimalni tiraž	do 250.000 otisaka

Pre izrade štamparskih formi za štampu uzoraka, napravljena je test karta sa kontrolnim elementima od interesa koji su naknadno kontrolisani različitim metodama i mernim uređajima, što će biti opisano u nastavku. Kao što je već navedeno test karta (dimenzija 24 cm \times 4 cm) je štampana tehnikom ofset štampe na uzorcima od premaznih papira, a sadržala je tri segmenta, slika 5.10:

- 1) polja različitih tonskih vrednosti (od 10% do 100% tonske vrednosti – TV),
- 2) polje za vizuelnu i kontrolu digitalnom analizom slike (tekstualni elementi različite gradacije i familije fonta – ovo polje nije obuhvaćeno testiranjem u doktorskoj disertaciji),
- 3) polje punog tona za merenje sjaja.



Slika 5.10. Izgled korišćene test karte za tehniku ofset štampu

Karakteristike mašine za ofset tabačnu štampu uzoraka

Svi uzorci, odnosno odabrane podloge za štampu su štampane tehnikom ofset tabačne štampe, pomoću četvorbojne Performa 74 štamparske mašine (KBA, Nemačka). Korišćena mašina za štampu je prikazana na slici 5.11, a njene tehničke karakteristike, kao i upotrebljeni parametri prilikom procesa štampe su predstavljeni u tabeli 5.14. Prethodno predstavljena test karta je montirana na B₂ format tabaka za štampu, tako da je po tabaku odštampano ukupno 34 uzorka, a štampa je izvršena u proizvodnim uslovima. Kao što je prethodno navedeno, uzorci su štampani pomoću dve procesne boje, cijana i magente.



Slika 5.11. Izgled mašine za ofset tabačnu štampu KBA Performa 74

Tabela 5.14. Osnovne tehničke karakteristike KBA Performa 74 tabačne, ofset mašine za štampu (KBA-Grafitec, 2006)

Maksimalna veličina tabaka	740 mm × 520 mm
Minimalna veličina tabaka	330 mm × 330 mm
Maksimalna površina štampe	510 mm × 735 mm
Broj boja	4
Korišćeni format tabaka za štampu	700 mm × 500 mm (B ₂)
Max. brzina štampe	13.000 otisaka/čas
Korišćena brzina štampe	8.000 otisaka/čas
Debljine podloga za štampu	od 0,05 mm do 0,6 mm
Mogućnost dodatne jedinice za sušenje	IC sušenje
Vlaženje	upotreba izopropil alkohola
Veličina štamparske forme	575 mm × 740 mm
Debljina štamparske forme	od 0,2 mm do 0,3 mm
Debljina omotača međuprenosnog cilindra	1,95 mm
Visina naslage u jedinici za ulaganje tabaka	840 mm
Visina naslage u jedinici za izlaganje tabaka	920 mm

5.2.2.2 Oplemenjivanje uzoraka

Za realizaciju procesa oplemenjivanja otisaka lakovima bez i sa dodatkom mirisnih mikrokapsula u njima, u istraživanju su korišćene dve tehnike:

- tehnika flekso štampe i
- automatska tehnika premazivanja.

Oplemenjivanje otisaka u tehnici ofset štampe se najčešće izvodi pomoću specijalne jedinice za lakiranje, koja se nalazi u okviru mašine za štampu, a funkcioniše na principu tehnike visoke, odnosno tehnike flekso štampe. Obzirom da je ovo dominantan način oplemenjivanja koji se koristi u produkcionim uslovima štampe, odabrana je upravo ova tehnika za oplemenjivanje prethodno štampanih otisaka tehnikom ofset štampe. Uređaj koji je korišćen za postupak oplemenjivanja je IGT F1 Basic High (IGT Testing Systems, Holandija), koji potpuno simulira proces oplemenjivanja lakom pomoću specijalne jedinice za lakiranje unutar ofset štamparske mašine, slika 5.12. Oplemenjivanje uzoraka na ovaj način, u laboratorijskim uslovima, omogućava brži i ekonomičniji postupak u odnosu na štampu na produkcionoj štamparskoj mašini, dobar i ponovljiv kvalitet otisaka (IGT Testing Systems, 2016; Anon, n.d.; Prüfbau, 2016a), zato što ovakvi uređaji u potpunosti oponašaju sve aspekte tehnike štampe za koju su namenjeni (Prüfbau, 2016a; IGT Testing Systems, 2016). Kod navedenog uređaja za oplemenjivanje, lak se prenosi direktno na podlogu za štampu sa cilindra nosioca štamparske forme (meka štamparska forma, najčešće leterpres ili fleksografska štamparska forma), na koju se lak prethodno nanosi pomoću tvrdog, raster valjka (Kipphan, 2001). U tabeli 5.15 su date tehničke karakteristike IGT F1 Basic High uređaja (IGT Testing Systems, Holandija), kao i korišćeni parametri za proces oplemenjivanja.



Slika 5.12. Izgled IGT F1 Basic High uređaja za oplemenjivanje otisaka

Kao štamparska forma za oplemenjivanje otisaka, korišćena je konvencionalna fotopolimerna štamparska forma Nyloflex FAH 114 (Flint Group, Luksemburg), a za obradu ploče tj. njenu konverziju u štamparsku formu, upotrebljen je Nyloflex Combi F1 Super uređaj (Flint Group, Luksemburg). On poseduje sve neophodne jedinice za procesnu izradu konvencionalnih flekso štamparskih formi kao što

su: jedinica za osvetljavanje, „in-line“ jedinica za razvijanje ploče (Nylosolv razvijlač), jedinice za sušenje ploče, jedinica za naknadno osvetljavanje (Flint Group, 2016). Na slici 5.13 je prikazan korišćeni uređaj za izradu štamparskih formi, a u tabeli 5.16 su predstavljene njene tehničke karakteristike kao i primenjeni, standardni procesni parametri za izradu štamparske forme koje propisuje proizvođač. Za oplemenjivanje otisaka flekso tehnikom štampe korišćene su četiri različite masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u lakovima (0%, 1%, 7% i 15%).

Tabela 5.15. Specifikacija IGT F1 Basic High uređaja i korišćeni parametri u postupku oplemenjivanja (IGT Testing Systems, 2016)

Širina štampe		40 mm
Dužina štampe		2 × 190 mm
Veličina uzorka za oplemenjivanje		45 mm × 750 mm
Brzina štampe		0,3 m/s, 0,6 m/s, 0,9 m/s
Sila raster valjka		100 N, 200 N, 300 N
Maksimalna debljina podloge za štampu		4 mm
Mogućnost duboke štampe		Ne
Primenjena sila raster valjka		200 N
Štamparski pritisak		100 N
Brzina štampe		0,30 m/s
Broj revolucija		1
Karakteristike raster valjka	linijatura	90 l/cm
	ugao graviranja	60°
	specifičan volumen	18 ml/m ²



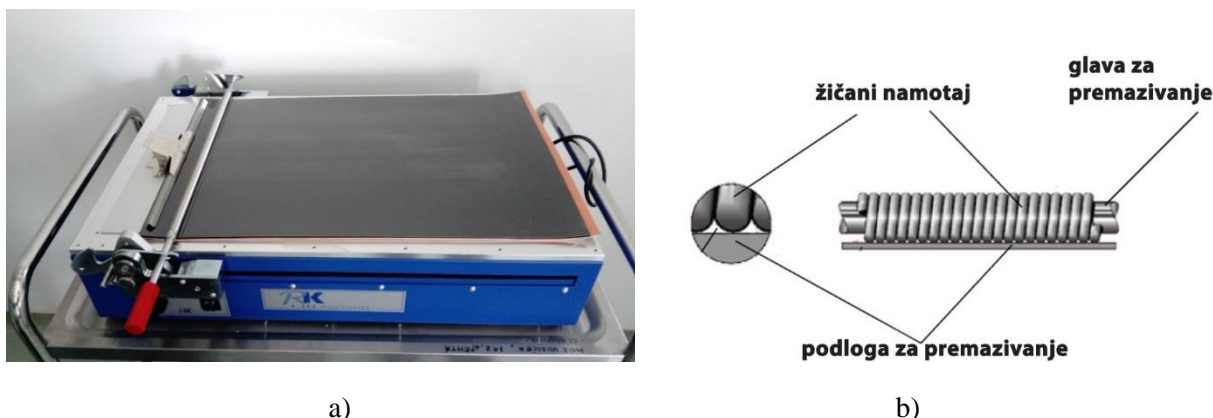
Slika 5.13. Izgled Nyloflex Combi F1 Super uređaja za izradu flekso štamparskih formi

Druga tehnika koja je upotrebljena za proces oplemenjivanja otisaka je automatska tehnika premazivanja, a korišćeni uređaj za ovu namenu je automatski uređaj za premazivanje K303 Multi Coater (RK PrintCoat Instruments Ltd, UK). Za razliku od ručne tehnike premazivanja koja je korišćena u preliminarnom delu istraživanja, ovaj uređaj obezbeđuje uniformne uslove procesa premazivanja, odnosno primenu identične brzine kao i sile premazivanja prilikom svakog narednog prolaza, odnosno pri svakom pojedinačnom otisku. Navedeni uređaj omogućava precizne otiske ponovljivog kvaliteta na različitim podlogama za štampu, kao i korišćenje različitih glava (*eng. rod*) za premazivanje koje daju različite debljine nanosa laka na podlozi za štampu. Uz odgovarajuće dodatne jedinice koje se mogu montirati na osnovnu izvedbu, ovaj uređaj omogućava simulaciju različitih tehnika štampe (duboka, flekso štampa) (RK PrintCoat Instruments Ltd., n.d.).

Tabela 5.16. Tehničke karakteristike uređaja za izradu flekso štamparskih formi (Flexo-Technic Handel GmbH, 2008)

Maksimalna veličina ploče	46 cm × 62 cm
Dimenzije (d × š × v)	240 cm × 120 cm × 118 cm
Masa	400 kg
Napajanje	3,5 kW
Predosvetljavanje	30 s
Glavno osvetljavanje	15 min
Brzina razvijanja	od 160 mm/min do 180 mm/min
Sušenje	120 min na 65 °C
Naknadno UV-A osvetljavanje	10 min
Naknadno UV-C osvetljavanje	15 min

Na slici 5.14a je predstavljen uređaj za automatsko premazivanje K303 Multi Coater (RK PrintCoat Instruments Ltd, UK), a na slici 5.14b izgled glave za premazivanje. U tabeli 5.17 su date tehničke karakteristike korišćenog uređaja kao i primenjene vrednosti parametara za proces premazivanja. I u ovom, kao i u slučaju oplemenjivanja otisaka flekso tehnikom štampe, korišćene su četiri različite masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u lakovima (0%, 1%, 7% i 15%). Otisci oplemenjeni pomoću obe tehnike (flekso tehnika štampe i automatska tehnika premazivanja), naknadno su se sušili na isti način, 24 časa na sobnoj temperaturi (25 °C, 55% rel. vlaž. vaz.; LED Termohigrometar, RWT-291B, Realwayto, Kina)



Slika 5.14. Izgled: a) RK automatskog uređaja za oplemenjivanje (premazivanje) otisaka i b) glave za premazivanje

Tabela 5.17. Specifikacija automatskog uređaja za premazivanje K303 Multi Coater i korišćena podešavanja za proces oplemenjivanja (American laboratory trading, 2018)

Maksimalna površina premazivanja	350 mm × 440 mm
Brzina premazivanja	od 1 m/min do 39 m/min
Dimenzije osnove uređaja	700 × 420 mm
Masa uređaja	42 kg
Napajanje	200/230 V ili 100/115 V
Korišćena glava za premazivanje (Rod 2)	12 μm (debljina vlažnog otiska)
Dijametar žice korišćene glave za premazivanje	0,15 mm
Korišćena brzina premazivanja	8 m/min

5.2.3 Karakterizacija mikrokapsula

Za karakterizaciju mikrokapsula će se, kao i u preliminarnom delu istraživanja, koristiti SEM mikroskopija za dobijanje SEM slika pomoću kojih će se analizirati morfološke osobine korišćenih mikrokapsula pomoću iste merne opreme kao i uslova merenja (SEM JSM 6060 LV i JFC 1300 Auto Fine Coater, Jeol, Japan), slika 5.5 i tabela 5.4 i 5.5. Na isti način je određena prosečna veličina, distribucija veličina i zapremina mikrokapsula, pomoću SEM slika i ImageJ softvera za digitalnu analizu slike (ImageJ, 2004). Određivanje prečnika, odnosno veličine mikrokapsula je sprovedeno na bazi 500 merenja na SEM slikama različitih uveličanja. Prilikom proračuna zapreminske distribucije, oblik uzorkovanih mikrokapsula je aproksimiran oblikom geometrijskog tela lopte.

Takođe, analizirane su i osobine oslobađanja aktivne materije iz mikrokapsula prema testu Šumige (2013). Suspenzija mirisnih mikrokapsula je dodata u aluminijumsku posudu (5 × 7 cm), koja je zatim postavljena u sušnicu (Binder FED 53-UL Forced Convection Drying Oven, Binder, Germany) na 135 °C, 180 minuta. Nakon svakih 30 minuta, uzorcima je izmerena masa pomoću analitičke vage, i zatim su ponovo vraćeni u sušnicu. Pomoću jednačine (4), izračunata je brzina oslobađanja aktivne materije testiranih mirisnih mikrokapsula:

$$Gubitak\ mase\ [\%] = \frac{A_0 - A_n}{A_0} \cdot 100 \quad (5.1)$$

gde A_n predstavlja masu [g] mirisnih mikrokapsula posle n minuta testa oslobađanja aktivne materije ($n=60, 90, 120, 150, i\ 180$ minuta) i A_0 predstavlja masu [g] suspenzije mikrokapsula pre testa oslobađanja. Izgled korišćene sušnice je prikazan na slici 5.15, a najbitnije tehničke karakteristike u tabeli 5.18.



Slika 5.15. Izgled korišćene sušnice

Tabela 5.18. Tehničke karakteristike korišćene Binder sušnice (American laboratory trading, 2018)

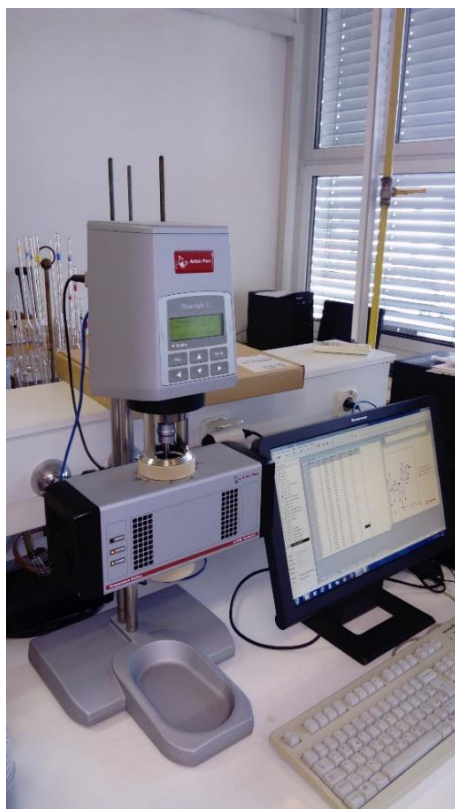
Spoljašnje dimenzije (š × v × d)	634 mm × 575 mm × 575 mm
Unutrašnje dimenzije (š × v × d)	400 mm × 400 mm × 330 mm
Broj vrata	1
Broj pregrada	od 2 do 5
Veličina izduvnog ventila	Ø 52 mm
Masa uređaja	44 kg
Dozvoljeno opterećenje	40 kg
Dozvoljeno opterećenje do pregradi	15 kg
Unutrašnja zapremina	53 l
Temperaturni opseg	od 5 °C do 300 °C
Korišćena temperatura	135 °C
Preciznost	1 °C

5.2.4 Karakterizacija lakova

U okviru karakterizacije korišćenih lakova za postupak oplemenjivanja otisaka (bez i sa različitim koncentracijama mirisnih mikrokapsula) ispitane su njihove osnovne karakteristike bitne za postupak oplemenjivanja, kao što su viskozitet (RheolabQC C-PTD 180/AIR/QC, Anton Paar, Austria), pH vrednost (pH Meter MA 5740, Iskra, Slovenia), gustina lakova (Mettler AE200 analitička vaga) površinski napon (goniometar OCA20, Dataphysics, Germany; „pendent drop method“ i plug-in za Fiji ImageJ softver) (Daerr, i drugi, 2016; ImageJ, 2004). U tabeli 5.19 su predstavljene najbitnije tehničke karakteristike kao i primenjeni parametri prilikom merenja korišćenog reometra za merenje viskoziteta lakova bez i sa različitim masenim koncentracijama mirisnih mikrokapsula u njima (0%, 1%, 7% i 15%), a na slici 5.16 je prikazan njegov izgled. Izmeren je viskozitet vodene suspenzije sa mikrokapsulama, viskozitet oba laka bez mikrokapsula, kao i lakova sa tri masene koncentracije mikrokapsula u njima (1%, 7% i 15%).

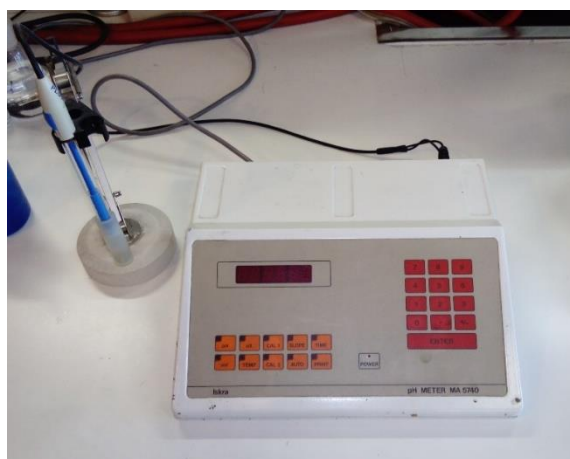
Tabela 5.19. Tehničke karakteristike korišćenog reometra (Anton Paar, n.d.)

Brzina	od 0,01 1/min do 1200 1/min
Obrtni moment	od 0,25 mN·m do 75 mN·m
Napon smicanja	od 0,5 Pa do 30.000 Pa
Opseg brzina mešanja	od 0,1 1/s do 4000 1/s
Merni opseg viskoziteta	od 1 mPa·s do 10 ⁹ mPa·s
Temperaturni opseg	od -20 °C do 180 °C
Unutrašnja ugaona rezolucija	2 µrad
Dimenzije (š × v × d) i masa	300 mm × 720 mm 350 mm; 14kg
Podešena temperatura uzorka	20 °C
Podešena dužina kondicioniranja uzorka	300 s
Podešeni broj tačaka merenja po uzorku	100
Podešena dužina pojedinačnog merenja	100 s
Podešena brzina mešanja	100 1/s



Slika 5.16. Izgled RheolabQC C-PTD 180/AIR/QC reometra (Anton Paar, Austria)

Na slici 5.17 je prikazan korišćeni uređaj za merenje pH vrednosti korišćenih lakova i kombinacije lakova i mikrokapsula. Gustina lakova, ρ [g/cm^3], je određena izračunavanjem količnika odmerene mase (pomoću analitičke vage) i zapremine lakova.



Slika 5.17. Uređaj za merenje pH vrednosti lakova

Za merenje površinskog napona lakova korišćen je Dataphysics OCA20 goniometar (DataPhysics Instruments GmbH, Nemačka) i pripadajući softver SCA20. U tabeli 5.20 su date najbitnije tehničke

karakteristike korišćenog uređaja za merenje površinskog napona lakova, na slici 5.18 je prikazan njegov izgled.

Tabela 5.20. Tehničke karakteristike korišćenog uređaja za merenje površinskog napona

Dimenzije uređaja		590 mm × 220 mm × 550 mm
Maksimalna veličina uzorka (d × š × v)		220 × ∞ × 70 mm
Dimenzije postolja za uzorke (d × š)		100 × 100 mm
Masa		19 kg
Napajanje		100 ... 240 VAC; 50 ... 60 Hz; 55 VA
Optika		6-ostruka zoom sočiva (0,7 ... 4,5 – ostruko uvećanje) sa integrisanim kontinuiranim fokusiranjem (±6 mm) <ul style="list-style-type: none"> • CCD kamera sa maksimalnom rezolucijom 752 × 576 px • vidno polje 1,75 × 1,4 ... 11,7 × 9 mm; distorzija: < 0,05%
Merenje temperature		2 × Pt100 ulaza za 60 °C – 450 °C (Pt 100 opcija), 0,1 K rezolucija, tačnost 1/3 DIN IEC 751 (±0,03%) klasa B
Specifikacije radne okoline		Temperatura: <ul style="list-style-type: none"> • radna od 0 °C do 40 °C • neradna od –10 °C do 60 °C Relativna vlažnost vazduha: <ul style="list-style-type: none"> • radna od 10% do 80% • neradna od 10% do 90%
Merne metode		<ul style="list-style-type: none"> • Sessile i Captive Drop • Tilting Plate • Pendant Drop („metod viseće kapi“) • Optical Wilhelmy Plate i Rod/Thread
Merni raspon	kontaktni ugao	od 0° do 180° (± 0,1°)
	površinski napon	10 ⁻² – 2 × 10 ³ mN/m rezolucija 0,05 mN/m

Ovaj goniometar se sastoji od automatski upravljano stola za uzorke, mernog optičkog sistema sa CCD kamerom (*eng. charged coupled device*) i jedinice za automatsko doziranje ispitivane tečnosti i omogućava statičku i dinamičku karakterizaciju međudejstva tečnosti i čvrstih predmeta, kao i merenje kontaktnog ugla različitih tečnosti (npr. sredstvo za vlaženje, štamparske boja, rastvarači, lakovi). CCD kamera omogućava snimanje kapljica testirane tečnosti koje se ispuštaju iz jedinice za automatsko doziranje (za određivanje površinskog napona) kao i snimanje kapljica koje su ostvarile kontakt sa ispitivanom podlogom (za određivanje kontaktnog ugla). Određivanje površinskog napona je vršeno pomoću metode „viseće kapi“ (*eng. pendant drop method*) korišćenjem napredne verzije ImageJ softvera, Fiji ImageJ (ImageJ, 2017) i programskog dodatka za navedeni softver, koji pomoću

informacije o obliku kapi, odnosno pomoću slike kapljice, vrši proračun površinskog napona (Daerr, i drugi, 2016). Temperatura laboratorije gde su vršena merenja je bila $23 \pm 0,5$ °C (LED Termohigrometar, RWT-291B, Realwayto, Kina).



Slika 5.18. Izgled Dataphysics OCA20 goniometra (Institute of Photonics and Electronics, 2013)

5.2.5 Karakterizacija podloge za štampu

Karakterizacija odabranih papira, kao podloga za štampu i naknadno oplemenjivanje, veoma je bitna jer osobine papira u većoj ili manjoj meri utiču na različite fizičke, mehaničke, a pogotovo na optičke osobine štampanog proizvoda. Zato su ispitane osnovne fizičke, morfološke i optičke karakteristike predstavljenih papirnih podloga za štampu. Što se tiče fizičkih karakteristika izmerene su gramatura (Mettler AE200 analitička vaga) (ISO 536, 2012) i debljina (Mitutoyo Absolute, Japan; slika 5.6) (SIST EN ISO 5084, 1996); morfološke karakteristike površine pomoću SEM slika dobijenih prethodno predstavljenim SEM mikroskopom (JSM 6060 LV, Jeol, Japan), (slika 5.5 i tabela 5.4); zatim ispitana je površinska hrapavost papirnih uzoraka pomoću AFM mikroskopije (VeeCO di CP II, Digital Instruments, SAD) kao i mikromehaničke karakteristike (Nano Indenter Agilent G200, SAD) o kojima će se detaljnije razmatrati u narednim segmentima rada „5.2.6.2 *Određivanje površinskih karakteristika oplemenjenih otisaka*“, odnosno „5.2.6.3 *Određivanje mikromehaničkih karakteristika oplemenjenih otisaka*“. Na kraju će se ispitati optičke karakteristike papira kao što su belina/žutoća i boja (CIE L*a*b* vrednosti) koje su izmerene pomoću spektrodensitometra SpectroDens (Techkon, Nemačka) (slika 5.7 i tabela 5.6).

5.2.6 Karakterizacija oplemenjenih otisaka

Kontrola kvaliteta štampanih otisaka predstavlja neizostavan deo grafičke proizvodnje kako kod konvencionalnih postupaka štampe tako i u slučaju oplemenjivanja otisaka, npr. štampom mikrokapsula. Iako je kvalitet finalnog grafičkog proizvoda gotovo isključivo vezan za vizuelni doživljaj štampanog materijala, oplemenjivanjem otisaka mikrokapsulama se pored vizuelnog i taktalnog aspekta štampanog materijala, omogućava i uključivanje mirisa korišćenjem mikroenkapsulacije eteričnih ulja (Pavić, 2015a). Međutim, uključivanje mikrokapsula u proces štampe neminovno dovodi do promena osnovnih

karakteristika štampanog materijala, zato je merenje i praćenje fizičkih, morfoloških, mehaničkih i optičkih svojstava otisaka izrađenih na ovaj način preduslov za utvrđivanje efekata različitih tipova lakova, koncentracija mirisnih mikrokapsula u njima i tehnika za oplemenjivanje, na kvalitet finalnog, štampanog proizvoda.

5.2.6.1 *Određivanje fizičkih karakteristika oplemenjenih otisaka*

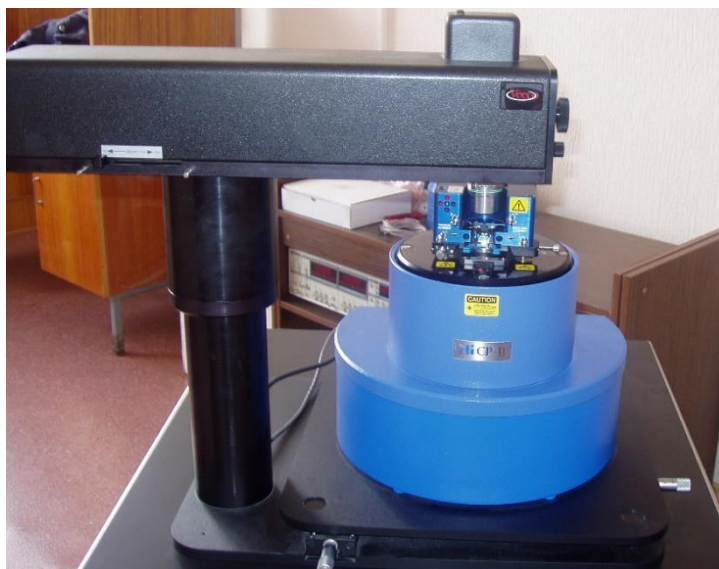
Analizirane su fizičke karakteristike štampanih i oplemenjenih uzoraka lakovima bez i sa različitim koncentracijama mikrokapsula u njima, kao što su debljina i gramatura, što je određeno na isti način, korišćenjem identične, već opisane merne opreme za karakterizaciju podloga za štampu, u skladu sa odgovarajućim standardima.

5.2.6.2 *Određivanje morfoloških karakteristika oplemenjenih otisaka*

Morfološke karakteristike štampanih i oplemenjenih površina će biti određene analizom SEM slika različitog uvećanja, dobijenih prethodno opisanim mernim uređajima.

5.2.6.3 *Određivanje površinskih karakteristika oplemenjenih otisaka*

Karakteristike površinske strukture odnosno površinske hrapavosti štampanih i oplemenjenih uzoraka (sa i bez mikrokapsula) će biti ispitane korišćenjem AFM mikroskopije (kontaktni režim rada, površina skeniranja $90 \times 90 \mu\text{m}^2$ i rezolucija $256 \times 256 \text{px}$; na bazi 3 merenja na svakom uzorku) (AFM, VeeCO di CP II, Digital Instruments, SAD), slika 5.19. U tabeli 5.21 su date najbitnije tehničke karakteristike korišćenog mernog uređaja.



Slika 5.19. Izgled korišćenog AFM mikroskopa (VeeCO di CP II, SAD)
(Riga Technical University, 2015)

Tabela 5.21. Tehničke karakteristike korišćenog AFM mikroskopa VeeCO di CP II (Karlović, 2010)

Veličina uzorka (d × š × v)	5 cm × 5 cm × 2 cm
Zatvoren ram uređaja za ispitivanje	<p>ScanMaster optika, sinhrono ispitivanje, kontrola i linearizacija u X,Y, i Z</p> <p>XY napon u opsegu: od 0 V do 400 V</p> <p>Z napon u opsegu: od 0 V do 300 V</p> <p>3 nezavisna, 20-bit, DACs za piezo kontrolu za XY i Z</p> <p>XY kontrolna rezolucija: 0,1 nm (Hi modu); 0,02 nm (Low modu)</p> <p>Z kontrolna rezolucija: 0,007 nm (Hi Mode); 0,0025 nm (Low mode)</p> <p>Z senzor šuma: manji od 1 nm (rms)</p> <p>XY senzor šuma: 6 nm (rms)</p>
Otvoren ram uređaja za ispitivanje	<p>5 μm X-Y opsega posmatranja sa =1,5 μm Z opsega;</p> <p>XY napon u oblasti : od 0 V do 400 V</p> <p>Z napon u oblasti: od 0 V do 300 V</p> <p>XY kontrolna rezolucija: 0,004 nm (Hi modu); 0,001 nm (Low modu)</p>
XY translatorno kretanje	<p>6 mm × 6 mm manualna translacija sa 2 μm rezolucije</p> <p>softverom kontrolisan stepen nagiba : od -18° do +18° (spređa ka pozadi)</p> <p>od +20° do -20° (sleva na desno)</p>
Merni vrh	<p>predugrađen ili dodat nosač sa mernim vrhom za sve neophodne operacije merenja;</p> <p>uključen univerzalni nosač čipa</p> <p>ugao glave, vrha nosača usmeren horizontalno: 11°</p>
Modovi skeniranja	<ul style="list-style-type: none"> • STM • AFM (kontaktni, beskontaktni, polukontaktne) • LFM
Optika	<p>ugao posmatranja: 90°</p> <p>kamera: CCD kamera u boji (440.000 px), Automatsko kontrolisano pojačanje</p> <p>objektivi: 10× (standard), 20× i 50×</p> <p>Radna udaljenost: 33,5 mm (10× objektiv)</p> <p>Manualni zoom : 160× – 450× (10× objektiv)</p> <p>Polje posmatranja: od 1,24 mm × 0,93 mm do 440 μm × 330 μm (10× objektiv)</p> <p>Rezolucija: 3,0 μm (10× objektiv)</p>
Elektronika	<p>do 8 akvizicionih kanala</p> <p>20-bit DACs za piezo kontrolu u X,Y i Z pravcu</p>

Korišćeni merni uređaj VeeCO di CP II omogućava merenje površinskih karakteristika materijala, grafički prikaz i obradu podataka, a pripada grupi skenirajućih mernih instrumenta sa sondom. On se sastoji od silikonske konzole sa mikroskalom i oštrog, skenirajućeg mernog vrha, koji se nalazi na kraju konzole. Merni vrh se postavlja na slobodni kraj konzole, gde sile između mernog vrha i površine uzorka izazivaju određeno savijanje konzole, što beleži detektor (Karlović, 2010). Originalne slike dobijene posle skeniranja, odnosno merenja površine će biti prilagođene i obrađene pomoću SPIP softvera (SPIP, Danska). Za karakterizaciju izmerenih uzoraka koristiće se parametri površinske hrapavosti najčešće primenjivani u literaturi: S_q , S_{sk} , S_{ku} .

5.2.6.4 Određivanje mikromehaničkih karakteristika oplemenjenih otisaka

Ispitivanjem mikromehaničkih karakteristika oplemenjenih otisaka mirisnim mikrokapsulama dobija se bitna informacija o postojanosti apliciranog funkcionalnog premaza, obzirom da korišćene mirisne mikrokapsule za oplemenjivanje podloga za štampu od papira, svoju funkcionalnost ispoljavaju primenom odgovarajuće sile pritiska, pod čijim uticajem omotač mikrokapsula puca što dovodi do oslobađanja enkapsulirane aktivne materije, tj. do oslobađanja mirisa. Za određivanje mehaničkih karakteristika korišćenih podloga za štampu, oplemenjenih otisaka lakovima bez i sa različitim koncentracijama mikrokapsula u njima, odnosno za određivanje tvrdoće, Jangovog modula elastičnosti, maksimalne deformacije i krivih napon-deformacija, korišćen je merni uređaj za nanoindentaciju (Agilent® NanoIndenter G200, Agilent® Technologies, SAD). Na slici 5.20 je prikazan korišćeni nanoindenter, a u tabeli 5.22 su date njegove najbitnije tehničke karakteristike. Karakterizacija nanoindenterom se zasniva na primeni sile visoke rezolucije na utiskivač koji se dovodi na površinu materijala, dok senzor visoke rezolucije konstantno beleži pomeraj utiskivača (deformaciju). Penetracijom utiskivača u materijal, dolazi do pojave obe: elastične i plastične deformacije, čime se formira oblik utiskivača na određenoj dubini u strukturi ispitivanog materijala. Razlika između dubine utiskivanja i izgleda materijala nakon uklanjanja utiskivača daje informaciju o elastičnim osobinama materijala (Kojić, i drugi, 2013).



Slika 5.20. Izgled korišćenog Nano Indenter Agilent G200 uređaja za nanoindentaciju (Herbert Gleiter Institute of Nanoscience, 2016)

Prilikom merenja, korišćena je Berkovič geometrija merne glave za nanoindentaciju (oblika trostrane piramide), koja je uobičajena za merenje tvrdoće i elastičnog modula. Poasonov koeficijent je bio podešen na 0,18 (pošto je stvarni koeficijent bio nepoznat), opterećenje utiskivača 11 mN, dok je na svakom uzorku izvršeno ukupno pedeset utiskivanja u okviru preliminarnih, odnosno sto utiskivanja u okviru glavnog dela istraživanja.

Tabela 5.22. Tehničke karakteristike korišćenog Nano Indenter Agilent G200 uređaja za nanoindentaciju (Agilent Technologies, 2013)

Standardna glava za indentaciju	rezolucija utiskivanja		< 0,01 nm
	maksimalan put utiskivača		1,5 mm
	maksimalna dubina utiskivanja		> 500 μ m
	Podešavanje opterećenja	maksimalno opterećenje	500 mN
		maksimalno opterećenje (DCMII opcija)	10 mN
		maksimalno opterećenje (visoki napon opcija)	10 N
		kontaktna sila	< 1,0 μ N
		rezolucija opterećenja (XP)	50 nN
	postavljanje indentera	upotrebljiva površina	100 \times 100 mm
		preciznost postavljanja	1 μ m
	Mikroskop	video ekran	25 \times
		objektiv	10 \times i 40 \times
	merne opcije	vreme pojedinačne indentacije	standardno < 5,0 s
	LFM opcije	maksimalna lateralna sila	> 250 mN
		lateralna rezolucija	< 2 μ m
		maksimalna distanca grebanja	> 100 mm
		brzinja grebanja	od 100 nm/s do 2 mm/s

5.2.6.5 *Određivanje optičkih karakteristika oplemenjenih otisaka*

Površinske osobine oplemenjenih otisaka zavise od njihove površinske strukture na koju utiče oplemenjeni sloj laka, kao i različite koncentracije mikrokapsula u njemu. Oplemenjivanjem otisaka dolazi do menjanja njihovih površinskih karakteristika što ima veliki efekat na njihove optičke karakteristike, kao što su boja i sjaj, zato je veoma bitno ispitati uticaj primenjenih lakova, različitih tehnika oplemenjivanja kao i različitih koncentracija mirisnih mikrokapsula u lakovima, na osnovne optičke karakteristike, odnosno na osnovne parametre kvaliteta štampe:

- optičku gustinu,
- porast tonskih vrednosti (polja tonske vrednosti od 10% do 100%),
- relativnu spektralnu refleksiju,
- sjaj,
- CIE L*a*b* vrednosti (za proračun razlike u boji, ΔE^*_{ab} vrednosti).

Za određivanje optičke gustine, porasta tonskih vrednosti, CIE L*a*b* vrednosti i relativne spektralne refleksije, korišćen je prethodno opisan merni uređaj, spektrodensitometar SpectroDens (Techkon, Nemačka), slika 5.7 i tabela 5.6. Sva merenja obavljena su na crnoj podlozi, prema ISO standardima: ISO 3664:2009, ISO 13655:2009 koji se odnose na merene uslove.

Merenje sjaja oplemenjenih uzoraka izvršeno je korišćenjem uređaja Elcometer 407 Statistical Glossmeter (X-Rite, SAD), koji se koristi za merenje sjaja podloga za štampu, otiska i premaza sa lakovima. Izgled korišćenog uređaja za merenje sjaja je prikazan na slici 5.21, a njegove najbitnije tehničke karakteristike su date u tabeli 5.23.



Slika 5.21. Izgled korišćenog mernog uređaja za merenje sjaja

Tabela 5.23. Tehničke karakteristike korišćenog uređaja za merenje sjaja (Elcometer 407 Statistical Glossmeter, X-Rite, SAD) (X-Rite, 2011)

Dimenzije uređaja	190 mm × 110 mm × 60 mm
Masa uređaja	950 g
Napajanje	4 × LR6 (AA)
Uglovi merenja	20°, 60° i 85°
Rezolucija merenja	0,1 GU [Gloss units]
Preciznost merenja	+ 0,5 GU [Gloss units]
Standardi	AS 1580-602.2, ASTM C 584, ASTM D 523, ASTM D 1455, BS DIN EN ISO 2813, ISO 7668, JIS Z 8741

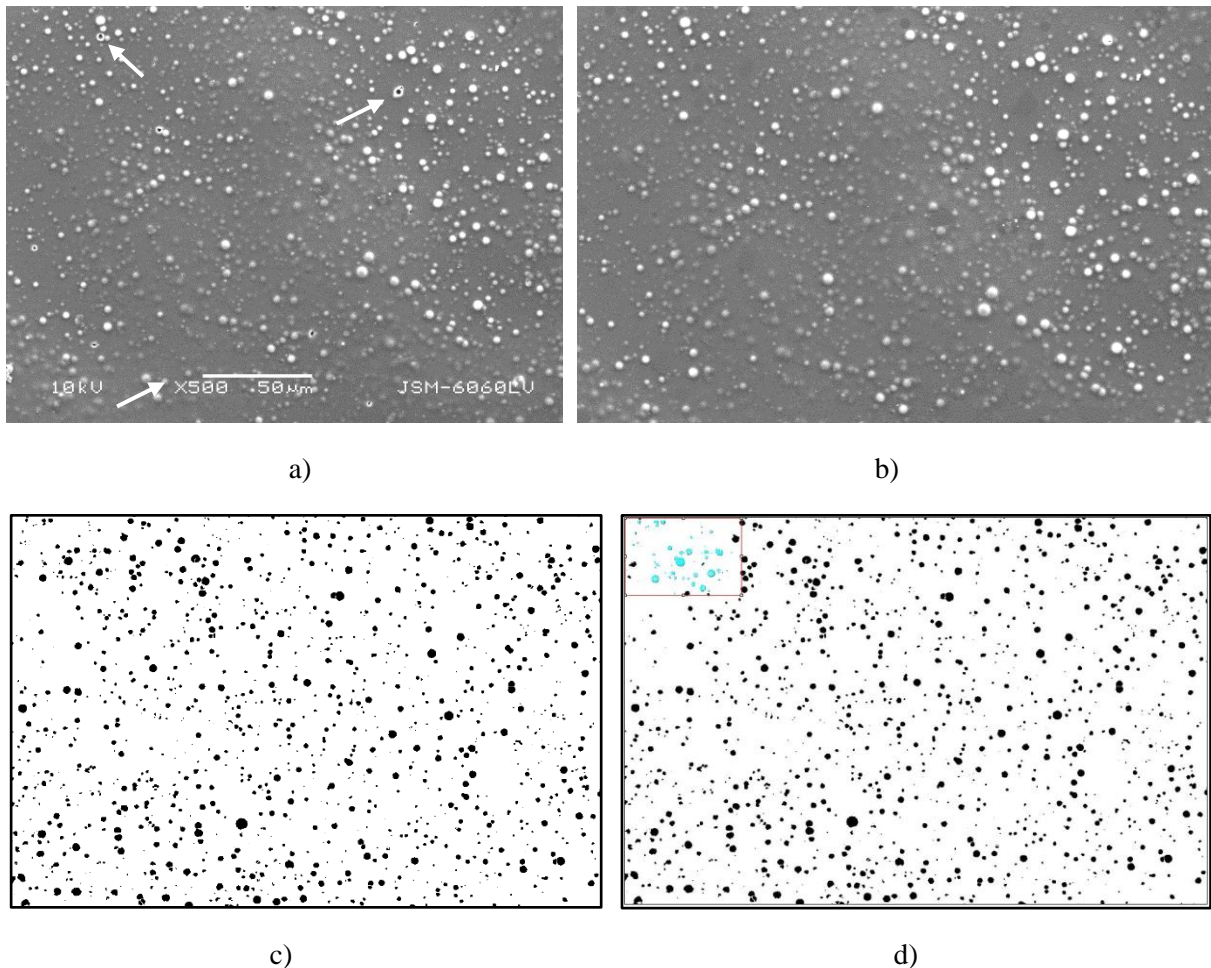
5.2.6.6 *Određivanje distribucije mirisnih mikrokapsula u oplemenjenom sloju laka*

Uniformnost disperzije, odnosno distribucije određenih čestica, kao što su mikrokapsule, u tečnom mediju ili unutar npr. osušenog sloja laka, ima efekat na bitne karakteristike ovakvih sistema (viskoznost, poroznost, sjaj). Varijacija u broju čestica i njihovih aglomerata definiše stepen disperzije odnosno stepen uniformnosti distribucije, gde neuniformna distribucija čestica uzrokuje nehomogenost apliciranog sloja (Hui, i drugi, 2008; Diebold, i drugi, 2005; Pfeifer, i drugi, 2014). Podatak o uniformnosti distribucije mikrokapsula unutar apliciranog sloja laka na oplemenjenim otiscima je bitan, obzirom da će i funkcionalnost oplemenjenih površina mirisnim mikrokapsulama zavisiti od broja, rasporeda i pozicije apliciranih mikrokapsula (po vertikalnoj osi). Određivanje uniformnosti distribucije mirisnih mikrokapsula u nanešenom sloju laka, ispitaće se u zavisnosti od primenjene tehnike oplemenjivanja (flekso štampa i automatska tehnika premazivanja), tipa laka (L_1 i L_2) i podloge za štampu (mat i sjajni premazni papir), dok će se za ovu analizu koristiti otisci oplemenjeni lakovima i mirisnim mikrokapsulama u masenoj koncentraciji od 15%.

Postoje različite metode za određivanje uniformnosti distribucije određenih čestica u nekom medijumu, gde preovlađuju metode digitalne obrade slike koje pomoću određenih programa ili programskih dodataka vrše obradu slike i ekstrakciju bitnih informacija za određivanje distribucije elemenata od interesa na slici. Jedna od najčešće korišćenih metoda digitalne obrade slike za karakterizaciju distribucije elemenata od interesa na slici je ona zasnovana na deljenju slike na određeni broj manjih segmenata istih dimenzija (obično na pravougaonike ili kvadrata), nakon čega se određuje broj čestica u svakom pod-regionu slike i izračunava se vrednost indeksa distribucije, odnosno koeficijenta asimetrije (jednačina 2.3) (Hui, i drugi, 2008). Izrazita odstupanja u broju registrovanih čestica u različitim segmentima slike predstavlja indikaciju loše distribucije čestica (visoka vrednost koeficijenta asimetrije), dok nizak stepen odstupanja ukazuje na dobru distribuciju čestica (niska vrednost koeficijenta asimetrije). Potpuno uniforman raspored elemenata od interesa bi trebalo da pokaže jednak broj čestica u svakom pod-regionu slike (vrednost koeficijenta asimetrije je 0) (Diebold, i drugi, 2005; Pfeifer, i drugi, 2014; Hui, i drugi, 2008).

Određivanje uniformnosti distribucije apliciranih mirisnih mikrokapsula je vršeno na otiscima punog tona cijan boje, oplemenjenim mikrokapsulama u masenoj koncentraciji od 15% u lakovima (L_1 i L_2), primenom obe tehnike oplemenjivanja, koristeći dva tipa premaznih papira. Merenja su izvršena pomoću prethodno izrađenih SEM slika oplemenjenih površina sa uveličanjem od 500× (po tri SEM slike za svaki uzorak – oplemenjeni otisak). Karakterizacija uniformnosti distribucije apliciranih

mirisnih mikrokapsula je urađena pomoću programa za digitalnu obradu slike, Fiji ImageJ (ImageJ, 2017), metodom deljenja slike na odgovarajući broj podregiona (ukupno $5 \times 5 = 25$ podregiona dimenzija $256 \text{ px} \times 170 \text{ px}$, odnosno $51 \text{ } \mu\text{m} \times 34 \text{ } \mu\text{m}$) uz korišćenje makroinstrukcije koja na osnovu obrađene SEM slike omogućava informacije o broju i površini koju zauzimanju registrovane mirisne mikrokapsule u svakom podregionu SEM slike. Koraci obrade svake od SEM slika su predstavljene na slici 5.22: 1) odsecanje donjeg dela slike sa mernom skalom i maskiranje regiona bez evidentnog prisustva mikrokapsula (vidljive nepravilnosti u vidu oštećenja, nečistoća, mehurići vazduha ili prisustva čestica npr. polietilenskog voska kod L_1 laka) (Photoshop CS6, Adobe, SAD), slika 5.22b; 2) obrada slike pomoću Fiji ImageJ programa primenom odgovarajućih procesnih funkcija (Process/FFT Bandpass Filter; Binary/Watershed), podešavanje vrednosti praga segmentacije (*eng. threshold*) kako bi što veći broj mikrokapsula bio detektovan i time dobio što realniji rezultat analize, slika 5.22c (Image/Adjust/Threshold/IJ_IsoData); 3) primena makroinstrukcije koja vrši registrovanje broja objekata (mikrokapsula) i njihove površine na svakom podregionu segmentirane slike, gde su detektovane mikrokapsule su obeležene svetlo plavom bojom (Analyze/Analyze Particles: Circularity: 0,8-1,0; Exclude on Edges), slika 5.22d.



Slika 5.22. Prikaz digitalne analize slike za određivanje distribucije mirisnih mikrokapsula (oplemenjeni otisak sa L_1 lakom i 15% mikrokapsula): a) originalna SEM slika, b) slika posle obrade (Adobe Photoshop CS6), c) slika nakon obrade (Fiji ImageJ), d) detektovane mikrokapsule u 1. od 25 podregiona slike

U okviru predložene analize razmatrani su sledeći parametri za karakterizaciju distribucije mirisnih mikrokapsula u oplemenjenom sloju laka:

- ukupan broj detektovanih mikrokapsula na slici,
- ukupan broj detektovanih mikrokapsula po segmentu slike,
- površina detektovanih mikrokapsula na slici,
- površina detektovanih mikrokapsula po segmentu slike,
- standardna devijacija broja registrovanih mikrokapsula po segmentu slike svih merenja (σ),
- koeficijent asimetrije distribucije (indeks distribucije) mirisnih mikrokapsula u apliciranom sloju laka (S_k), koji se izračunava na osnovu izraza 2.3.

5.2.6.7 Određivanje prisustva i intenziteta prisutnog mirisa u oplemenjenim otiscima

Kako bi se ispitale funkcionalne karakteristike tokom perioda eksploatacije oplemenjenih otisaka lakom i mirisnim mikrokapsulama, izvršeno je određivanje prisustva i intenziteta prisutnog mirisa kod uzoraka. Ispitivanje je obavljeno subjektivnom metodom pomoću ispitanika koji su ocenjivali intenziteta prisutnog mirisa i rangirali testirane uzorke. U eksperimentu je učestvovalo ukupno 12 ispitanika (7 muškaraca i 5 žena) životne dobi od 26 do 66 godina, a sva testiranja su obavljena u okviru 6 termina u vremenskom intervalu od 10 nedelja:

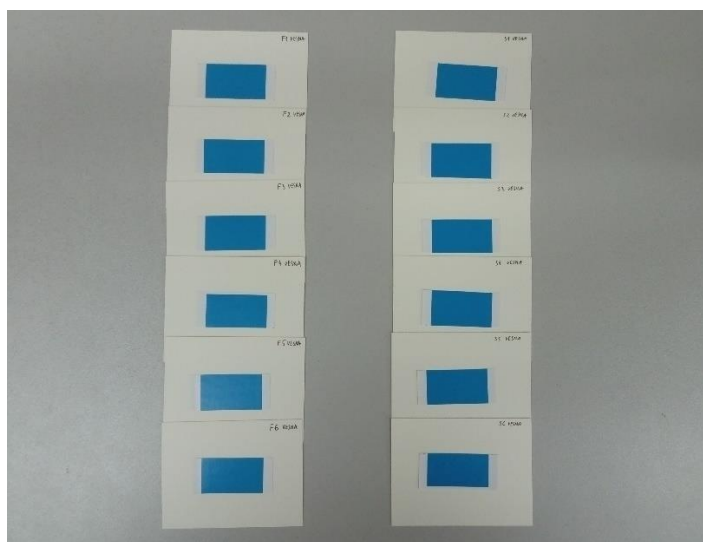
1. testiranje je obavljeno 23.05.2018 (2 nedelje nakon oplemenjivanja uzoraka),
2. testiranje je obavljeno 06.06.2018,
3. testiranje je obavljeno 20.06.2018,
4. testiranje je obavljeno 04.07.2018,
5. testiranje je obavljeno 18.07.2018,
6. testiranje je obavljeno 01.08.2018.

Za test prisustva i intenziteta prisutnog mirisa su korišćeni otisci mat premaznog papira (GardaMatt Art, Lecta, Španija) štampani ofset tehnikom (pun ton cijan boje), koji su oplemenjeni mirisnim mikrokapsulama (kombinacija esencijalnih ulja sa mirisom žalfije, ruzmarina i lavande; Melamin, Slovenija) u masenoj koncentraciji u L_1 laku od 15%, koristeći automatsku tehniku premazivanja (uzorci sa oznakom P), kao i flekso tehniku štampe (uzorci sa oznakom F), za postupak oplemenjivanja. Uzorci su sečeni na dimenzije 4,5 cm × 2 cm nakon čega su pričvršćeni duplom samolepljivom trakom za kartonsku podlogu dimenzija 8 cm × 6 cm, slika 5.23.

Ispitivanje je obavljeno subjektivnom metodom pomoću ispitanika koji su ocenjivali intenzitet prisutnog mirisa uzoraka i na osnovu toga ih rangirali. Otisci oplemenjeni najvišom masenom koncentracijom mirisnih mikrokapsula u laku (15%) su odabrani za testiranje prisustva i intenziteta prisutnog mirisa zbog činjenice da poseduju najveću količinu mirisnih mikrokapsula, a time i najveću količinu enkapsulirane aktivne materije, odnosno mirisa i da će se zbog toga funkcionalnost ovako oplemenjenih

površina najduže zadržati. Otisci oplemenjeni na mat premaznom papiru su odabrani za testiranje jer su na ovom papiru zabeležene veće debljine oplemenjenih slojeva sa mirisnim mikrokapsulama u koncentraciji od 15% u odnosu na oplemenjene otiske na sjajnom premaznom papiru, a L₁ lak je odabran zato što su u okviru analize morfoloških karakteristika oplemenjenih slojeva L₂ lakom primećene određena oštećenja u vidu ogrebotina i pukotina nastalih kao rezultat pripreme (sečenja) uzoraka za SEM mikroskop, a korišćenjem L₂ laka je primećena i blaga aglomeracija mikrokapsula.

U testu ispitivanja intenziteta mirisa je učestvovalo ukupno 12 ispitanika (5 žena i 7 muškaraca) životne dobi između 26 i 66 godina, a testiranje je trajalo ukupno 10 nedelja (6 test termina). Za test je bilo potrebno izraditi ukupno 144 uzorka (2 tehnike oplemenjivanja × 6 uzoraka po tehnici oplemenjivanja × 12 ispitanika = 144 uzorka), odnosno ukupno 12 uzoraka za svakog ispitanika (dva seta po šest uzoraka; 6 uzoraka oplemenjenih fleksno tehnikom štampe obeleženih F1 – F6 i 6 uzoraka oplemenjenih automatskom tehnikom premazivanja obeleženih P1 – P6), slika 5.23. Uzorci su čuvani za svakog ispitanika posebno u kutiji za odlaganje uzoraka kako bi se eliminisali uticaji svetlosti i vlage.



Slika 5.23. Izgled oba seta oplemenjenih uzoraka fleksno tehnikom: F1 – F6 (levo) i automatskom tehnikom premazivanja: P1 – P6 (desno) za određivanje prisustva mirisa i njegovog intenziteta

Ocenjivanje prisustva i intenziteta prisutnog mirisa kod oplemenjenih otisaka sa mirisnim mikrokapsulama je vršeno uvek ujutru, u istoj prostoriji bez prisustva drugih intenzivnih mirisa (uslovi okruženja: 26 °C, rel. vlaž. vaz. 55%; LED Termohigrometar, RWT-291B, Realwayto, Kina). Za određivanje prisustva i intenziteta prisutnog mirisa pripremljen je anketni list "*Ocenjivanje prisustva mirisa u oplemenjenim uzorcima*" (Prilog 3).

Pre početka svakog od 6 testiranja, ispitanici su oprali ruke biljnim, antibakterijskim, tečnim sapunom bez mirisa (Balea, Austrija). Zatim je svaki ispitanik naveo svoje trenutno raspoloženje i eventualne razloge koji bi mogli da utiču na rezultate testiranja (prehlada, zapušten nos...). Tokom testa, ispitanici su odgovarali na pitanja vezana za prisustvo i intenzitet oslobođenog mirisa, i u svom anketnom listu vršili rangiranje uzoraka (Prilog 3). Ispitanici su prilikom 1. testiranja prvo pomirisali svaki od dva pripremljena seta uzoraka (12 uzoraka: F1 – F6 i P1 – P6) kako bi ocenili prisustvo mirisa i njegov intenzitet, odnosno da li aplicirane mikrokapsule vremenom oslobađaju enkapsulirani miris i bez

prethodne aktivacije, trljanja, usled čega one pucaju i oslobađaju enkapsulirani miris. Zatim su ispitanici rangirali prethodno pomirisane uzorke ocenama od 1 do 5 (1. bez mirisa, 2. jedva osetan miris, 3. blag miris, 4. intenzivan miris, 5. veoma intenzivan miris). Potom im je dat test uzorak F1, koji su blago protrljali prstom 4× (desno - levo - desno - levo) kako bi aktivirali aplicirane mikrokapsule, nakon čega su ga pomirisali i u odgovarajućoj tabeli označili intenzitet percipiranog mirisa (1. bez mirisa, 2. jedva osetan miris, 3. blag miris, 4. intenzivan miris, 5. veoma intenzivan miris). To isto su ponovili i za test uzorak S1, pritom koristeći uvek različit prst za trljanje test uzoraka. Prilikom svakog narednog testiranja u analizu je uključivan po jedan nov uzorak iz oba seta uzoraka (2. testiranje: F1 i F2, P1 i P2; 3. testiranje: F1 – F3, P1 – P3; 4. testiranje: F1 – F4, P1 – P4; 5. testiranje: F1 – F5, P1 – P5 i 6. testiranje: F1 – F6, P1 – P6). Rezultati ovog eksperimenta su predstavljeni pomoću prosečnih vrednosti intenziteta percipiranog mirisa netrljanih i trljanih uzoraka, odnosno srednjih vrednosti dodeljenih ocena (1 – najmanja vrednost, 5 – najveća vrednost), kao i procentualnog udela dodeljenog ranga uzorcima, a za izračunavanje ocene rangiranih uzoraka korišćena je metoda bodovanja, gde je rang uzorka (1 – 5) pomnožen sa relativnom frekvencijom odgovora ($f_k\%$; $k = 1, \dots, 5$) u skladu sa sledećom jednačinom:

$$Ocena = \frac{1 \times f_1\% + 2 \times f_2\% + 3 \times f_3\% + 4 \times f_4\% + 5 \times f_5\%}{100} \quad (5.2)$$

5.2.7 Statistička analiza rezultata

Za obradu dobijenih eksperimentalnih rezultata korišćeni su opisni statistički pokazatelji i parametrijske statističke metode. Obrada prikupljenih eksperimentalnih rezultata vršena je pomoću softverskog paketa za statističku obradu podataka SPSS Statistics Data Editor (verzija 20; IBM, SAD), koji predstavlja jedan od najčešće korišćenih programski alata za sprovođenje statističkih analiza. Kao opisni statistički pokazatelji korišćeni su: aritmetička sredina (mera centralne tendencije), standardna devijacija (apsolutna mera disperzije). Od parametrijskih metoda su korišćene analiza varijanse ANOVA (jednofaktorska, dvofaktorska i multifaktorska analiza varijanse – za ispitivanje uticaja svake nezavisne promenljive na zavisnu promenljivu uz identifikaciju eventualnog uticaja njihove interakcije), T (Studentov) test nezavisnih uzoraka za poređenje srednje vrednosti neprekidne promenljive u dve različite grupe, kao i naknadni Tukijevi HSD testovi.

6 Rezultati istraživanja

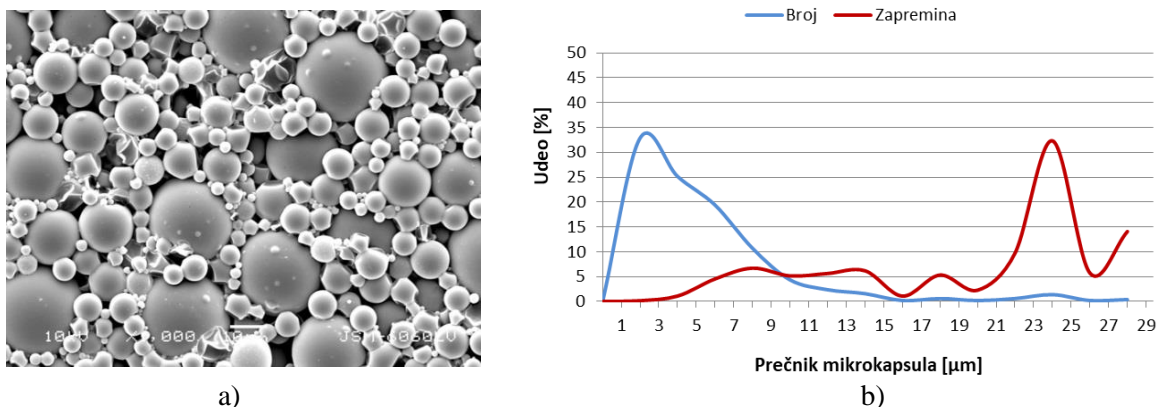
6.1 Preliminarni deo istraživanja

U okviru preliminarnog dela istraživanja ispitane su mogućnosti oplemenjivanja različitih podloga za štampu koristeći različite tehnike za oplemenjivanje (ručna tehnika premazivanja, sito, tampon i ofset tehnika štampe), različite tipove mikrokapsula u kombinaciji sa lakovima i bojom za štampu. Ispitivanjem karakteristika oplemenjenih uzoraka mikrokapsulama različitim tehnikama, odnosno analizom kvaliteta apliciranih mikrokapsula ovim tehnikama na različitim podlogama za štampu, utvrdiće se mogućnost primene određenih tehnika za oplemenjivanje uzoraka mikrokapsulama.

6.1.1 Analiza karakteristika mikrokapsula

Za analizu karakteristika upotrebljenih mikrokapsula, korišćena je skenirajuća elektronska mikroskopija (SEM) i vizuelna analiza dobijenih SEM slika, čime su ispitane morfološke karakteristike mikrokapsula (slika 6.1a, 6.2a i 6.3a), dok je za određivanje distribucije veličina i zapremina mikrokapsula (slika 6.1b, 6.2b i 6.3b) pored SEM slika korišćen i ImageJ softver.

Na slici 6.1 je prikazan izgled mirisnih mikrokapsula u vodenoj suspenziji (MK₁), slika 6.1a, koje su korišćene za oplemenjivanje uzoraka od folije (A4 1/100, Apli Paper S.A.U., Španija) sa lakovima na bazi vode L₁ i L₂, kao i njihova distribucija veličina i zapremina (slika 6.1b).

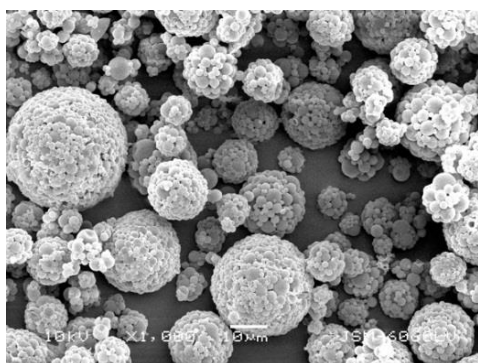


Slika 6.1. Izgled mirisnih mikrokapsula u vodenoj suspenziji (MK₁) (a) (SEM; 1.000× uvećanje) i njihova distribucija veličina i zapremina (b)

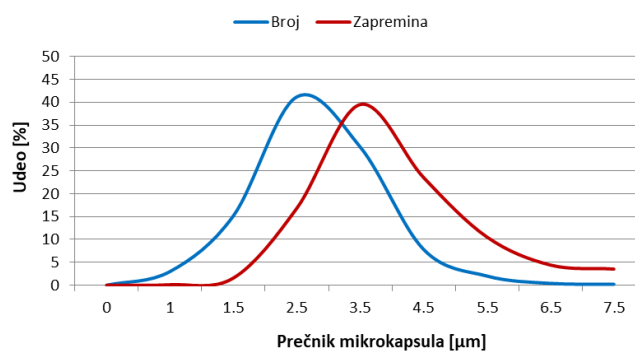
Oblik mirisnih mikrokapsula u vodenoj suspenziji je sferan, veoma pravilan, a površina omotača mikrokapsula je veoma glatka, slika 6.1a. Veličine mirisnih mikrokapsula nisu ujednačene, što je prouzrokovalo široku distribuciju veličina mikrokapsula (slike 6.1b). Plava kriva na grafiku označavaju distribuciju veličina mirisnih mikrokapsula u vodenoj suspenziji, koja je ekstremno pozitivno asimetrična, gde 32,87% uzorkovanih mikrokapsula ima prečnik do 2 μm, dok čak 77,43% ukupnog

broja uzorkovanih mikrokapsula ima veličinu u rasponu od 0,5 μm do 6 μm . Prosečna veličina mikrokapsula iznosi 4,44 μm (st. dev. 4,30 μm) dok su minimalna i maksimalna veličina uzorkovanih mikrokapsula 0,67 μm odnosno 26,86 μm . Za pojednostavljivanje proračuna zapreminske distribucije mikrokapsula, njihov oblik je aproksimiran idealnom sferom. Nasuprot distribuciji veličina mikrokapsula, njihova distribucija zapremina (slika 6.1b, crvena kriva) negativno asimetrična, gde 1,39% svih uzorkovanih mikrokapsula učestvuje sa 32,33% u ukupnoj zapremini mikrokapsula. Aglomerati, odnosno grupe mikrokapsula, nisu primećene.

Na slici 6.2 je dat izgled mirisnih suvih mikrokapsula (slika 6.2a), koje su takođe korišćene za oplemenjivanje uzoraka od transparentne folije u kombinaciji sa lakom na bazi ulja, L₃, kao i njihova distribucija veličina i zapremina (slika 6.2b). Ove mikrokapsule (MK₂) poseduju pravilan oblik i različitih su veličina, što je prisutno u manjoj meri u odnosu na MK₁ mikrokapsule. Zbog toga suve mirisne mikrokapsule imaju mnogo užu distribuciju veličina. Ove mikrokapsule imaju relativno uniformnu, blago asimetričnu distribuciju veličina (slika 6.2b, plava kriva), gde 71,4% uzorkovanih mikrokapsula ima prečnik između 1,5 μm i 3,5 μm . Prosečna veličina prečnika uzorkovanih mikrokapsula je 2,39 μm (stdev. 0,95 μm), gde su minimalna i maksimalna zabeležena veličina mikrokapsula 0,67 μm , odnosno 7,15 μm . Distribucija zapremina (slika 6.2b, crvena kriva) je veoma slična distribuciji veličina, gde mikrokapsule veličina između 2,5 μm i 4,5 μm učestvuju sa 63,03% u ukupnoj zapremini mikrokapsula. Za razliku od MK₁ mikrokapsula, MK₂ mikrokapsule imaju tendenciju da formiraju velike aglomerate (slika 6.2a) što je rezultat procesa sušenja mikrokapsula (Stanković Elesini et al., 2016). Veličine aglomerata mikrokapsula su u opsegu od 5,45 μm do 56,23 μm , sa prosečnom veličinom aglomerata od 15,21 μm (stdev. 7,96 μm). Utvrđeno je da su mikrokapsule u vodenoj suspenziji (MK₁) značajno veće od suvih mikrokapsula (MK₂).



a)

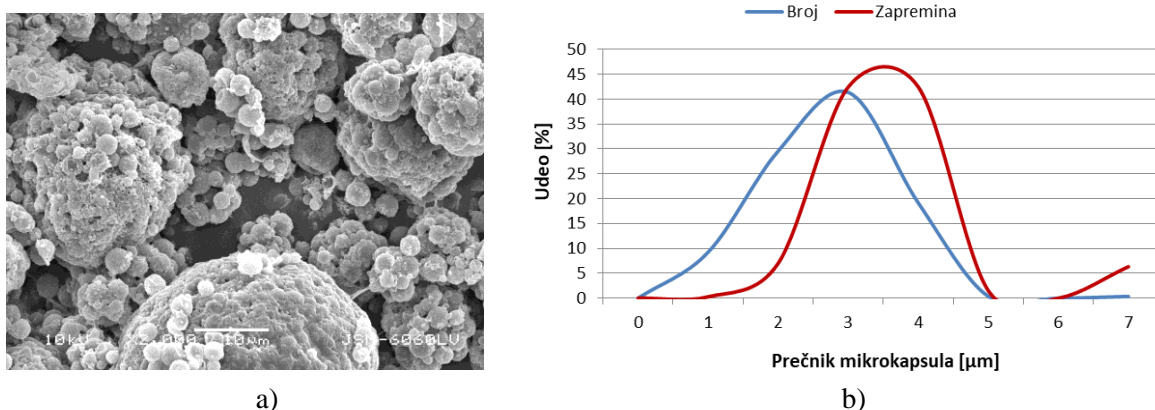


b)

Slika 6.2. Suve, mirisne mikrokapsule (MK₂) (a) (SEM; 1.000 \times uvećanje) i njihova distribucija veličina i zapremina (b)

Slika 6.3a prikazuje suve PCM mikrokapsule (MK₃), koje su upotrebljene za oplemenjivanje uzoraka od papira pomoću bele boje i tampon tehnike štampe, a na slici 6.3b je prikazana distribucija veličina i zapremina korišćenih mikrokapsula. Kao što se može primetiti, njihova veličina je veoma mala, imaju pravilan, kružni oblik, međutim formiraju velike aglomerate, što je rezultat sušenja mikrokapsula (Stanković Elesini et al., 2016). Mora se istaći da veći aglomerati mogu da utiču na vizuelni izgled kao i na funkcionalnost oplemenjenih površina (Urbas et al., 2014; Chen et al., 2014). Distribucija veličina

mikrokapsula je relativno uska i uniformna, blago asimetrična (slika 6.3b, plava kriva). Najveći broj uzorkovanih mikrokapsula (70,94%) ima prečnik između 1 μm i 3 μm . Prosečna veličina prečnika iznosi 2,24 μm (st. dev. 0,87 μm) sa minimalnim i maksimalnim zabeleženim prečnikom između 0,36 μm i 6,74 μm , respektivno. Distribucija zapremina mikrokapsula (slika 6.3b, crvena kriva) je vrlo slična distribuciji veličina, gde mikrokapsule sa veličinama između 2 μm i 4 μm učestvuju sa 82,92% u ukupnoj zapremini mikrokapsula.



Slika 6.3. Izgled suvih PCM mikrokapsula (MK₃) (a) (SEM; 1.000× uvećanje) i njihova distribucija veličina i zapremina (b)

6.1.2 Analiza karakteristika korišćenih podloga za oplemenjivanje i oplemenjenih uzoraka

U tabeli 6.1 su predstavljene vrednosti debljine i gramature neoplemenjenog i oplemenjenih uzoraka transparentne folije mirisnim mikrokapsulama u masenoj koncentraciji od 1%, pomoću tri različita laka (L₁, L₂ i L₃) i dve različite vrste mirisnih mikrokapsula (MK₁ i MK₂), kao i dve tehnike oplemenjivanja (sito tehnika štampe i ručna tehnika premazivanja). Iz rezultata predstavljenih u tabeli 6.1 se vidi da su debljine ostvarenih oplemenjenih slojeva sito tehnikom štampe (S) kao i ručnom tehnikom premazivanja (P) znatno manje od ograničenja tehnika koje su korišćene za oplemenjivanje (sito – 128 μm ; ručna tehnika premazivanja 200 μm). Ovo se može pripisati reološkim karakteristikama korišćenih lakova, površinskim osobinama korišćene podloge za oplemenjivanje (transparentne folije) kao i njihovom interakcijom. U slučaju oplemenjenih uzoraka tehnikom sito štampe kako samo sa lakovima, tako i sa lakovima u kombinaciji sa mirisnim mikrokapsulama, primećuje se da su deblji slojevi ostvareni korišćenjem L₁ i L₂ laka (SL₁, SL₂, SL₁-MK₁, SL₂-MK₁) u odnosu na L₃ lak (SL₃, SL₃-MK₂). Dodavanje mirisnih mikrokapsula MK₁ i MK₂ u lakove L₁, L₂ i L₃ dovelo je do povećanja i debljine i gramature svih uzoraka, nezavisno od korišćene tehnike oplemenjivanja. Ovo je najuočljivije kod laka na bazi ulja, L₃, gde se debljina oplemenjenih slojeva pomoću obe tehnike značajno povećala posle dodavanja MK₂ mikrokapsula. Mirisne mikrokapsule u vodenoj suspenziji (MK₁) su dodate u lakove u masenoj koncentraciji od 1% što znači da je stvarna masa mikrokapsula (bez vodene suspenzije) značajno niža u odnosu na suve mikrokapsule (MK₂). Kao rezultat toga, povećanje debljine i gramature uzoraka SL₃-MK₂ i PL₃-MK₂, koji su oplemenjeni suvim mikrokapsulama, je mnogo veće nego u slučaju uzoraka SL₁-MK₁, PL₁-MK₁, SL₂-MK₁ i PL₂-MK₁.

Tabela 6.1. Izmerene vrednosti debljine i gramature oplemenjenih uzoraka sito tehnikom štampe i manuelnom tehnikom premazivanja

Tehnika oplemenjivanja	Uzorak	Merena karakteristika				
		Debljina [μm]	Povećanje debljine [%]	Gramatura [g/m^2]	Povećanje gramature [%]	
Neoplemenjeni	Folija	96,90	-	133,11	-	
	SL ₁	139,70	44,17	140,25	5,36	
	SL ₂	135,40	39,73	157,78	18,53	
	Sito tehnika štampe	SL ₃	122,10	26,01	167,67	25,96
		SL ₁ -MK ₁	149,70	54,49	156,11	17,28
		SL ₂ -MK ₁	139,40	43,86	160,89	20,87
		SL ₃ -MK ₂	137,40	41,79	167,78	26,05
Ručna tehnika premazivanja	PL ₁	118,50	22,29	142,44	7,01	
	PL ₂	135,00	39,32	162,11	21,79	
	PL ₃	124,10	28,07	169,55	27,38	
	PL ₁ -MK ₁	125,30	29,31	161,75	21,52	
	PL ₂ -MK ₁	140,20	44,68	171,50	28,84	
	PL ₃ -MK ₂	142,80	47,37	174,92	31,41	

U tabeli 6.2 su predstavljene osnovne karakteristike podloga za štampu korišćenih za oplemenjivanje PCM mikrokapsulama u kombinaciji sa belom bojom, pomoću tehnike tampon štampe. Korišćeni su papiri različitih površinskih karakteristika (mat i sjajni premazni) gramature 170 g/m^2 (Nevia, Gold East Paper, Kina). Može se primetiti da mat papir imaju nešto veću vrednost beline kao i debljine u odnosu na sjajni premazni papir.

Tabela 6.2. Osnovne karakteristike korišćenih papira

Osobina/papir	Nevia	
	Gramatura [g/m^2]	170
Površinske karakteristike	mat	sjajni
Belina/žutoća	99,84/-7,09	98,46/-6,42
Debljina [μm]	155,88	146,92

U tabeli 6.3 su predstavljeni rezultati debljine sloja boje bez i sa dodatkom PCM mikrokapsula (MK₃) u belu boju za tampon štampu u masenoj koncentraciji od 10%. Prilikom izrade forme za tampon štampu, korišćena su dva vremenska intervala za osvetljavanje štamparske ploče na poljima punog tona, kako bi se dobile različite dubine štampanih elemenata i tako dve različite debljine sloja boje na otiscima (osvetljavanje od 20 sekundi odgovara polju punog tona R₂₀ – veća dubina, a osvetljavanje od 60 sekundi odgovara polju punog tona pod nazivom R₆₀ - manja dubina). Dubine štampanih elemenata

su bile 81,88 μm za R_{20} polje punog tona i 32,08 μm za R_{60} polje punog tona. Primećuje se da su debljine slojeva boje sa mikrokapsulama značajno veće u odnosu na slojeve boje bez mikrokapsula, a razlog je aglomeracija, tj. grupisanje mikrokapsula. Kao što je i bilo očekivano, R_{20} polje je omogućilo štampu debljeg sloja boje u poređenju sa R_{60} poljem, zbog svoje veće dubine. Na sjajnom premaznom papiru je takođe zabeležena veća debljina odštampanog sloja boje u odnosu na mat premazni papir, a razlog ove pojave je sama površinska struktura mat premaznog papira koja je grublja u odnosu na sjajni premazni papir, u koju je boja penetrirala, što je smanjilo ukupnu debljinu odštampanog sloja boje. Na osnovu svega iznetog, može se zaključiti da je dodavanje suvih PCM mikrokapsula u boju značajno povećalo debljinu odštampanog sloja boje.

Tabela 6.3. Izmerene debljine sloja boje štampanih uzoraka

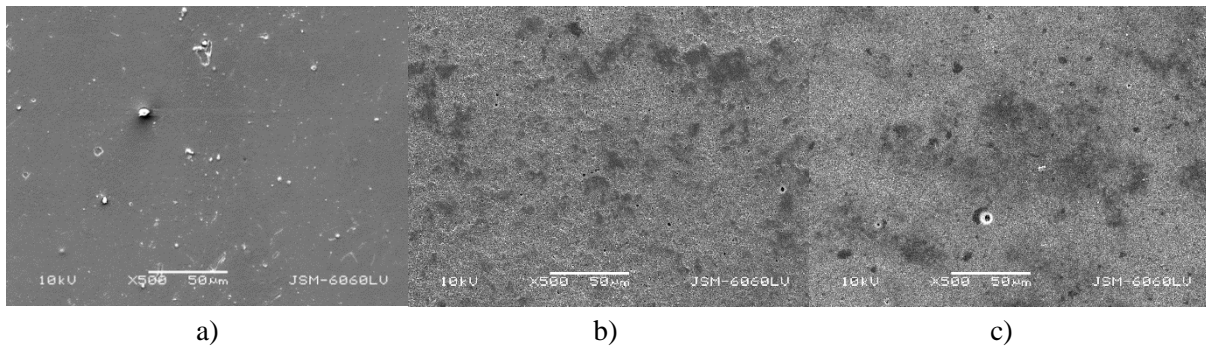
Osobina/papir		Nevia	
		mat	sjajni
Površinske karakteristike			
Debljina sloja boje bez mikrokapsula [μm]	R_{20}	2,71	4,08
	R_{60}	2,54	3,17
Debljina sloja boje sa mikrokapsulama [μm]	R_{20}	18,42	20,38
	R_{60}	12,92	12,50

U tabeli 6.4 su prikazani rezultati izmerenih širine linija na štampanim uzorcima sa i bez mikrokapsula tampon tehnikom štampe. Iz predstavljenih rezultata se vidi da dodavanje mikrokapsula u belu boju za tampon štampu u masenoj koncentraciji od 10%, prouzrokovalo manju širinu svih merenih linija (od 0,5 pt do 4 pt) u odnosu na one štampane samo sa bojom, bez mikrokapsula. Obzirom da se radi o mirisnim mikrokapsulama u prahu, one su povećale gustinu, odnosno viskozitet boje u koju su dodate, što je uticalo na manje razlivanje i brže sušenje boje na podlozi za štampu.

Tabela 6.4. Izmerene širine linija na štampanim uzorcima sa i bez mikrokapsula

Debljina linije [mm]	170 g/m ² sjajni		170 g/m ² mat	
	bez MK ₃	sa MK ₃	bez MK ₃	sa MK ₃
0,5 pt	0,243	0,169	0,228	0,140
1 pt	0,401	0,307	0,391	0,276
2 pt	0,788	0,697	0,761	0,678
3 pt	1,153	1,051	1,083	1,043
4 pt	1,473	1,424	1,419	1,390

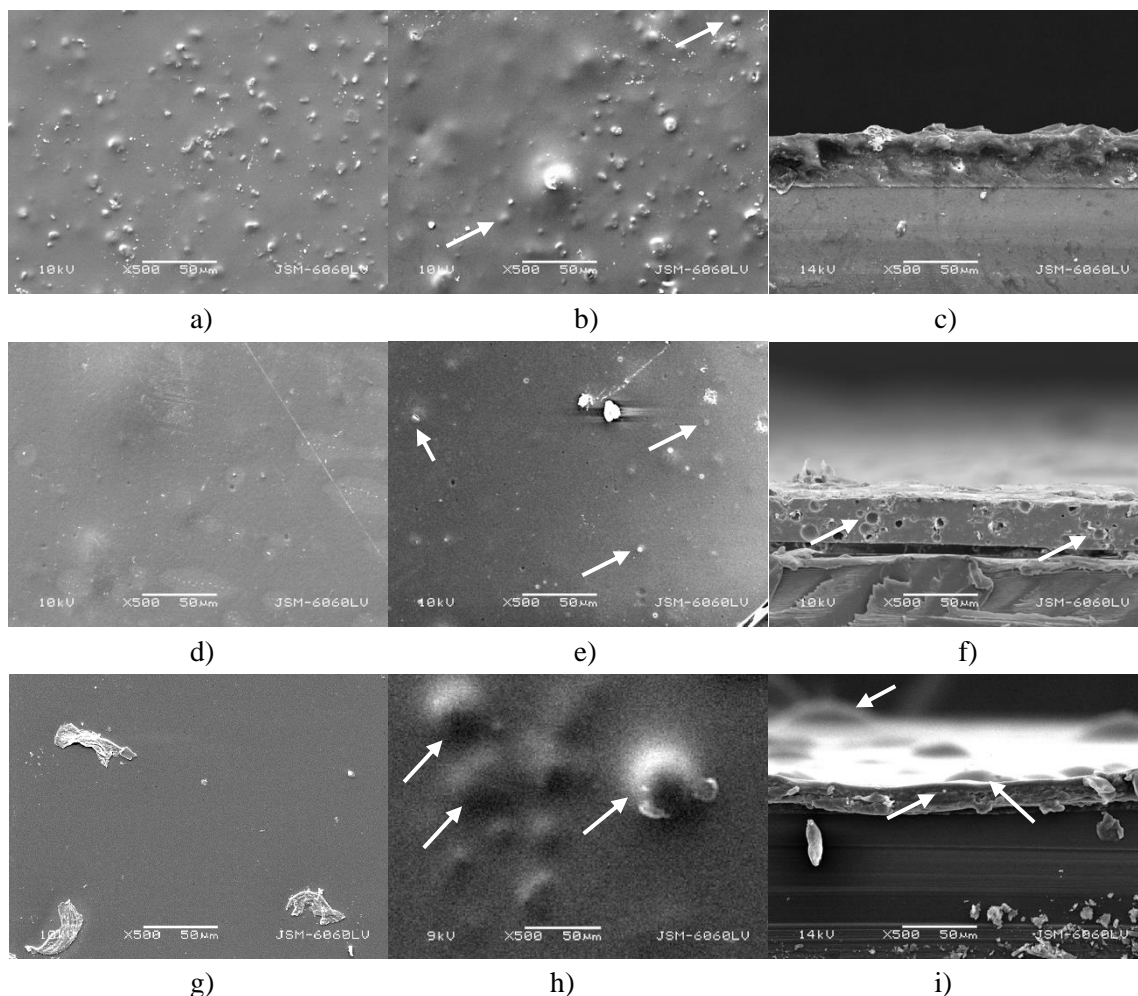
Na slici 6.4 je prikazan izgled korišćenih podloga za oplemenjivanje mikrokapsulama pomoću ručne tehnike premazivanja, sito i ofset tehnike štampe (transparentna folija), kao i pomoću tehnike tampon štampe (mat i sjajni premazni papiri). Sa prikazanih SEM slika može se primetiti da je površina transparentne folije (slika 6.4a) vrlo glatka i ravna, bez puno nepravilnosti. Mat premazni papir poseduje najnepravilniju i najgrublju površinsku strukturu (slika 6.4b), dok je površina sjajnog premaznog papira dosta pravilnija i glađa (slika 6.4c).



Slika 6.4. Izgled površine korišćenih podloga za oplemenjivanje: a) transparentna folija, b) mat premazni papir (Nevia 170 g/m²), c) sjajni premazni papir (Nevia 170 g/m²) (SEM 500× uvećanje)

Na slici 6.5 je prikazan izgled površina i poprečnih preseka uzoraka oplemenjenih tehnikom sito štampe pomoću sva tri laka (L_1 , L_2 i L_3) bez i sa dodatkom mirisnih mikrokapsula (MK_1 i MK_2), gde bele strelice pokazuju prisustvo ili pojedinačnih mirisnih mikrokapsula ili njihovih aglomerata. Uzorci SL_1 i SL_1-MK_1 imaju sličnu, zrnčavu i grubu strukturu, što se može pripisati karakteristikama korišćenog laka (L_1) koji sadrži polietilenski vosak (slika 6.5a i 6.5b). Zbog male koncentracije mirisnih mikrokapsula (MK_1) u laku L_1 (masena koncentracija 1%), one se teže uočavaju na površini otiska i nisu primarni uzrok grube strukture oplemenjenog uzorka ovim lakom već je u pitanju vosak. Uprkos malom broju mikrokapsula, pojedinačne mikrokapsule se mogu uočiti i razlikovati od čestica polietilenskog voska zbog svog pravilnog, sfernog oblika (slika 6.5b). Aglomeracija mirisnih MK_1 mikrokapsula nije primećena. Na slici poprečnog preseka oplemenjenog uzorka SL_1-MK_1 nisu uočene dodatke mirisne mikrokapsule. Još jedan od razloga za tešku detekciju mikrokapsula, pored karakteristika laka, je i to što se uzorak deformiše prilikom pripreme, odnosno sečenja i ne omogućava čist rez. Za razliku od SL_1 uzorka, površina SL_2 uzorka je relativno pravilna i glatka (slika 6.5d), a na uzorku oplemenjenom mikrokapsulama SL_2-MK_1 se može primetiti mali broj dodatih mikrokapsula (slika 6.5e). Uzorci oplemenjeni L_2 lakom (SL_2) su dosta krti, što se manifestovalo vidljivim frakturama na površini (slika 6.5d i 6.5e). Kod slike poprečnog preseka uzorka SL_2-MK_1 vide se šupljine gde su bile pozicionirane mikrokapsule kao i šupljine od vazdušnih mehura (slika 6.5f). Ni ovde nije primećena aglomeracija mikrokapsula.

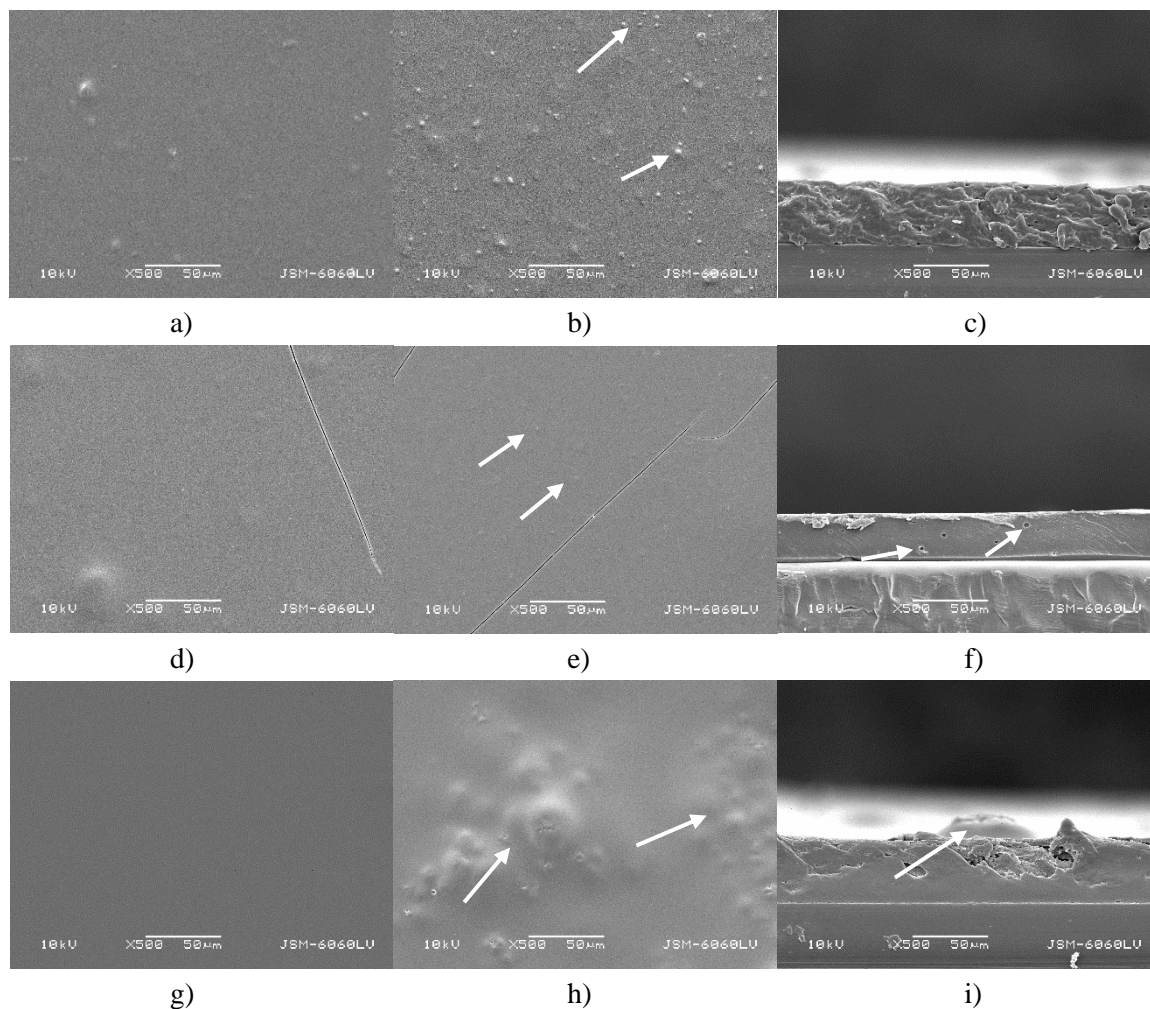
Površina oplemenjenja L_3 lakom, na bazi ulja, je najpravilnija i najglada, uz nekoliko čestica nečistoće prisutnih na površini (slika 6.5g). Na površini oplemenjenog uzorka SL_3-MK_2 vidljive su MK_2 suve mikrokapsule, kao i njihovi aglomerati (slika 6.5h). Kao i u slučaju prethodno razmatranog oplemenjenog otiska SL_1-MK_1 , mirisne mikrokapsule nisu vidljive na slici poprečnog preseka (slika 6.5i), ali su vidljivi aglomerati na površini otiska (slika 6.5h i 6.5i). Aplikirane mirisne mikrokapsule su neoštećene, što pokazuje da se tehnika sito štampe može uspešno koristiti za aplikaciju mirisnih mikrokapsula.



Slika 6.5. Površina uzoraka oplemenjenih sito tehnikom štampe SL_1 (a), SL_1-MK_1 (b), SL_2 (d), SL_2-MK_1 (e), SL_3 (g) i SL_3-MK_2 (h), sa pripadajućim poprečnim presecima od SL_1-MK_1 (c), SL_2-MK_1 (f) i SL_3-MK_2 (i); (SEM; 500× uvećanje)

Na slici 6.6 je prikazan izgled površina kao i poprečnih poreseka uzoraka oplemenjenih sa L_1 , L_2 i L_3 lakom na transparentnoj foliji, bez i sa mirisnim mikrokapsulama (MK_1 i MK_2) pomoću ručne tehnike premazivanja. Površina uzorka PL_1 ima veoma pravilnu strukturu, pravilniju od SL_1 uzorka (slika 6.6a). Pojedinačne mikrokapsule koje doprinose nepravilnosti i grubosti površinske strukture, se lako mogu uočiti na površini PL_1-MK_1 uzorka (slika 6.6b). Ni ovde nije bilo moguće uočiti pojedinačne mikrokapsule na slici poprečnog preseka PL_1-MK_1 oplemenjenog uzorka (slika 6.6c). Površina oplemenjenog uzorka samo L_2 lakom, PL_2 , ima pravilniju strukturu od uzorka SL_2 , ali ima slične pukotine na površini (slika 6.6d). Dodatak MK_1 mikrokapsula se može primetiti i na površini i na slici poprečnog preseka uzorka PL_2-MK_1 (slika 6.6e, slika 6.6f). Mali broj MK_1 mikrokapsula kao i šupljina u kojima su bili zarobljeni mehurići vazduha, kao rezultat procesa premazivanja, je detektovano na slici poprečnog preseka uzorka PL_2-MK_1 u poređenju sa uzorkom SL_2-MK_1 (slika 6.6f). Oplemenjeni otisci izrađeni pomoću L_2 laka (SL_2-MK_1 i PL_2-MK_1) imaju najpravilniju površinsku strukturu bez obzira na primenjenu tehniku aplikacije mikrokapsula, jer su mikrokapsule pozicionirane ispod površine u poređenju sa pozicijom mikrokapsula kod uzoraka oplemenjenih sa L_1 i L_3 lakom (SL_1-MK_1 , SL_3-MK_2 , PL_1-MK_1 i PL_3-MK_2).

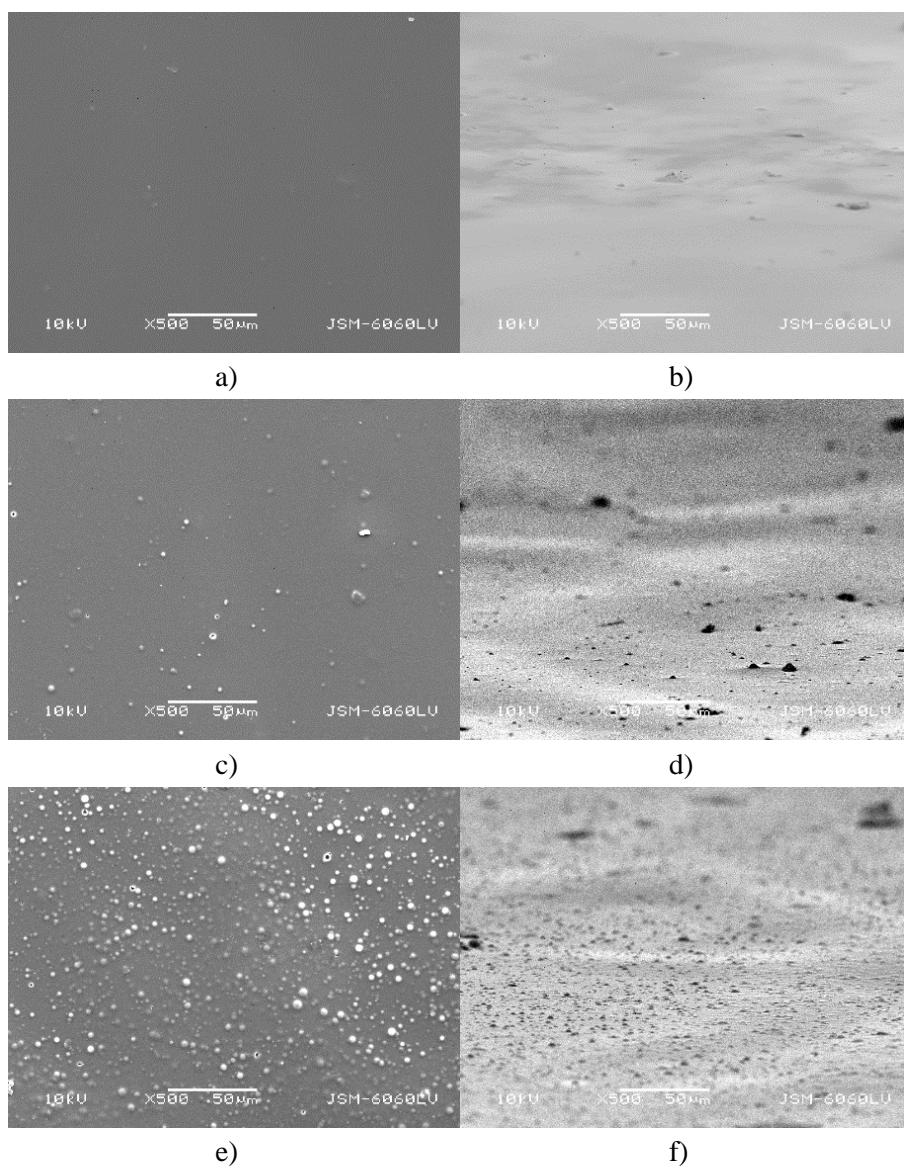
Uzorak oplemenjen samo L₃ lakom, PL₃, je pokazao najgladju i najuniformniju površinsku strukturu (slika 6.6g), dok je na PL₃–MK₂ uzorku primećen veći broj suvih, MK₂ mikrokapsula kao i njihovih aglomerata u poređenju sa PL₂ i PL₂–MK₁ uzorcima (slika 6.6h). Grupisanje mikrokapsula je onemogućilo detekciju pojedinačnih mikrokapsula (slika 6.6h, 6.6i). Aplicirane mirisne mikrokapsule su neoštećene, što pokazuje da se tehnika ručnog premazivanja može uspešno da se koristi za aplikaciju mirisnih mikrokapsula.



Slika 6.6. Površina uzoraka oplemenjenih ručnom tehnikom premazivanja PL₁ (a), PL₁–MK₁ (b), PL₂–MK₁ (d), PL₂–MK₁ (e), PL₃ (g) i PL₃–MK₂ (h), sa pripadajućim poprečnim presecima od PL₁–MK₁ (c), PL₂–MK₁ (f) i PL₃–MK₂ (i); (SEM; 500× uvećanje)

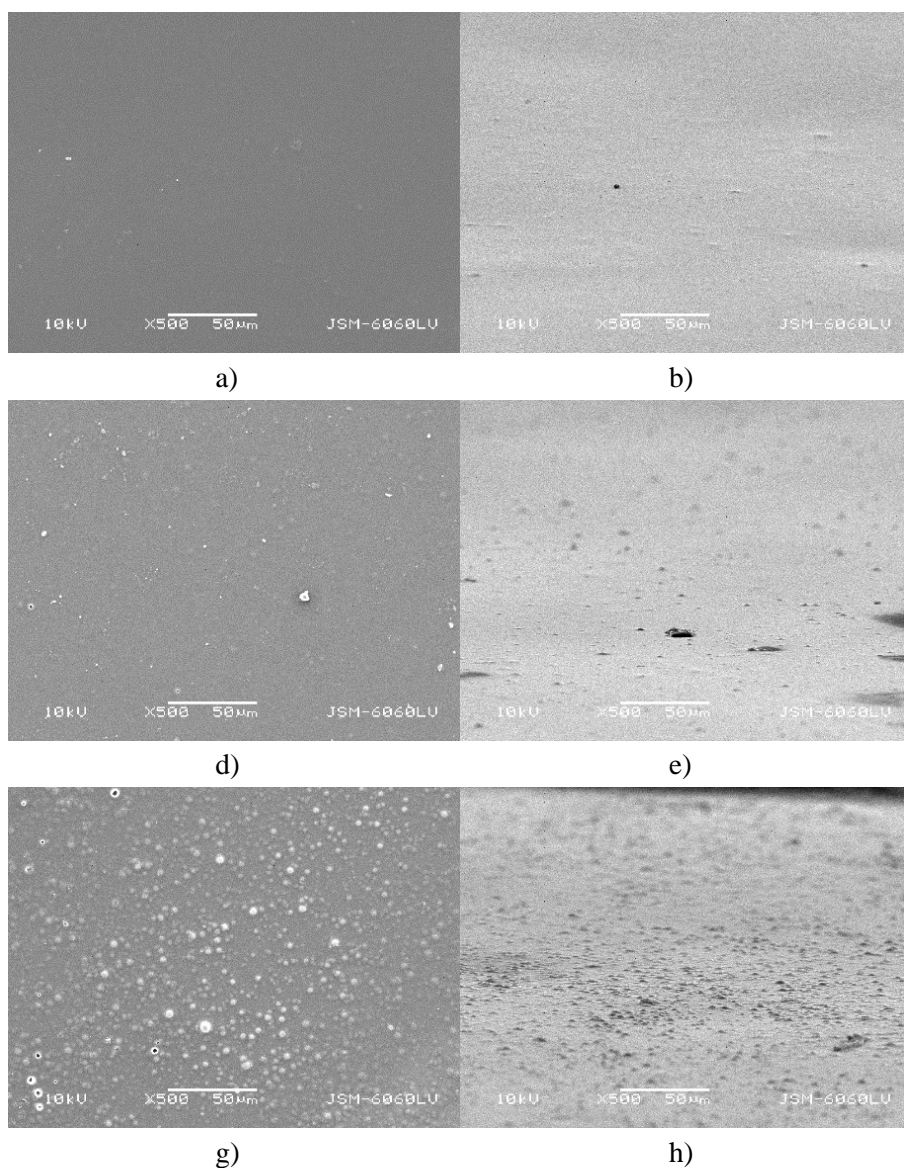
Na slici 6.7 je prikazan izgled oplemenjenih uzoraka (transparentna folija) različitim koncentracijama mirisnih mikrokapsula (0%, 1% i 15%) u L₁ laku koristeći tehniku ofset štampe (Prufbau uređajem). Zbog veoma brzog sušenja laka na bazi ulja, L₃ prilikom štampe na Prufbau uređaju, nije bilo moguće dobiti kvalitetan otisak, pa su za nastavak eksperimenta korišćena dva prethodno već korišćena laka na vodenoj bazi (L₁ i L₂). Sa slike 6.7 a i b, gde su prikazane površine oplemenjene samo L₁ lakom bez mikrokapsula (OL₁_0% uzorak), vidi se da je površina ovih otisaka dosta pravilnija i gladja od oplemenjenih otisaka koristeći prethodno razmatrane tehnike. Dodatkom mirisnih mikrokapsula u lakove

utiče se na površinsku strukturu oplemenjenih uzoraka, tako da ona postaje grublja i nepravilnija uz više masene koncentracije (slika 6.7c, 6.7d, 6.7e, 6.7f). Za razliku od prethodno razmatranih oplemenjenih uzoraka sa masenom koncentracijom mikrokapsula od 1%, izrađenih sito tehnikom štampe i ručnom tehnikom premazivanja, na oplemenjenim uzorcima ovom tehnikom, istom masenom koncentracijom mikrokapsula u laku, mikrokapsule su u većoj meri prisutnije na površini otiska, OL₁_1% uzorak (slika 6.7c, 6.7d). Aplicirane mikrokapsule su pozicionirane na površini oplemenjenih uzoraka što je dobro u pogledu ispoljavanja njihove funkcionalnosti, koja se ostvaruje mehaničkim delovanjem na površinu oplemenjenog uzorka (trljanjem). Ukoliko su mikrokapsule pozicionirane ispod površine laka ili boje u koju su dodate, tada će i oslobađanje enkapsulirane aktivne materije biti otežano i ograničeno, a samim tim i lošija funkcionalnost oplemenjenih površina. Ni ovde nije primećena aglomeracija mikrokapsula, a aplicirane mirisne mikrokapsule su neoštećene, što pokazuje da se ofset tehnika štampe može uspešno koristiti za aplikaciju mirisnih mikrokapsula.



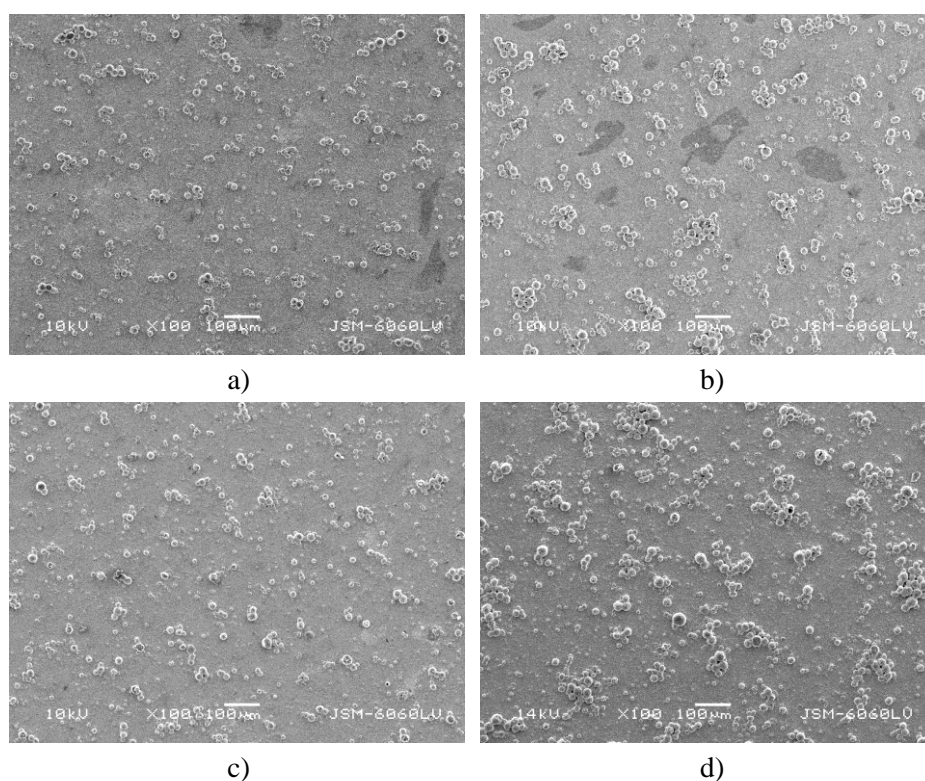
Slika 6.7. Površina uzoraka štampanih ofset tehnikom štampe: a) OL₁_0%, b) OL₁_0% nagib, c) OL₁_1%, d) OL₁_1% nagib, e) OL₁_15%, f) OL₁_15% nagib, (SEM; 500× i 2000× uvećanje)

Na slici 6.8 je prikazan izgled oplemenjenih uzoraka (transparentna folija) različitim koncentracijama mirisnih mikrokapsula (0%, 1% i 15%) u L₂ laku koristeći tehniku ofset štampe (Prufbau uređaj). Sa slike 6.8 a i b, gde su prikazane površine oplemenjene samo L₁ lakom bez mikrokapsula (OL₂_0% uzorak), vidi se da je površina ovih otisaka dosta pravilna i glatka, pravilnija od prethodno razmatranih oplemenjenih uzoraka drugim tehnikama. Dodavanje mirisnih mikrokapsula u lakove dobija se grublja i nepravilnija površinska struktura oplemenjenih uzoraka, što se povećava višim masenim koncentracijama mikrokapsula u laku (slika 6.8c, 6.8d, 6.8e, 6.8f). I ovde se na oplemenjenim uzorcima masenom koncentracijom mikrokapsula od 1% lakše uočavaju mikrokapsule na površini otiska, OL₂_1% (slika 6.8c, 6.8d) u odnosu na oplemenjene površine istom masenom koncentracijom mikrokapsula a drugim tehnikama oplemenjivanja. Aplicirane mirisne mikrokapsule su neoštećene i pozicionirane su na površini oplemenjenih uzoraka, dok aglomeracija mikrokapsula nije primećena. Ovo pokazuje da se ofset tehnika štampe može uspešno koristiti za aplikaciju mirisnih mikrokapsula.



Slika 6.8. Površina uzoraka štampanih ofset tehnikom štampe: a) OL₂_0%, b) OL₂_0% nagib, c) OL₂_1%, d) OL₂_1% nagib, e) OL₂_15%, f) OL₂_15% nagib, (SEM; 500× i 2000× uvećanje)

Na slici 6.9 su prikazane SEM slike izgleda punog tona oplemenjenih otisaka PCM (MK₃) mikrokapsulama (10% masena koncentracija mikrokapsula u beloj boji) u dve različite debljine sloja boje, tampon tehnikom štampe na mat i sjajnom premaznom papiru gramature 170 g/m². Na oplemenjenim otiscima se individualne mikrokapsule teško mogu uočiti, ali su njihovi aglomerati lako vidljivi. Izrađene SEM slike pokazuju da formirani aglomerati PCM mikrokapsula na površini oplemenjenih uzoraka nisu oštećeni tokom tampon štampe, što je rezultat relativno niskog pritiska koji se ostvaruje u procesu štampe kao i niske tvrdoće međuprenosnog elementa u ovom postupku štampe (silikonskog tampona). Ovo potvrđuje da se tampon tehnika štampe može uspešno koristiti za proces oplemenjivanja papirnih podloga za štampu mikrokapsulama. Na slici 6.9b i 6.9d se može primetiti da štampa (oplemenjivanje) sa većim nanosom boje (R₂₀ puno tonsko polje) omogućava veću količinu mikrokapsula i to na obe korišćene podloge za štampu.



Slika 6.9. Izgled površine oplemenjenih uzoraka tampon štampom: a) mat R₆₀, b) mat R₂₀, c) sjajni R₆₀ i d) sjajni R₂₀ (SEM; 100× uvećanje)

6.1.3 Analiza mikromehaničkih karakteristika oplemenjenih uzoraka

Određivanjem mikromehaničkih osobina oplemenjenih materijala mirisnim mikrokapsulama dobija se informacija o postojanosti apliciranog funkcionalnog premaza, jer aplicirane mirisne mikrokapsule svoju funkcionalnost ispoljavaju primenom odgovarajuće sile pritiska, pod čijim uticajem njihov omotač puca i oslobađa aktivnu materiju, enkapsulirani miris. Za određivanje mikromehaničkih karakteristika (Jangov modul elastičnosti, tvrdoća, maksimalna deformacija, maksimalni primenjeni napon, krive odnosa napona i deformacije) mirisnih mikrokapsula u vodenoj suspenziji (MK₁), podloge za oplemenjivanje (transparentne folije) i oplemenjenih otisaka L₁ lakom pomoću manuelne tehnike

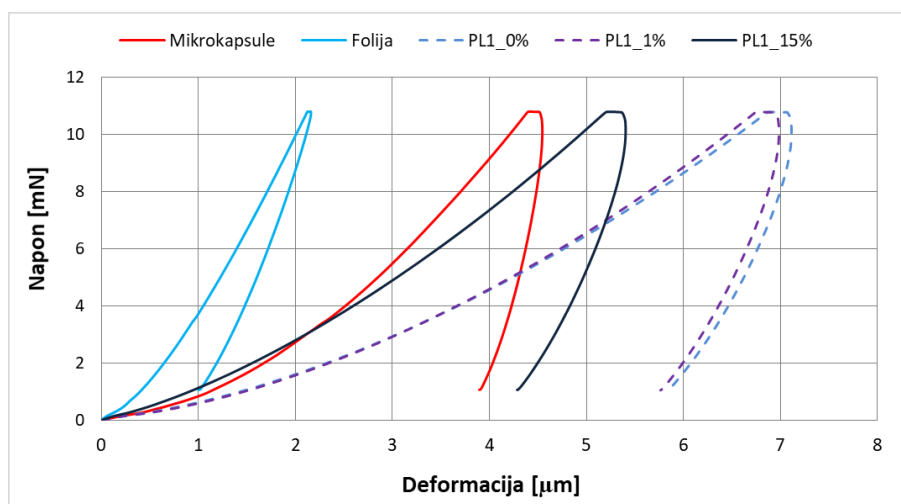
premazivanja, korišćenjem tri masene koncentracije mikrokapsula u laku (0%, 1% i 15%), primenjen je metod nanoindentacije (pedeset utiskivanja za svaki uzorak, Poasonov koeficijent 0,18, opterećenje utiskivača od 11 mN, Berkovič geometrija merne glave).

U tabeli 6.5 su predstavljene izmerene vrednosti Jangovog modula elastičnosti, tvrdoće, maksimalne deformacije i maksimalnog primenjenog napona, kao i izračunate vrednosti standardne devijacije za prethodno navedene parametre. Najviša vrednost modula elastičnosti je izmerena na uzorku mirisnih mikrokapsula, dok je najveća tvrdoća zabeležena na neoplemenjenoj transparentnoj foliji, tabela 6.5. U slučaju oplemenjenih uzoraka različitim koncentracijama mirisnih mikrokapsula, uočljiv je trend porasta vrednosti modula elastičnosti, tj. unapređenja elastičnih osobina ispitivanih premaza, kao i tvrdoće, sa povećavanjem masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u sloju laka, uz smanjivanje plastične deformacije, tj. dubine utiskivanja. Iz tabele 6.5 se vidi da PL1_15% uzorak ima veliku standardnu devijaciju, dakle on je najheterogenijeg ponašanja, što se moglo i pretpostaviti zbog dodataka mikrokapsula.

Tabela 6.5. Mikromehaničke karakteristike mirisnih mikrokapsula, folije i oplemenjenih uzoraka

Uzorak	Modul elastičnosti [GPa]	Tvrdoća [GPa]	Maksimalna deformacija [μm]	Maksimalni napon [mN]
Mikrokapsule	$1,172 \pm 0,350$	$0,023 \pm 0,010$	$4,84 \pm 0,931$	$10,63 \pm 0,041$
Folija	$0,771 \pm 0,061$	$0,058 \pm 0,007$	$2,16 \pm 0,190$	$10,65 \pm 0,028$
PL1_0%	$0,188 \pm 0,010$	$0,003 \pm 0,000$	$7,10 \pm 0,184$	$10,61 \pm 0,054$
PL1_1%	$0,201 \pm 0,008$	$0,003 \pm 0,000$	$6,97 \pm 0,190$	$10,63 \pm 0,047$
PL1_15%	$0,353 \pm 0,275$	$0,009 \pm 0,015$	$5,63 \pm 1,371$	$10,61 \pm 0,033$

Na slici 6.10 su predstavljene generisane srednje vrednosti kriva odnosa napona i deformacije određene za mirisne mikrokapsule u vodenoj suspenziji (MK₁), transparentnu foliju i oplemenjene uzorke L₁ lakom bez i sa različitim masenim koncentracijama mirisnih mikrokapsula u njemu.

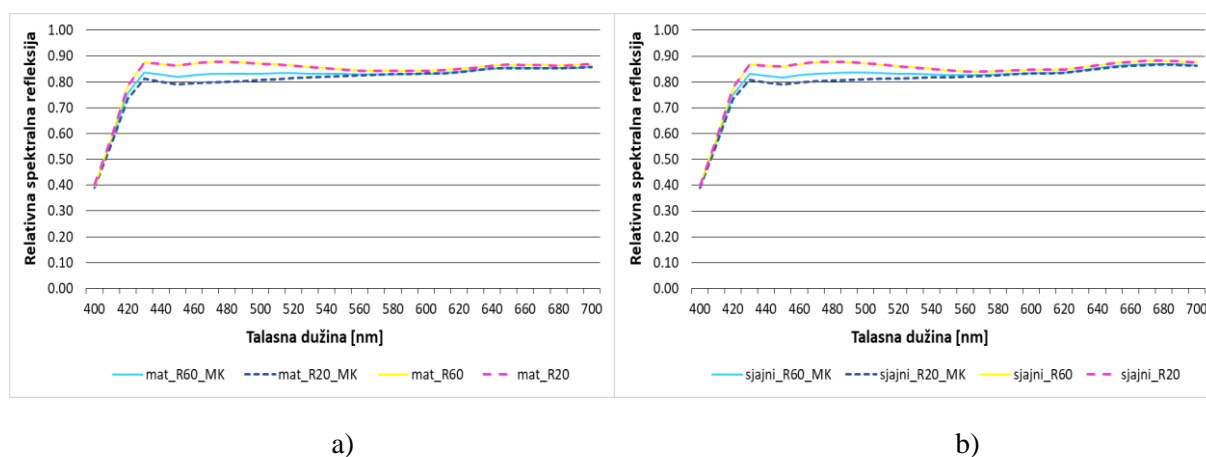


Slika 6.10. Izgled krivih napon-deformacija za uzorke: mirisne mikrokapsule, transparentna folija i oplemenjeni uzorci

Sa grafika se zapaža da transparentna folija (puna kriva cijan boje) poseduje znatno veću elastičnost u odnosu na oplemenjene uzorke sa lakom i različitim masenim koncentracijama mikrokapsula u njemu, na kom su i inicijalna deformacija pri maksimalnom naponu, kao i rezultujuća plastična deformacija relativno male. Predstavljene krive napon–deformacija na slici 6.10 ukazuju na to da je dodavanje mirisnih mikrokapsula u lak, a pogotovo više masene koncentracije (PL₁_15% uzorak), unapredilo elastične osobine oplemenjenih premaza, što je rezultat elastičnih karakteristika apliciranih mirisnih mikrokapsula, odnosno polimernog materijala od kog je izrađen njihov omotač.

6.1.4 Analiza optičkih karakteristika uzoraka oplemenjenih tampon tehnikom štampe

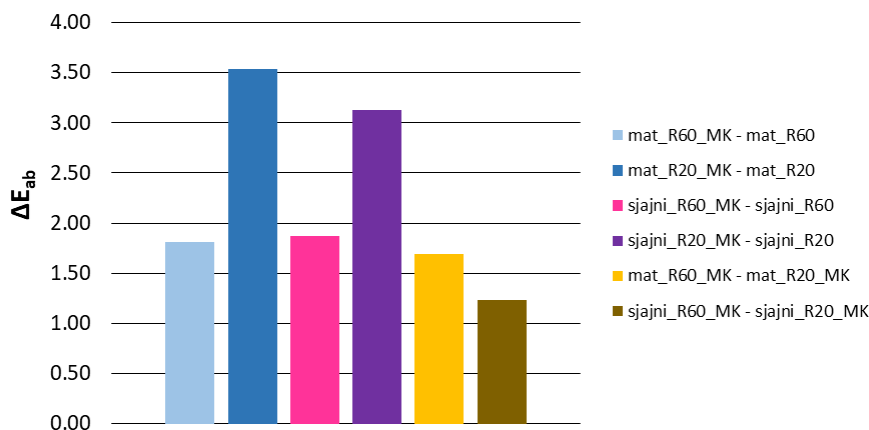
Na slici 6.11 su predstavljene izmerene vrednosti relativne spektralne refleksije uzoraka oplemenjenih tampon tehnikom štampe i PCM mikrokapsulama u masenoj koncentraciji od 10% u beloj boji za tampon štampu, na mat i sjajnom premaznom papiru. Oplemenjeni otisci bez mikrokapsula (mat_R₆₀, mat_R₂₀, sjajni_R₆₀ i sjajni_R₂₀) na obe korišćene papirne podloge za štampu, imaju identičan oblik krivih relativne spektralne refleksije koje se gotovo u potpunosti poklapaju (žuta i magenta isprekidana kriva). Ovo znači da količina, odnosno debljina nanosa ove bele boje nema uticaj na ton boje. Korišćenje različitih debljina sloja boje su prouzrokovale određene devijacije tona boje jedino na otiscima oplemenjenim PCM mikrokapsulama. Deblji sloj boje (R₂₀_MK – isprekidane plave krive) i posledično veća količina narandžastih mikrokapsula u odštampanom sloju boje je doveo do nešto nižih vrednosti relativne spektralne refleksije, tj. malo tamnijih otisaka u odnosu na one sa tanjim slojem boje (R₆₀_MK – cijan krive).



Slika 6.11. Relativna spektralna refleksija uzoraka sa i bez mikrokapsula koristeći dva nanosa boje (R₂₀ i R₆₀): a) 170 g/m² mat premazni papir, b) 170 g/m² sjajni premazni papir

Na slici 6.12 su predstavljene vrednosti razlika u boji (ΔE_{ab}) između neoplemenjenih i oplemenjenih uzoraka korišćenjem tampon tehnike štampe na papirnim podlogama (mat i sjajni premazni papir) pomoću bele boje i PCM mikrokapsula u masenoj koncentraciji od 10% u boji. Zabeležene razlike tona boje između uzoraka štampanih samo bojom bez mikrokapsula za oba korišćena papira i obe debljine nanosa boje su zanemarljive i mogu se klasifikovati u grupu razlika u boji koje nisu primetne. Registrovane razlike u boji između uzoraka štampanih sa manjim nanosom boje (mat_R₆₀_MK–mat_R₆₀ i sjajni_R₆₀_MK–sjajni_R₆₀) su u rasponu od $\Delta E_{ab}=1,81-1,87$ i smapaju u grupu veoma malih razlika u

boji. Veće razlike u boji su zabeležene kod uzoraka štampanih sa većim nanosom boje (mat_R20_MK–mat_R20 i sjajni_R20_MK–sjajni_R20), zbog veće količine narandžastih mikrokapsula ($\Delta E_{ab}=3,13-3,53$), i mogu se klasifikovati kao srednje razlike u boji.

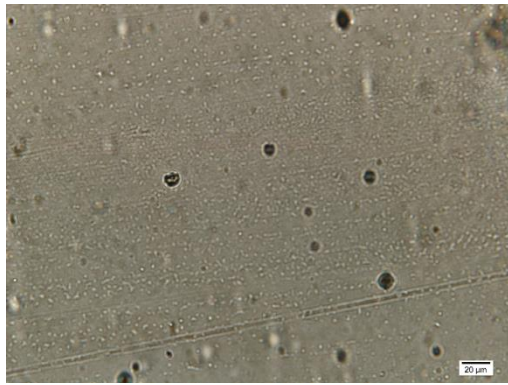


Slika 6.12. Razlike u boji (ΔE_{ab}) između neoplemenjenih i oplemenjenih uzoraka belom bojom i PCM mikrokapsulama

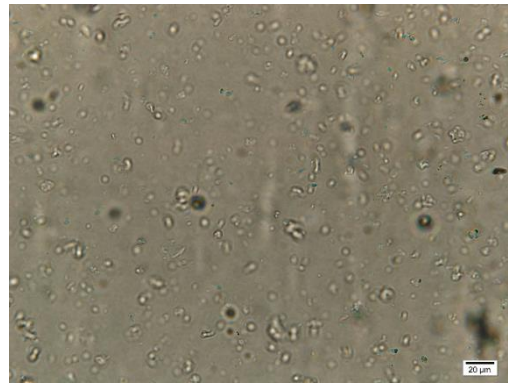
Razlike u boji između uzoraka oplemenjenih PCM mikrokapsulama na istom papiru, različitim debljinama nanosa boje, a time i različitim količinama PCM mikrokapsula, spadaju u grupu veoma malih razlika – $\Delta E_{ab}=1-2$ (maksimalno $\Delta E_{ab}=1,69$ zabeleženo između uzoraka mat premaznog papira mat_R60_MK i mat_R20_MK). Dobijeni rezultati su očekivani, jer je boja omotača PCM mikrokapsulula narandžasta, tako da je veća količina mikrokapsula proizvela veće razlike u boji.

6.1.5 Mikroskopska analiza oplemenjenih uzoraka sa lakom i mikrokapsulama na foliji

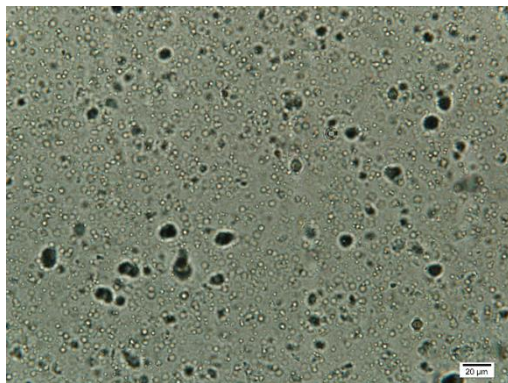
Oplemenjeni uzorci transparentne folije korišćenjem L₁ laka i dve masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u vodenoj suspenziji (1% i 15%) pomoću ofset tehnike štampe (Prufbau) analizirani su i upotrebom mikroskopa BX51 System Microscope (Olympus, Japan) u cilju analize distribucije, odnosno pozicija apliciranih mirisnih mikrokapsula u oplemenjnom sloju laka (slika 6.13). Obzirom da su uzorci folije transparentni, bilo je moguće snimiti uzorke i po vertikalnoj (Z-osi) kako bi se analizirala pozicija mirisnih mikrokapsula ne samo na površini već i u samom sloju apliciranog vododisperzivnog laka. Za razliku od neoplemenjenog uzorka (slika 6.13a) na oplemenjnom uzorku samo lakom, bez mikrokapsula (6.13 b) primećuje se pojava čestica polietilenskog voska koji se nalazi u sastavu korišćenog laka. Na oplemenjivanjenom uzorku lakom i mirisnim mikrokapsulama u masenoj koncentraciji od 1%, uočljive su nove strukture, veoma pravilnog, kružnog oblika (mirisne mikrokapsule). Međutim, na oplemenjnom uzorku lakom i mirisnim mikrokapsulama u masenoj koncentraciji od 15% (6.13 d), nije moguće razaznati međusobno mikrokapsule od oštećenja folije, vazdušnih mehurića koji se stvaraju u procesu aplikacije mikrokapsula, tako da je ovaj metod ipak odbačen, a za procenu uniformnosti distribucije su korišćene SEM slike.



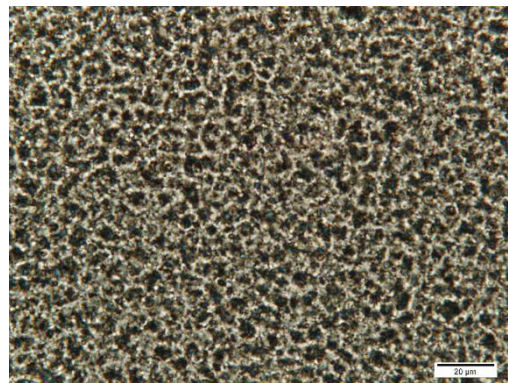
a)



b)



c)



d)

Slika 6.13. Izgled folije: a) bez laka, b) sa L_1 lakom bez mikrokapsula, c) sa L_1 lakom i 1% mikrokapsula, d) sa L_1 lakom i 15% mikrokapsula (1000× uvećanje)

6.1.6 Diskusija i zaključci preliminarnih istraživanja

Vizuelnom analizom predstavljenih SEM slika morfologije korišćenih mikrokapsula i površinskih karakteristika oplemenjenih površina izrađenih na različitim podlogama za štampu kombinacijom različitih tipova mikrokapsula, boje, lakova i tehnika za oplemenjivanje, utvrđeno je da su mirisne mikrokapsule u vodenoj suspenziji (MK_1) najpogodnije za proces oplemenjivanja. Najbitniji razlog za ovakav zaključak je to što ove mikrokapsule nemaju tendenciju grupisanja i stvaranja aglomerata kako u samoj suspenziji (slika 6.1), tako ni naknadno posle mešanja sa lakovima na bazi vode (L_1 i L_2) i oplemenjivanja podloga za štampu različitim tehnikama aplikacije. Za razliku od mirisnih mikrokapsula u vodenoj suspenziji, suve mirisne mikrokapsule (MK_2) kao i suve PCM mikrokapsule (MK_3) su pokazale visok stepen aglomeracije kako pre aplikacije (slika 6.2 i slika 6.3) tako i naknadno na površini oplemenjenih uzoraka. Aglomeracija utiče na količinu utrošenih mikrokapsula u procesu oplemenjivanja, kao i na raspored apliciranih mikrokapsula na oplemenjenim površinama što ima veliki efekat na najbitniju karakteristiku apliciranih mikrokapsula, a to je njihova funkcionalnost, koja zbog preterane aglomeracije može biti u velikoj meri limitirana. Zato će se za oplemenjivanje otisaka za glavni deo istraživanja koristiti mirisne mikrokapsule u vodenoj suspenziji (MK_1) koje će se mešati sa dva laka na bazi vode (L_1 i L_2).

Obzirom da će u glavnom delu istraživanja biti korišćene samo mikrokapsule u vodenoj suspenziji (MK_1) L_3 lak je odbačen jer zbog svog sastava, kao i karakteristika rastvorljivosti omotača odabranih

mikrokapsula omogućava samo mešanje sa suvim mikrokapsulama. Za proces oplemenjivanja su odabrani lakovi jer omogućavaju lakše uočavanje apliciranih mirisnih mikrokapsula, obzirom da lakovi za štampu ne sadrže pigment, njihova transparentija omogućavaju lakšu kontrolu kvaliteta otisaka određenim mikroskopskim uređajima. Takođe, ukoliko se mirisne mikrokapsule apliciraju u sloju laka (iznad prethodno odštampanog sloja boje) u manjoj meri se utiče na prethodno odštampani motiv (nego da su pomešane sa bojom i na taj način odštampane), a omogućava se i bolja funkcionalnost oplemenjenih površina (u odnosu na štampu mikrokapsula sa bojom), jer će se prenete mikrokapsule nalaziti u površinskom sloju laka i na taj način će biti lakše aktivirane. Takođe, generalno veća gustina i viskozitet boja za štampu (npr. boja za ofset štampu) u odnosu na lakove za štampu, može da izazove grupisanje mikrokapsula, što ima negativan uticaj na raspored mikrokapsula u odštampanom sloju, a samim tim i na funkcionalnost oplemenjenih površina, uz najčešće povećanje potrošnje mikrokapsula. Pored ograničenja kod L_3 laka vezanog za mogućnost mešanja samo određenog tipa mikrokapsula, postojale su još i određene teškoće koje su se javile prilikom aplikacije ovog laka različitim tehnikama oplemenjivanja, kao što su sito i ofset tehnika štampe. Naime, zbog veoma brzog sušenja apliciranog sloja laka i bez i sa mikrokapsulama prilikom oplemenjivanja sito tehnikom štampe, dolazilo je do vrlo brzog zapušavanja štampanjućih površina sita, što je onemogućilo brzu, ponovljivu i kvalitetnu štampu i produžilo proces čišćenja i pripreme sita za svaki sledeći otisak. Takođe, prebrzo sušenje laka na bazi ulja (L_3) je u potpunosti onemogućilo oplemenjivanje uzoraka ofset tehnikom štampe (Prufbau uređaj). Odabrani lakovi na bazi vode (L_1 i L_2) za proces oplemenjivanja u okviru glavnog dela istraživanja su jednostavniji za rad (lakša priprema i čišćenje), omogućavaju oplemenjene površine boljeg kvaliteta (nema aglomeracije) i ekološki su prihvatljiviji u odnosu na L_3 lak na bazi ulja.

Iako su se sve primenjene tehnike za oplemenjivanje uzoraka različitim tipovima mikrokapsula pokazale kao adekvatne, jer nije bilo oštećenja apliciranih mikrokapsula, za proces oplemenjivanja kombinacijom lakova na bazi vode i mirisnih mikrokapsula u vodenoj suspenziji su odbačene sve prethodno korišćene tehnike za oplemenjivanje. Manuelna sito tehnika štampe se ipak pokazala nepodesnom za oplemenjivanje odabranim lakovima, jer njihove karakteristike nisu prilagođene za štampu ovom tehnikom. Obzirom da je gustina i viskozitet korišćenih lakova previše mala, tokom oplemenjivanja je dolazilo do curenja lakova, zatim do zapušavanja štampanjućih površina sita, a zabeleženi su i tragovi šare sita na površini oplemenjenih uzoraka. Manuelna tehnika premazivanja se pokazala kao pogodna za oplemenjivanje uzoraka, ali obzirom da bitne parametare procesa oplemenjivanja kao što su pritisak i brzina oplemenjivanja nije moguće održavati konstantnim, kao jedna od tehnika oplemenjivanja za glavni deo istraživanja je odabrana automatska tehnika premazivanja gde je moguće kontrolisati navedene parametre procesa. Tampon tehnika štampe je uobičajena za štampu boja a ne lakova, koje su na bazi organskih rastvarača što je nekompatibilno sa materijalom omotača odabranih mirisnih mikrokapsula u vodenoj suspenziji. Ofset tehnika štampe, kao klasična tehnika ravne štampe, nije uobičajena tehnika za oplemenjivanje otisaka jer pored visokog pritiska u štampi (između međuprenosnog i pritisknog cilindra) omogućava suviše mali nanos boje/laka, pa su mikrokapsule ili oštećene tokom procesa aplikacije ili bivaju pozicionirane gotovo u potpunosti na površini oplemenjene površine što onemogućava duži eksploatacioni period (smanjena funkcionalnost jer se najveći deo enkapsuliranog mirisa prilikom prve aktivacije – trljanja oslobodi). Pored automatske tehnike premazivanja, za glavni deo istraživanja je odabrana i tehnika flekso štampe koja je pogodna za oplemenjivanje otisaka sa lakovima i mikrokapsulama, jer pored manjih pritisaka koji se ostvaruju u štampi u poređenju sa ofset tehnikom, konstrukcija jedinice za oplemenjivanje koja se koristi u sklopu ofset mašine za štampu radi upravo na ovom principu. Ova tehnika omogućava veći nanos boje/laka u

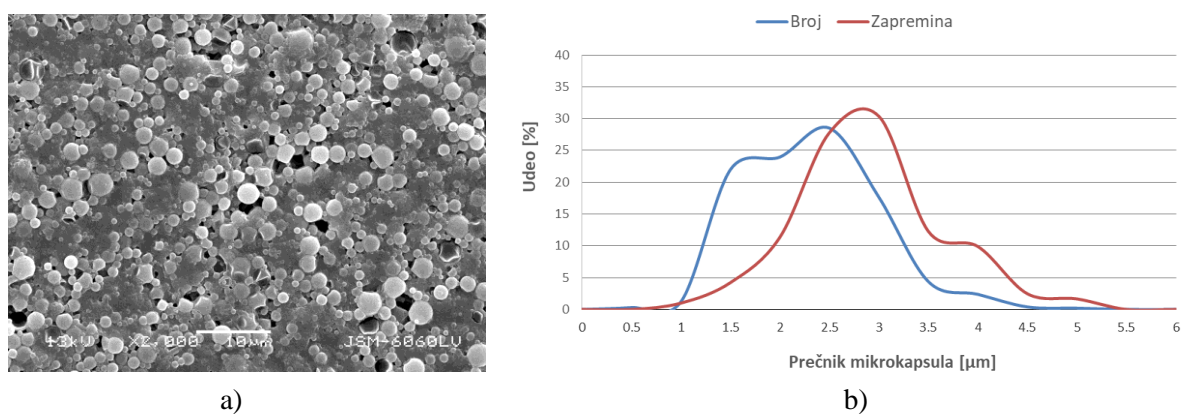
odnosu na ofset tehniku štampe, a time i za mogućnosti produženog dejstva apliciranih mikrokapsula, odnosno duže funkcionalnosti oplemenjenih površina.

6.2 Glavni deo istraživanja

U glavnom delu istraživanja ispitan je uticaj različitih tipova lakova i koncentracija mirisnih mikrokapsulama (u vodenoj suspenziji) u njima, kao i uticaj primenjenih tehnika za oplemenjivanje, na različite fizičke, morfološke, optičke, mehaničke i funkcionalne karakteristike oplemenjenih površina lakovima i mirisnim mikrokapsulama. Obzirom da je osnova ovog istraživanja jedna opsežna karakterizacija oplemenjenih otisaka mirisnim mikrokapsulama, uzorci su podvrgnuti različitim analizama kako bi se stekao uvid u stanje i ponašanje apliciranih mirisnih mikrokapsula na različitim podlogama za štampu kao i ponašanje ovih funkcionalnih premaza u procesu eksploatacije. U ovom segmentu rada su predstavljeni korišćeni materijali i tehnike za štampu i oplemenjivanje uzoraka mirisnim mikrokapsulama, kao i metode i merni uređaji za karakterizaciju korišćenih materijala i oplemenjenih otisaka.

6.2.1 Karakterizacija mikrokapsula

Na slici 6.14 je prikazan izgled mirisnih mikrokapsula u vodenoj suspenziji (slika 6.14a), koje su korišćene za oplemenjivanje uzoraka, kao i njihova distribucija veličina i zapremina (slika 6.14 b). Skenirajućom elektronskom mikroskopijom (SEM) i naknadnom vizuelnom analizom dobijenih SEM slika su ispitane morfološke karakteristike mirisnih mikrokapsula (Slika 6.14a), dok je za određivanje distribucije veličina i zapremina mikrokapsula korišćen i ImageJ softver (Slika 6.14b).

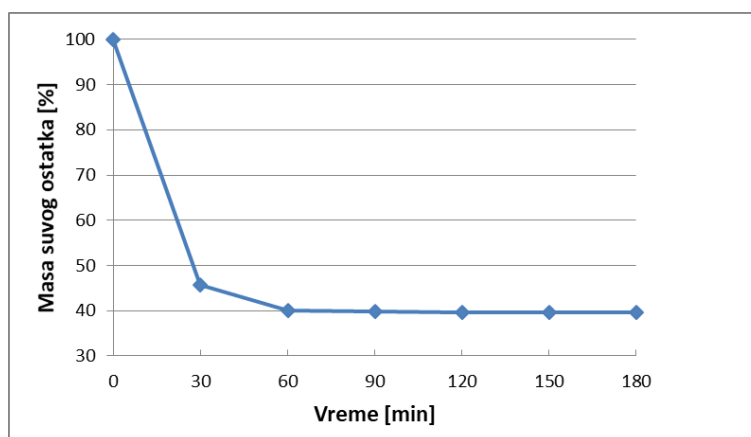


Slika 6.14. Izgled mirisnih mikrokapsula u vodenoj suspenziji (a) (SEM; 1.000× uvećanje), i njihova distribucija veličina i zapremina (b)

Predstavljene mirisne mikrokapsule imaju pravilan, sferni oblik i glatku površinu omotača. Veličine su im relativno ujednačene, dok aglomerati mikrokapsula, koji su svojstveni suvim mikrokapsulama nisu primećeni (Milošević, i drugi, 2017a). Distribucija veličina mikrokapsula je relativno uska, pozitivno asimetrična (plava kriva, slika 6.14b), gde 92,08% uzorkovanih mikrokapsula ima prečnik između 1 μm

i 3 μm . Prosečna veličina uzorkovanih mirisnih mikrokapsula iznosi 2,08 μm (st. dev. 0,63 μm), dok su minimalna i maksimalna veličina uzorkovanih mikrokapsula 1,06 μm i 4,60 μm respektivno. Nasuprot distribuciji veličina mikrokapsula, njihova zapreminska distribucija (crvena kriva, slika 6.14b) je gotovo simetrična, i daje indicaciju normalne raspodele zapremina, gde 17,62% uzorkovanih mirisnih mikrokapsula (veličine od 2,5 μm do 3 μm) čini 30,36% ukupne zapremine.

Određivanje osobina oslobađanja aktivne materije iz mikrokapsula je sprovedeno prema testu Šumige (2013), pomoću kog je ispitano da li i koja količina enkapsulirane aktivne materije (kombinacija esencijalnih ulja sa mirisima žalfije, ruzmarina i lavande) se difuzno oslobađa kroz omotač mirisnih mikrokapsula. U tu svrhu, mirisne mikrokapsule su postavljene u zagrejanu sušnicu na temperaturu od 135 °C i ostavljene 180 minuta (slika 6.15). Sa grafika na slici 6.15 se primećuje drastičan pad ukupne mase mirisnih mikrokapsula u vodenoj suspenziji posle 30 minuta provedenih u sušnici (54,3%), a ovo smanjenje mase odgovara isparavanju vode iz suspenzije u kojoj se mikrokapsule nalaze (Šumiga, 2013) dok preostala količina odgovara masi suvog ostatka mikrokapsula. Gubitak mase od 6,2% u toku narednih 150 minuta odgovara difuziji enkapsuliranog materijala jezgra kroz omotač mikrokapsula.



Slika 6.15. Masa suvog ostatka mirisnih mikrokapsula u vodenoj suspenziji tokom 180 minuta na 135 °C

6.2.2 Karakterizacija lakova

U okviru karakterizacije korišćenih lakova (i vodene suspenzije mirisnih mikrokapsula) za postupak oplemenjivanja otisaka (bez i sa različitim koncentracijama mirisnih mikrokapsula) ispitane su njihove osnovne karakteristike koje utiču na postupak i kvalitet oplemenjivanja, kao što su gustina, površinski napon, pH vrednost i viskozitet. U tabeli 6.6 su predstavljeni dobijeni rezultati gustine i površinskog napona korišćenih L₁ i L₂ lakova, kao i pH vrednosti lakova bez i sa različitim koncentracijama mirisnih mikrokapsula u njima (1%, 7% i 15%). Na osnovu predstavljenih rezultata vidi se da L₂ lak ima veću gustinu u odnosu na L₁ lak, što se moglo uočiti i prilikom procesa oplemenjivanja L₁ lakom automatskom tehnikom premazivanja, obzirom da se brzina premazivanja morala povećati na sa inicijalne od 3 m/min na 8 m/min, jer se L₁ lak prebrzo razlivao onemogućavajući glavi za premazivanje da ga ravnomerno nanese na korišćene premazne papire.

Određivanje površinskog napona je vršeno pomoću metode „viseće kapi“ (*eng. pendant drop method*) korišćenjem napredne verzije ImageJ softvera, Fiji ImageJ (ImageJ, 2017) i programskog dodatka za

navedeni softver, koji pomoću informacije o obliku kapi, odnosno pomoću slike kapljice, vrši proračun površinskog napona (Daerr, i drugi, 2016). Dobijene vrednosti površinskog napona za lakove su relativno velike, zbog visokog površinskog napona vode koja se nalazi u sastavu korišćenih lakova (površinski napon vode je 72 mN/m dok on za boje na bazi rastvarača iznosi od 20 mN/m do 35 mN/m). Lak L₂ poseduje značajno niže vrednosti površinskog napona u odnosu na L₁ lak, što znači da bolje kvasi podlogu za štampu (Lichtenberger, 2004).

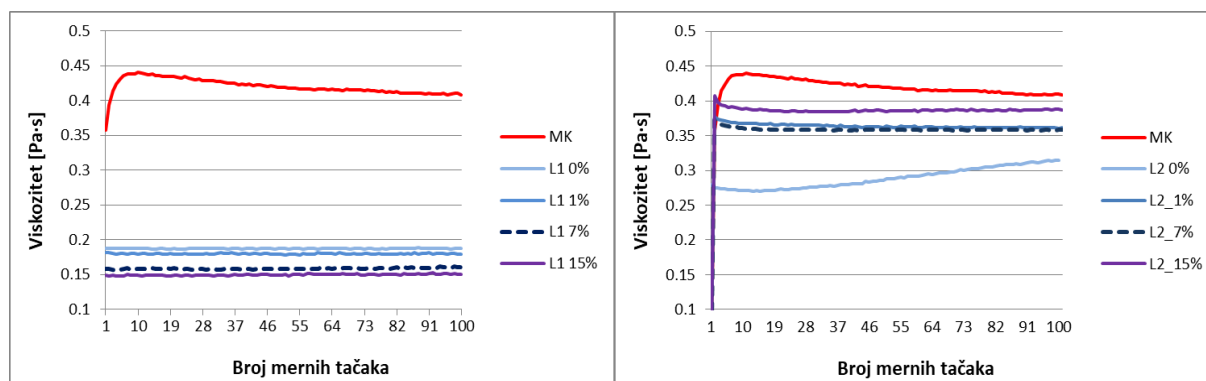
Tabela 6.6. Karakteristike korišćenih mirisnih mikrokapsula i lakova

Uzorak	Gustina [g/cm ³]	Površinski napon [mN/m]	Uzorak	pH vrednost
Mikrokapsule	/	/	MK	5,637
L₁ lak	1,0042	61,33	L_{1_0%}	8,345
			L_{1_1%}	8,292
			L_{1_7%}	8,134
			L_{1_15%}	7,985
L₂ lak	1,0160	46,91	L_{2_0%}	7,970
			L_{2_1%}	7,806
			L_{2_7%}	7,956
			L_{2_15%}	7,671

U tabeli 6.6 su takođe predstavljene i izmerene pH vrednosti korišćenih mirisnih mikrokapsula, lakova kao i kombinacije lakova i mikrokapsula u četiri različite masene koncentracije (0%, 1%, 7% i 15%). Zabeležena pH vrednost vodene suspenzije mirisnih mikrokapsula pokazuje njihovu kiselu prirodu, dok su lakovi bez mikrokapsula baznog karaktera. Zbog niže pH vrednosti u odnosu na lakove, dodatak i povećanje koncentracije mirisnih mikrokapsula u lakovima je uzrokovao smanjenje pH vrednosti mešavine mirisnih mikrokapsula i lakova, osim u slučaju L₂ laka sa 7% masene koncentracije mikrokapsula u njemu, gde je dobijena viša pH vrednost u odnosu na L₂ lak sa manjom koncentracijom mikrokapsula (1%), tabela 6.6. Boje za tabačnu ofset štampu, odnosno pigmenti koji se nalaze u njima mogu reagovati i menjati nijansu zbog nekompatibilnosti sopstvene pH vrednosti primenjenog laka na vodenoj bazi, što naravno negativno utiče na kvalitet štampe (Galić, i drugi, 2015). Takođe, pH vrednost utiče na viskozitet, stabilnost i brzinu sušenja boja na bazi vode (flekso štampa), na način da će viša pH vrednost usloviti manji viskozitet boje, kao i duži proces sušenja i obrnuto (American Inks and Coatings, n.d.). Današnji papiri za štampu se najčešće izrađuju kao pH neutralni ili alkalni, a u slučaju kvalitetnijih papira, aplicirani premazni slojevi su takođe baznog karaktera, što ima uticaja na stabilnost papira (Verso Corporation, 2016). Obzirom na ovu karakteristiku papira i njihovih premaznih slojeva, i kompatibilnosti sa izmerenim pH vrednostima lakova i mešavine lakova i mikrokapsula (koje su takođe alkalnog karaktera), nije primećen uticaj pH vrednosti sredstva za oplemenjivanje na odštampanu boju i podloge za štampu.

Na slici 6.16 su predstavljene izmerene karakteristike viskoziteta korišćenih lakova bez i sa različitim koncentracijama mirisnih mikrokapsula u njima. Izmerena viskoznost vodene suspenzije mirisnih mikrokapsula ima najveću vrednost viskoziteta, pa njihovim dodavanjem u lak L₂ postepeno povećava vrednost viskoziteta mešavine L₂ laka i mikrokapsula (slika 6.16b). Sa grafika se vidi da L₂ lak ima viši

viskozitet u odnosu na L_1 lak. U slučaju L_1 laka povećanjem masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u laku postepeno opada vrednost mešavine laka i mikrokapsula.



a)

b)

Slika 6.16. Viskozitet lakova i mešavine lakova i različitih koncentracija mikrokapsula

6.2.3 Karakterizacija podloga za štampu i oplemenjenih otisaka

Kontrola kvaliteta štampanih otisaka predstavlja neizostavan deo grafičke proizvodnje kako kod konvencionalnih postupaka štampe tako i u slučaju oplemenjivanja otisaka, npr. štampom mikrokapsula. Iako je kvalitet finalnog grafičkog proizvoda gotovo isključivo vezan za vizuelni doživljaj štampanog materijala, oplemenjivanjem otisaka mikrokapsulama se pored vizuelnog i taktilnog aspekta štampanog materijala, omogućava i integracija mirisa korišćenjem mikroenkapsulacije eteričnih ulja (Pavić, 2015a). Međutim, uključivanje mikrokapsula u proces štampe neminovno dovodi do promena bazičnih karakteristika štampanog materijala, zato je merenje i praćenje fizičkih, morfoloških, mehaničkih i optičkih svojstava otisaka izrađenih na ovaj način preduslov za utvrđivanje efekata različitih tipova lakova, koncentracija mirisnih mikrokapsula u njima i primenjenih tehnika za oplemenjivanje, na kvalitet finalnog štampanog proizvoda.

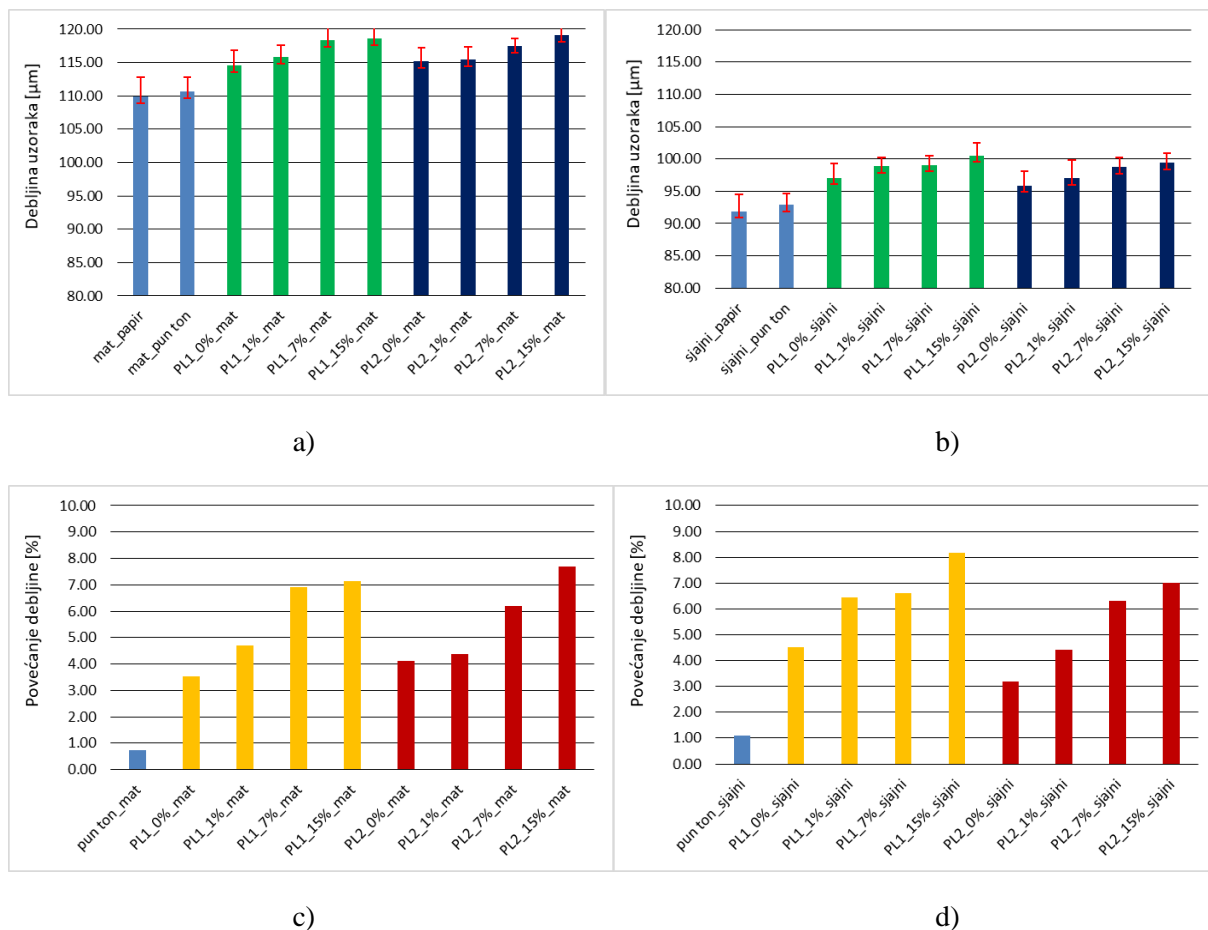
6.2.3.1 Analiza fizičkih karakteristika podloga za štampu i oplemenjenih otisaka

U ovom segmentu rada su analizirane fizičke karakteristike, debljina i gramatura, neštampanih, štampanih, kao i oplemenjenih štampanih uzoraka lakovima bez i sa različitim koncentracijama mirisnih mikrokapsula. Obe fizičke karakteristike su određene na isti način, korišćenjem iste, već opisane merne opreme za karakterizaciju podloga za štampu, u skladu sa odgovarajućim standardima.

Na slici 6.17 su predstavljene srednje vrednosti debljine i vrednosti standardne devijacije neoplemenjenih i oplemenjenih otisaka, kao i vrednosti procentualnog povećanja debljine oplemenjenih otisaka (mat i sjajni premazni papir) automatskom tehnikom premazivanja, korišćenjem četiri različite masene koncentracije mirisnih mikrokapsula (0%, 1%, 7% i 15%) u lakovima (L_1 i L_2). Na slici 6.18 su prikazane srednje vrednosti debljine i vrednosti standardne devijacije otisaka oplemenjenih flekso tehnikom štampe. Otisci oplemenjeni automatskom tehnikom premazivanja su obeleženi slovom P, a otisci oplemenjeni flekso tehnikom štampe slovom F; L_1 i L_2 označavaju tipove korišćenih lakova (lak

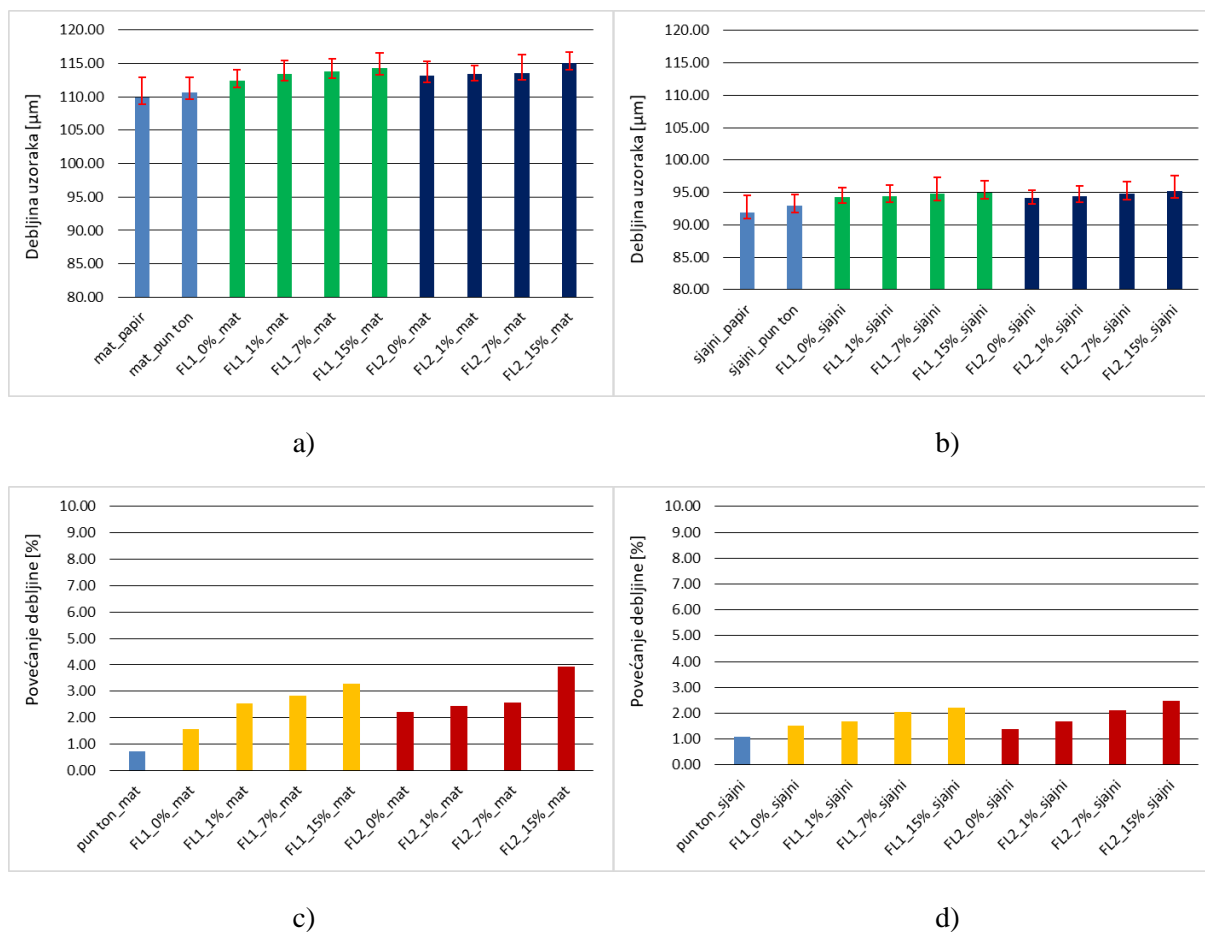
1 i lak 2 respektivno), dok procentualne vrednosti 0%, 1%, 7% i 15% označavaju masenu koncentraciju dodatih mirisnih mikrokapsula u odgovarajući lak.

Na slici 6.17a i 6.17b se uočava rastući trend vrednosti debljine oplemenjenih otisaka sa porastom masene koncentracije dodatih mirisnih mikrokapsula u lakovima, nezavisno od njegovog tipa i korišćene vrste podloge za štampu (mat i sjajni premazni papir), što je u skladu sa dobijenim rezultatima debljine oplemenjenih uzoraka od folije u preliminarnom delu istraživanja. Takođe, i izračunato procentualno povećanje debljine oplemenjenih uzoraka ukazuje na rastući trend debljine oplemenjenog sloja sa povećanjem masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u lakovima (slika 6.17c i 6.17d). Kod mat premaznog papira je zabeležena vrlo slična, ali ipak neznatno viša prosečna vrednost debljine oplemenjenih slojeva korišćenjem L₂ laka (6,18 µm; 4,55 µm – 8,50 µm) u odnosu na oplemenjene slojeve dobijene L₁ lakom (6,16 µm; 4,20 µm – 7,60 µm). Kod sjajnog premaznog papira je zabeležena obrnuta situacija, viša prosečna vrednost debljine oplemenjenih slojeva korišćenjem L₁ laka (5,99 µm; 3,90 µm – 7,90 µm) u odnosu na oplemenjene slojeve dobijene pomoću L₂ laka (4,85 µm; 2,95 µm – 6,90 µm). Takođe, na mat premaznom papiru su postignute više prosečne vrednosti debljine oplemenjenog sloja u odnosu na uzorke sjajnog premaznog papira.



Slika 6.17. Rezultati debljine otisaka oplemenjenih automatskom tehnikom premazivanja: a) mat premazni papir, b) sjajni premazni papir; i procentualno povećanje debljine oplemenjenih otisaka: c) mat premazni papir, d) sjajni premazni papir

U slučaju oplemenjivanja uzoraka tehnikom flekso štampe, slika 6.18a i 6.18b, se kao i kod uzoraka oplemenjenih tehnikom automatskog premazivanja, uočava rastući trend vrednosti debljine oplemenjenih otisaka sa povećanjem masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u lakovima, nezavisno od njegovog tipa i korišćenje podloge za štampu. U odnosu na debljine oplemenjenih slojeva tehnikom automatskog premazivanja, dobijeni oplemenjeni slojevi tehnikom flekso štampe su značajno tanji. I kod mat i kod sjajnog premaznog papira je zabeležena nešto viša prosečna vrednost debljine oplemenjenih slojeva korišćenjem L₂ laka (mat premazni papir: 3,09 μm; 2,45 μm – 4,35 μm; sjajni premazni papir: 1,78 μm; 1,3 μm – 2,3 μm) u odnosu na oplemenjene slojeve dobijene L₁ lakom (mat premazni papir: 2,84 μm; 1,75 μm – 3,65 μm; sjajni premazni papir: 1,73 μm; 1,4 μm – 2,05 μm). Samim tim što su ostvarene debljine oplemenjenih slojeva korišćenjem flekso tehnike štampe niže, manje je i procentualno povećanje debljine oplemenjenih slojeva (slika 6.18c i slika 6.18d). Na mat premaznom papiru je postignuta veća debljina oplemenjenog sloja, tj. viša prosečna vrednost debljine oplemenjenog sloja u odnosu na oplemenjene otiske sjajnog premaznog papira.



Slika 6.18. Rezultati debljine otisaka oplemenjenih flekso tehnikom štampe:

a) mat premazni papir, b) sjajni premazni papir; i procentualno povećanje debljine oplemenjenih uzoraka: c) mat premazni papir, d) sjajni premazni papir

U tabeli 6.7 su predstavljeni rezultati izvršene statističke analize izmerenih vrednosti debljine oplemenjenih slojeva lakovima, bez i sa različitim masenim koncentracijama mirisnih mikrokapsula u njima, koristeći različite podloge za štampu, kao i tehnike oplemenjivanja.

Tabela 6.7. Rezultati statističke analize vrednosti debljine oplemenjenog sloja laka

Tip analize	Ispitivani faktori		p	Eta kvadrat	
1. Dvofaktorska analiza varijanse	tehnika*lak		0,061	0,006	
	tehnika		0,000	0,365	
	lak		0,224	0,002	
2. Dvofaktorska analiza varijanse	tehnika*podloga		0,181	0,003	
	tehnika		0,000	0,371	
	podloga		0,000	0,031	
3. Dvofaktorska analiza varijanse	tehnika*koncentracija		0,000	0,052	
	tehnika		0,000	0,423	
	koncentracija		0,000	0,188	
3.1 Jednofaktorska analiza varijanse	uticaj koncentracije kod aut. teh. prem.		0,000	0,333	
3.2 Tukijev HSD test	(I) Koncentracija	(J) Koncentracija			
		0%	1%	0,003	-
			7%	0,000	-
			15%	0,000	-
		1%	7%	0,000	-
			15%	0,000	-
	7%	15%	0,011	-	
3.3 Jednofaktorska analiza varijanse	uticaj koncentracije kod flekso tehnike		0,000	0,060	
3.4 Tukijev HSD test	(I) Koncentracija	(J) Koncentracija			
		0%	1%	0,559	-
			7%	0,062	-
			15%	0,000	-
		1%	7%	0,635	-
			15%	0,015	-
	7%	15%	0,265	-	
4. Dvofaktorska analiza varijanse	lak*podloga		0,146	0,003	
	lak		0,327	0,002	
	podloga		0,000	0,020	
5. Dvofaktorska analiza varijanse	lak*koncentracija		0,608	0,003	
	lak		0,304	0,002	
	koncentracija		0,000	0,115	
6. Dvofaktorska analiza varijanse	podloga*koncentracija		0,373	0,005	
	podloga		0,000	0,022	
	koncentracija		0,000	0,117	

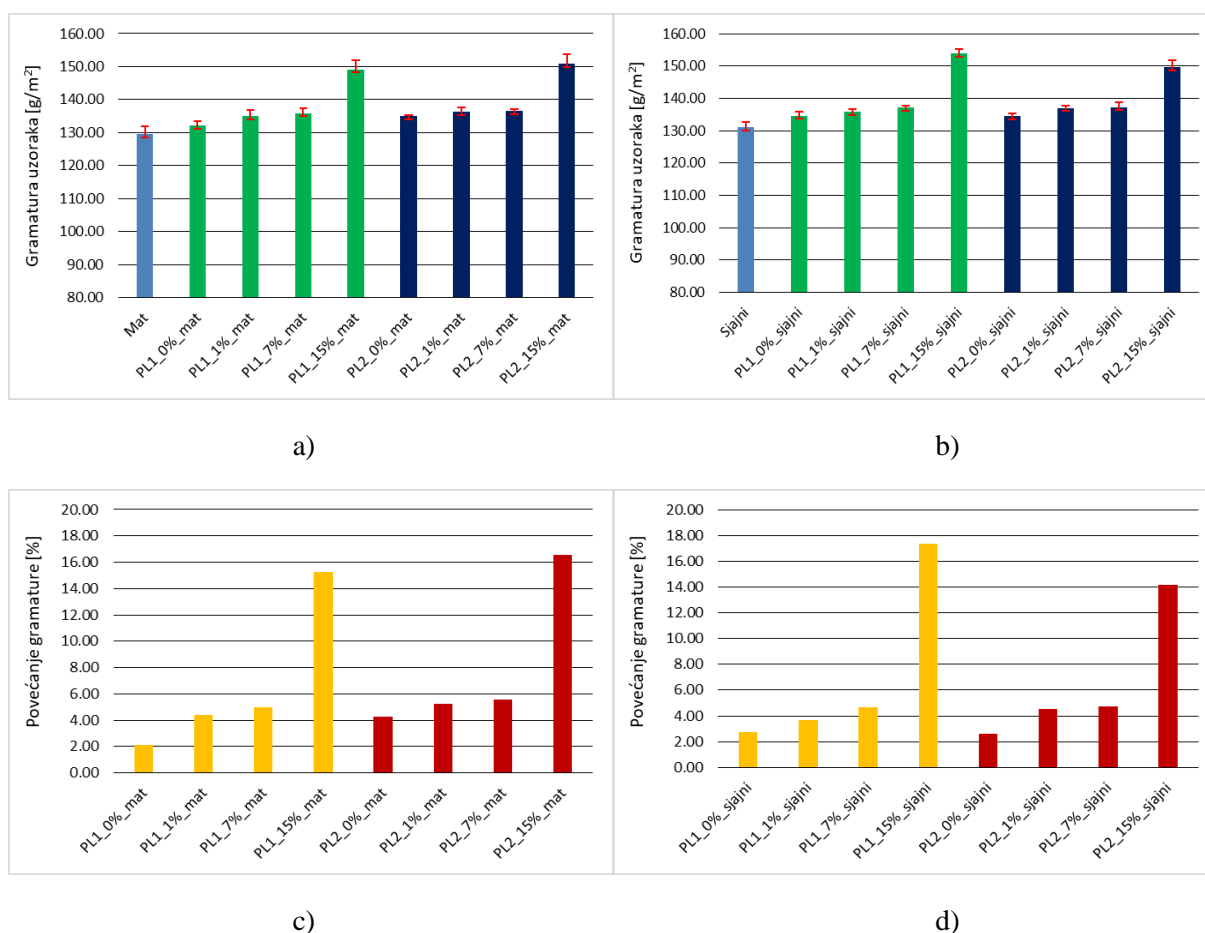
Na osnovu različitih statističkih analiza koje su sprovedene, dobijeni su rezultati statističke značajnosti uticaja (p) svakog od variranih faktora, odnosno nezavisnih promenljivih u procesu oplemenjivanja (tehnika oplemenjivanja, koncentracija mikrokapsula, tip laka i podloge za štampu), kao i rezultati eta kvadrata, pokazatelja veličine uticaja svakog od faktora na posmatranu izlaznu veličinu, tj. debljinu oplemenjenog sloja. Eta kvadrat je indikator veličine razlike između srednjih vrednosti različitih grupa i može imati vrednost između 0 i 1. Kada je jednak 0, to je indikacija da su srednje vrednosti posmatrane zavisne promenljive (debljine oplemenjenog sloja) za sve kategorije jednake, odnosno da nezavisna promenljiva ne utiče na posmatranu zavisnu promenljivu. U suprotnom, kada je eta kvadrat=1, posmatrano obeležje se ne menja unutar kategorija, već samo između različitih kategorija, odnosno da je uticaj nezavisne promenljive na zavisnu veliki (Pallant, 2007).

Izvršena multifaktorska analiza varijanse je pokazala da na debljinu oplemenjenog sloja laka nema statistički značajnog uticaja ($p < 0,05$) interakcije tri, odnosno četiri varirana faktora prilikom procesa oplemenjivanja (tehnika*lak*podloga: $p=0,099$; tehnika*lak*koncentracija: $p=0,872$; tehnika*podloga*koncentracija: $p=0,453$; lak*podloga*koncentracija: $p=0,149$; tehnika*lak*podloga*koncentracija: $p=0,813$), tabela 11.1 (Prilog 1). Takođe, dobijeni rezultati pokazuju da je zaseban uticaj svakog od faktora (izuzev tipa laka: $p=0,158$), kao i uticaj interakcije određenih parova faktora statistički značajan, zbog čega su izvršene i dodatne dvofaktorske analize varijanse kako bi se dati uticaji detaljnije analizirali i obrazložili (tabela 6.7).

Predstavljeni rezultati u tabeli 6.7, su pokazali da na postignutu debljinu sloja laka oplemenjenih otisaka, tip laka nema statistički značajan uticaj ($p > 0,05$), što je potvrđeno statističkom analizom kako zasebnog, tako i zajedničkog uticaja interakcije ovog faktora i preostale tri nezavisne promenljive (tehnike oplemenjivanja, tipa podloge i koncentracije mikrokapsula). Tehnika oplemenjivanja ima statistički značajan uticaj ($p < 0,05$) na debljinu oplemenjenog sloja laka, bez obzira na tip primenjenog laka, podloge, kao i koncentracije mirisnih mikrokapsula u lakovima. Veličina uticaja ovog faktora je veoma velika, shodno dobijenim vrednostima eta kvadrata, tabela 6.7. Takođe, utvrđeno je da i koncentracija mirisnih mikrokapsula u lakovima ima veoma velik uticaj na debljinu oplemenjenog sloja, nezavisno od korišćenog tipa laka, podloge za štampu i tehnike oplemenjivanja, uz izraženiji uticaj na otiske oplemenjene automatskom tehnikom premazivanja ($p=0,000$, eta kvadrat=0,333), tabela 6.7. Još jedan faktor koji u određenoj meri utiče na debljinu oplemenjenog sloja je i tip podloge za štampu, ali je uticaj ovog faktora mnogo manji u odnosu na primenjenu tehniku oplemenjivanja i koncentraciju mikrokapsula.

Nakon analize debljine oplemenjenih otisaka, analizirana je gramatura kao bitna fizička karakteristika neštampanih, štampanih i štampanih, oplemenjenih uzoraka lakovima bez i sa različitim koncentracijama mirisnih mikrokapsula. Na slici 6.19 su predstavljene srednje vrednosti gramature i vrednosti standardne devijacije neoplemenjenih i oplemenjenih otisaka, kao i procentualnog povećanja njihove gramature (mat i sjajni premazni papir), korišćenjem automatske tehnike premazivanja i četiri različite masene koncentracije mirisnih mikrokapsula (0%, 1%, 7% i 15%) u lakovima (L_1 i L_2). Na slici 6.20 su prikazane srednje vrednosti gramature i vrednosti standardne devijacije uzoraka oplemenjenih tehnikom flekso štampe. Uzorci su obeleženi na isti način kao i u okviru prethodne analize njihove debljine. Otisci oplemenjeni automatskom tehnikom premazivanja su obeleženi slovom P, a otisci oplemenjeni flekso tehnikom štampe slovom F; L_1 i L_2 označavaju tipove korišćenih lakova (lak 1 i lak 2 respektivno), dok procentualne vrednosti (0%, 1%, 7% i 15%) označavaju masenu koncentraciju dodatih mirisnih mikrokapsula u odgovarajući lak.

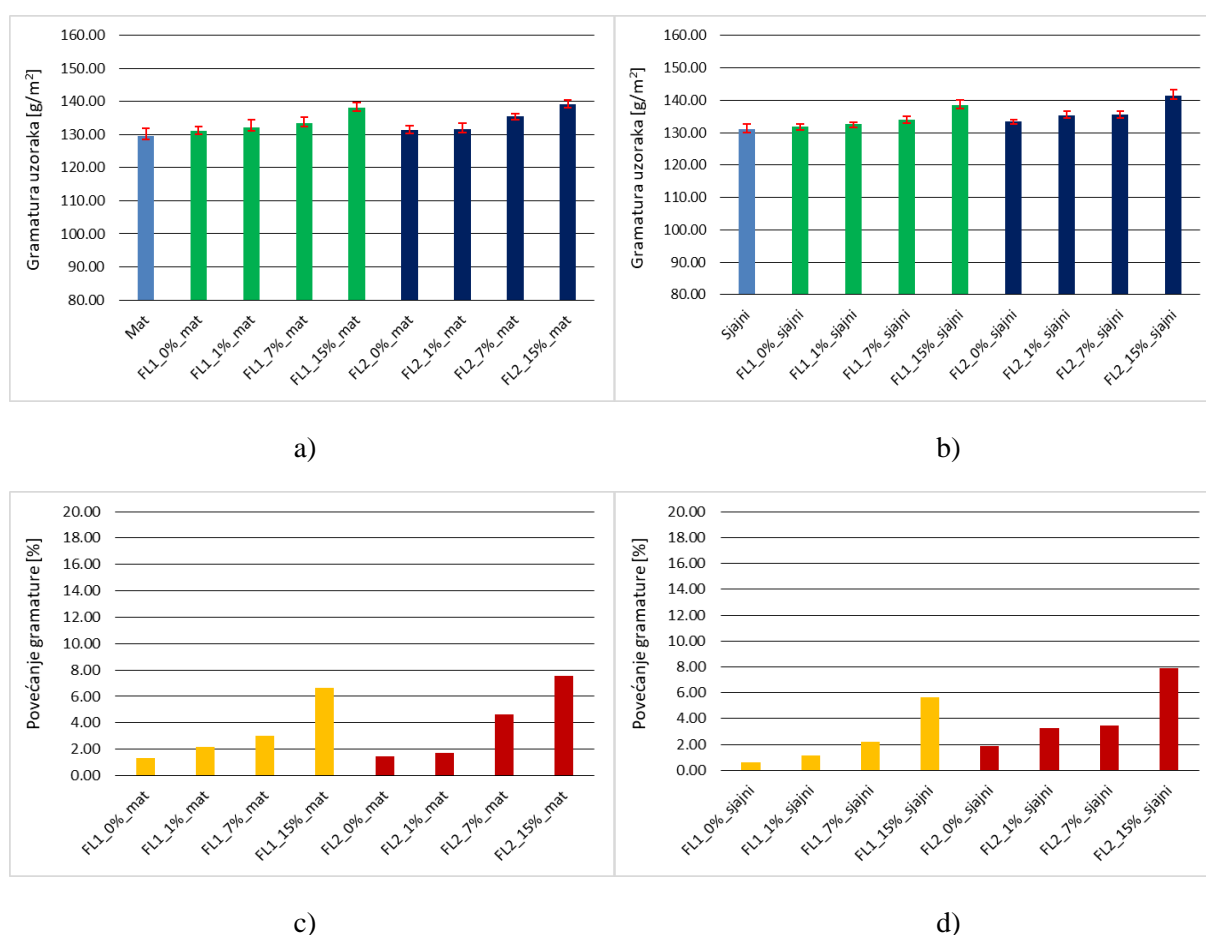
Gramatura mat i sjajnog premaznog papira, korišćenih za štampu i oplemenjivanje, prema specifikacijama proizvođača iznosi 130 g/m^2 , što je potvrđeno i merenjima ($129,44 \text{ g/m}^2$ i $131,11 \text{ g/m}^2$ – mat i sjajni premazni papir respektivno). Gramatura oplemenjenih uzoraka mat i sjajnog premaznog papira raste sa porastom masene koncentracije mirisnih mikrokapsula koje su dodate u lakove, bez obzira na njegov tip (slika 6.19a i slika 6.19b), što je u saglasnosti sa dobijenim rezultatima gramature oplemenjenih uzoraka transparentne folije (rezultati preliminarnih istraživanja). Takođe, i izračunato procentualno povećanje gramature oplemenjenih uzoraka ukazuje na rastući trend gramature sa povećanjem masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u lakovima (slika 6.19c i slika 6.19d). U slučaju mat premaznog papira, više vrednosti gramature su zabeležene kod oplemenjenih otisaka L₂ lakom u odnosu na oplemenjene otiske L₁ lakom, dok je kod oplemenjenih otisaka sjajnog premaznog papira zabeležen suprotan slučaj (dobijene su više vrednosti gramature korišćenjem L₁ u odnosu na L₂ lak), što je u saglasnosti sa rezultatima debljine. Posmatrajući ukupnu prosečnu vrednost gramature oplemenjenih otisaka korišćenjem oba laka, oplemenjeni otisci na mat premaznom papiru poseduju nešto višu vrednost gramature u odnosu na oplemenjene otiske sjajnog premaznog papira, što sugerišu i rezultati procentualnog povećanja gramature oplemenjenih otisaka (slika 6.19c i 6.19d).



Slika 6.19. Rezultati gramature uzoraka oplemenjenih tehnikom automatskog premazivanja:

a) mat premazni papir, b) sjajni premazni papir, i procentualno povećanje gramature oplemenjenih uzoraka: c) mat premazni papir, d) sjajni premazni papir

Gramatura uzoraka oplemenjenih tehnikom flekso štampe, kao i kod uzoraka oplemenjenih tehnikom automatskog premazivanja, raste sa povećanjem masene koncentracije dodatih mirisnih mikrokapsula u lakove, nezavisno od njegovog tipa i korišćenje podloge za štampu (slika 6.20a i 6.20b). U odnosu na vrednosti gramature oplemenjenih otisaka tehnikom automatskog premazivanja, zabeležena gramatura otisaka oplemenjenih tehnikom flekso štampe je znatno niža. U slučaju oba korišćena premazna papira registrovana je nešto viša vrednost gramature korišćenjem L₂ laka u odnosu na oplemenjene otiske dobijene L₁ lakom. Oplemenjeni slojevi na mat premaznom papiru imaju nešto višu ukupnu prosečnu vrednost gramature u odnosu na oplemenjene slojeve aplicirane na sjajnom premaznom papiru. Obzirom da su ostvarene debljine oplemenjenih slojeva korišćenjem flekso tehnike štampe manje u odnosu na automatsku tehniku premazivanja, niže su i vrednosti gramature, a samim tim i procentualno povećanje gramature (slika 6.20c i 6.20d).



Slika 6.20. Rezultati gramature uzoraka oplemenjenih flekso tehnikom štampe: a) mat premazni papir, b) sjajni premazni papir, i povećanje gramature oplemenjenih uzoraka: c) mat premazni papir, d) sjajni premazni papir

U tabeli 6.8 su predstavljeni rezultati izvršene statističke analize izmerenih vrednosti gramature oplemenjenih otisaka, bez i sa različitim masenim koncentracijama mirisnih mikrokapsula u lakovima, koristeći različite podloge za štampu kao i tehnike oplemenjivanja. Na osnovu različitih statističkih analiza koje su sprovedene, dobijeni su rezultati statističke značajnosti uticaja (p) svakog od variranih

faktora u procesu oplemenjivanja (tehnika oplemenjivanja, masena koncentracija mikrokapsula, tip laka i podloge za štampu). Takođe, dobijeni su i rezultati eta kvadrata, pokazatelja veličine uticaja svakog od faktora na gramaturu oplemenjenih otisaka.

Tabela 6.8. Rezultati statističke analize vrednosti gramature oplemenjenih otisaka

Tip analize	Ispitivani faktori		p	Eta kvadrat	
1. Dvofaktorska analiza varijanse	tehnika*lak		0,488	0,003	
	tehnika		0,000	0,161	
	lak		0,236	0,007	
2. Dvofaktorska analiza varijanse	tehnika*podloga		0,916	0,000	
	tehnika		0,000	0,161	
	podloga		0,120	0,013	
3. Dvofaktorska analiza varijanse	tehnika*koncentracija		0,000	0,535	
	tehnika		0,000	0,621	
	koncentracija		0,000	0,867	
3.1 Jednofaktorska analiza varijanse	uticaj koncentracije kod aut. teh. prem.		0,000	0,333	
3.2 Tukijev HSD test	(I) Koncentracija	(J) Koncentracija			
		0%	1%	0,003	-
			7%	0,000	-
			15%	0,000	-
	1%	7%	0,571	-	
		15%	0,000	-	
	7%	15%	0,000	-	
3.3 Jednofaktorska analiza varijanse	uticaj koncentracije kod flekso tehnike		0,000	0,060	
3.4 Tukijev HSD test	(I) Koncentracija	(J) Koncentracija			
		0%	1%	0,277	-
			7%	0,000	-
			15%	0,000	-
	1%	7%	0,017	-	
		15%	0,000	-	
	7%	15%	0,000	-	
4. Dvofaktorska analiza varijanse	lak*podloga		0,817	0,000	
	lak		0,276	0,006	
	podloga		0,153	0,011	
5. Dvofaktorska analiza varijanse	lak*koncentracija		0,950	0,002	
	lak		0,076	0,017	
	koncentracija		0,000	0,636	
6. Dvofaktorska analiza varijanse	podloga*koncentracija		0,945	0,002	
	podloga		0,020	0,029	
	koncentracija		0,000	0,639	

Izvršena multifaktorska analiza varijanse je pokazala da jedino uticaj interakcije tri faktora (tehnika*podloga*koncentracija: $p=0,472$) nije statistički značajan za rezultujuću gramaturu oplemenjenih otisaka, dok je uticaj ostalih kombinacija tri, odnosno četiri faktora statistički značajan (tehnika*lak*podloga: $p=0,000$; tehnika*lak*koncentracija: $p=0,019$; lak*podloga*koncentracija: $p=0,036$; tehnika*lak*podloga*koncentracija: $p=0,031$), tabela 11.2 (Prilog 1). To ukazuje na postojanje značajnih razlika u zajedničkom uticaju interakcije navedenih kombinacija faktora na gramaturu oplemenjenih otisaka. Takođe, dobijeni rezultati daju indicaciju da je zaseban uticaj svakog od faktora, kao i uticaj interakcije određenih parova faktora statistički značajan (tehnika*lak, tehnika*koncentracija). Zbog toga su urađene i dodatne dvofaktorske analize varijanse kako bi se dati uticaji detaljnije analizirali i obrazložili (tabela 6.8).

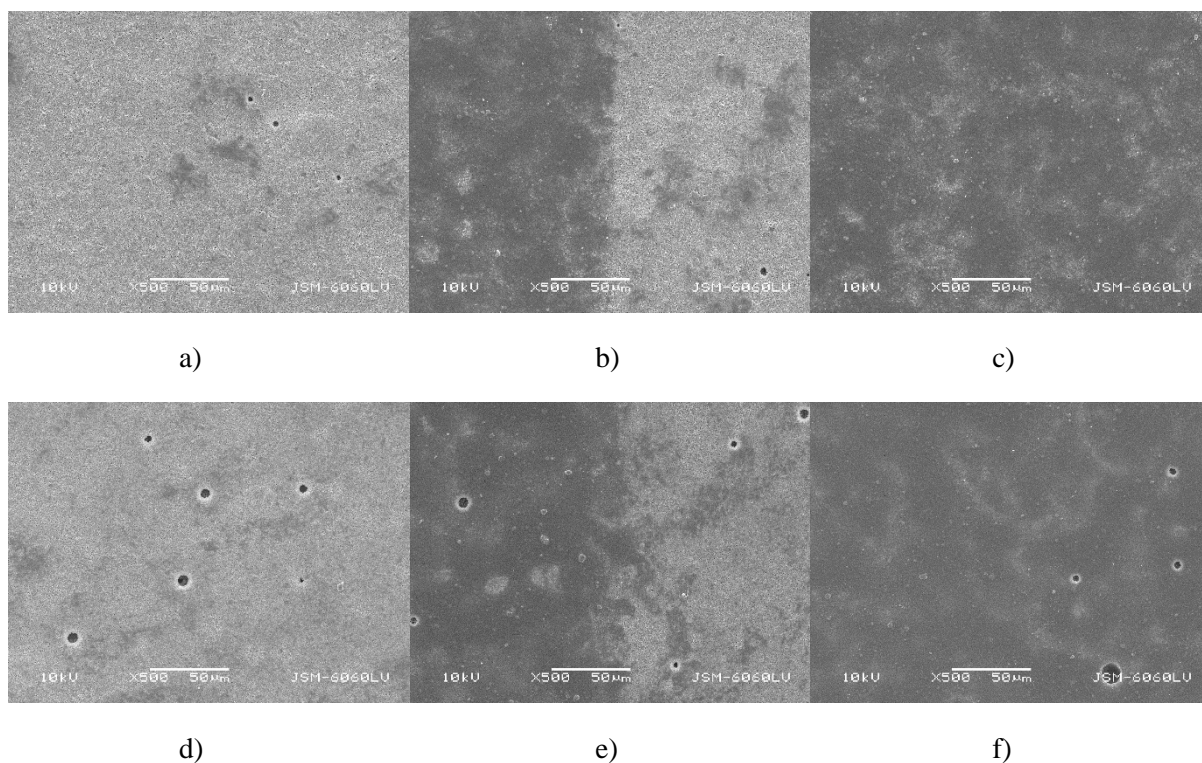
Kao i u slučaju statističke analize rezultata debljine oplemenjenih slojeva lakovima i mikrokapsulama, zabeležen uticaj korišćenog tipa laka na gramaturu oplemenjenog otiska je insignifikantan ($p>0,05$), što je potvrđeno statističkom analizom i zasebnog, ali i zajedničkog uticaja interakcije ovog faktora i preostale tri nezavisne promenljive (tehnike oplemenjivanja, podloge za štampu i koncentracije mirisnih mikrokapsula). Značajan uticaj na gramaturu oplemenjenih otisaka ima tehnika oplemenjivanja, nezavisno od korišćenog tipa podloge za štampu i laka, kao i koncentracije mikrokapsula u laku, na čega ukazuju male vrednosti statističke značajnosti uticaja ($p<0,05$) i visoke vrednosti eta kvadrata, tabela 6.8. Takođe, utvrđeno je da i koncentracija mirisnih mikrokapsula u lakovima ima veoma veliki uticaj na posmatranu zavisnu promenljivu, bez obzira na korišćeni tip laka, podloge za štampu i tehnike oplemenjivanja, uz znatno veći uticaj na oplemenjene otiske dobijene automatskom tehnikom premazivanja (tabela 6.8). Na veliki uticaj koncentracije mikrokapsula ukazuju visoke vrednosti eta kvadrata koje su predstavljene u tabeli 6.8. Što se tiče tipa podloge za štampu, kao uticajnog faktora na gramaturu oplemenjenih otisaka, dvofaktorskom analizom varijanse (uticaj koncentracije mikrokapsula i podloge za štampu) je utvrđen statistički značajan uticaj, međutim uticaj ovog faktora je bio vrlo mali obzirom na dobijenu vrednost eta kvadrata ($\eta^2=0,029$).

6.2.3.2 Analiza morfoloških karakteristika podloga za štampu i oplemenjenih otisaka

Za određivanje morfoloških karakteristika neodštampanih, štampanih i oplemenjenih površina korišćenih podloga za štampu, kao i osobina i stanja prenetih mirisnih mikrokapsula u oplemenjenom sloju laka, korišćena je skenirajuća elektronska mikroskopija (SEM) i naknadna vizuelna analiza dobijenih SEM slika. Na slici 6.21 su predstavljeni SEM snimci neodštampanih i štampanih površina mat i sjajnog premaznog papira cijan bojom pomoću tehnike ofset štampe. Primećuje se da površina mat premaznog papira (slika 6.21a i 6.21b) poseduje grublju površinsku strukturu u odnosu na sjajni premazni papir (slika 6.21 d i 6.21e), ali i mnogo manji broj, kao i manje veličine šupljina na površini. Što se tiče štampanih otisaka, vidi se da iako je površina sjajnog premaznog papira glađa i pravilnija u odnosu na površinu mat premaznog papira, i kod jednog i kod drugog uzorka odštampani sloj cijan bojom nije u potpunosti ravnomeran, zbog čega se jasno vide svetlije površine gde je prenešen tanji sloj boje, dok zbog neuniformne strukture podloga za štampu boja nije u potpunosti prekrila pojedine segmente površine (slika 6.21b, 6.21c, 6.21e, 6.21f).

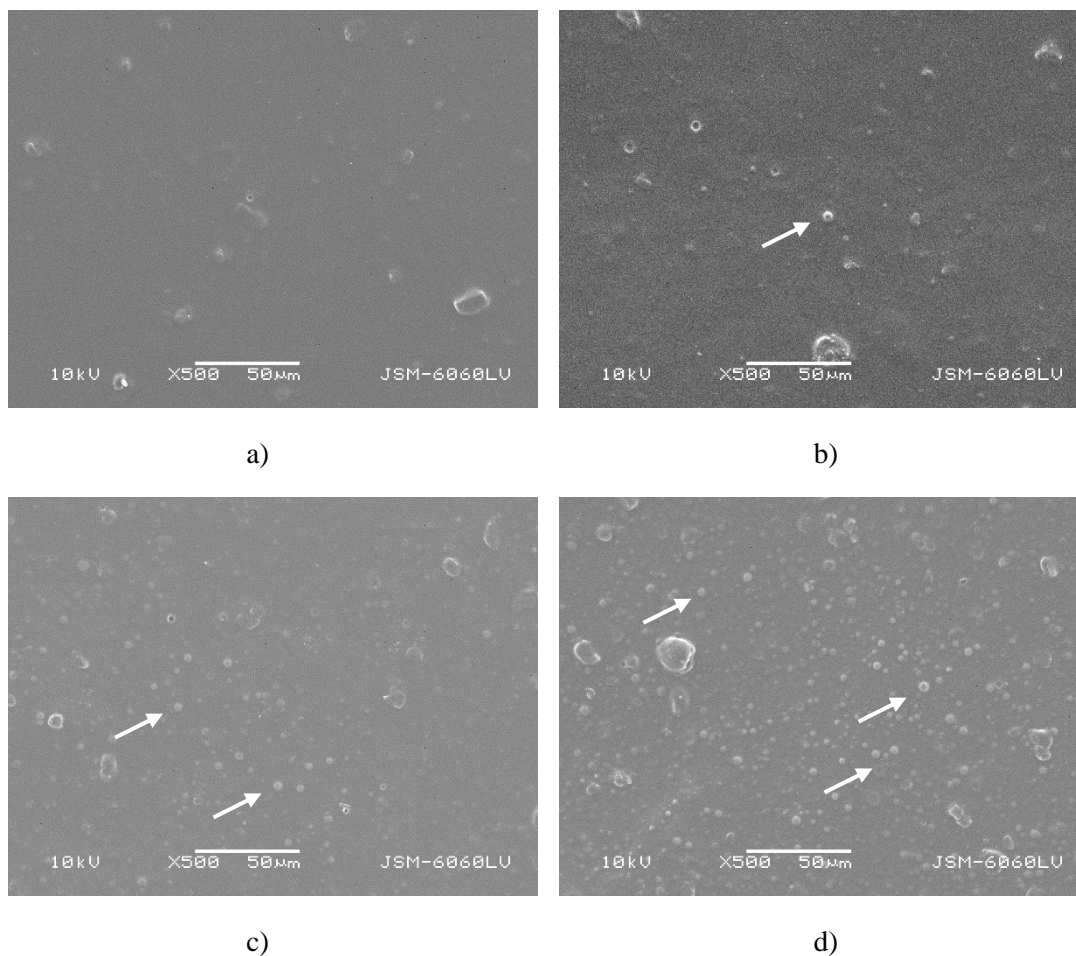
Na slici 6.22 je prikazan izgled oplemenjenih površina uzoraka mat premaznog papira korišćenjem automatske tehnike premazivanja i L₁ laka uz četiri različite masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u njemu (0%, 1%, 7% i 15%). Uzorak oplemenjen samo lakom bez mikrokapsula (slika 6.22a) ima najpravilniju površinsku strukturu, sa приметnim česticama voska (koje se nalaze u sastavu

L₁ laka) koje su prisutne i na ostalim uzorcima oplemenjenim ovim lakom, višim masenim koncentracijama mirisnih mikrokapsula (slika 6.22b, 6.22c i 6.22d).



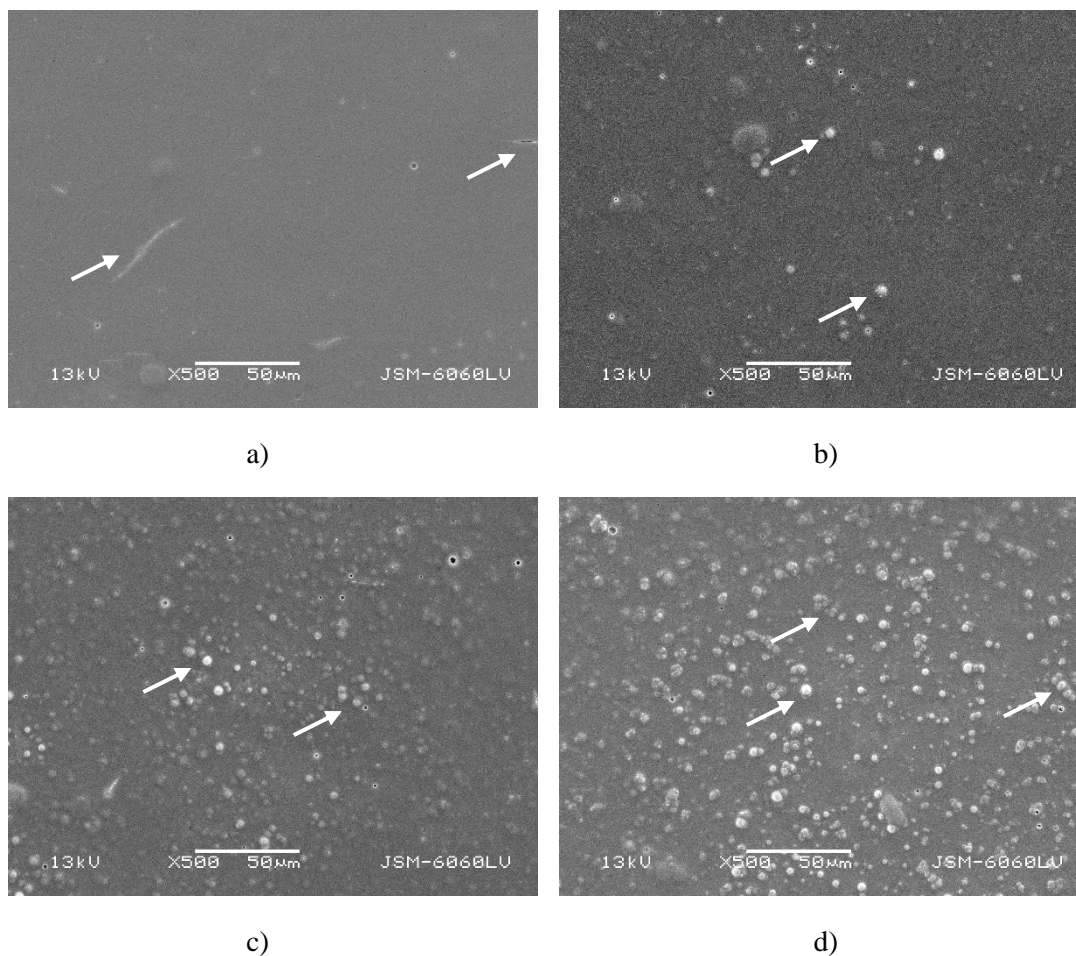
Slika 6.21. Izgled površine mat i sjajnog premaznog papira: a) neodštampana površina (mat), b) pun ton i čista površina (mat), c) pun ton (mat), d) neodštampana površina (sjajni), e) pun ton i čista površina (sjajni), f) pun ton (sjajni), (SEM, 500× uvećanje)

Oplemenjeni otisak mirisnim mikrokapsulama u masenoj koncentraciji od 1% poseduje nešto grublju površinsku strukturu u odnosu na oplemenjeni otisak bez mikrokapsula, gde je primetan veoma mali broj mikrokapsula na površini (obeleženo belom strelicom). Iako je na ovom otisku primetan mali broj mirisnih mikrokapsula, one su lako uočljive i razlikuju se od čestica polietilenskog voska u sastavu ovog laka, zbog svog prepoznatljivog i pravilnog, sfernog oblika. Povećavanjem masene koncentracije mikrokapsula u laku dobija se otisak grublje površinske strukture, jer se prenete mikrokapsule nalaze kako unutar sloja laka, tako i delimično iznad njega, što utiče na povećanje neuniformnosti površinske strukture i čineći oplemenjenu površinu grubljom (slika 6.22c i 6.22d). Veća masena koncentracija mirisnih mikrokapsula u laku omogućava veći broj mirisnih mikrokapsula u oplemenjenom sloju na podlozi za štampu. Prenete mikrokapsule su neoštećene, što pokazuje da se automatska tehnika premazivanja može uspešno koristiti za njihovu aplikaciju, dok će neoštećene mikrokapsule omogućiti bolju funkcionalnost i dugotrajnost oplemenjenih površina. Aglomeracija, odnosno grupisanje mirisnih mikrokapsula nije primećena.



Slika 6.22. Izgled oplemenjenih otisaka mat premaznog papira korišćenjem automatske tehnike premazivanja i L₁ laka: a) 0%, b) 1%, c) 7% i d) 15% (SEM, 500× uvećanje)

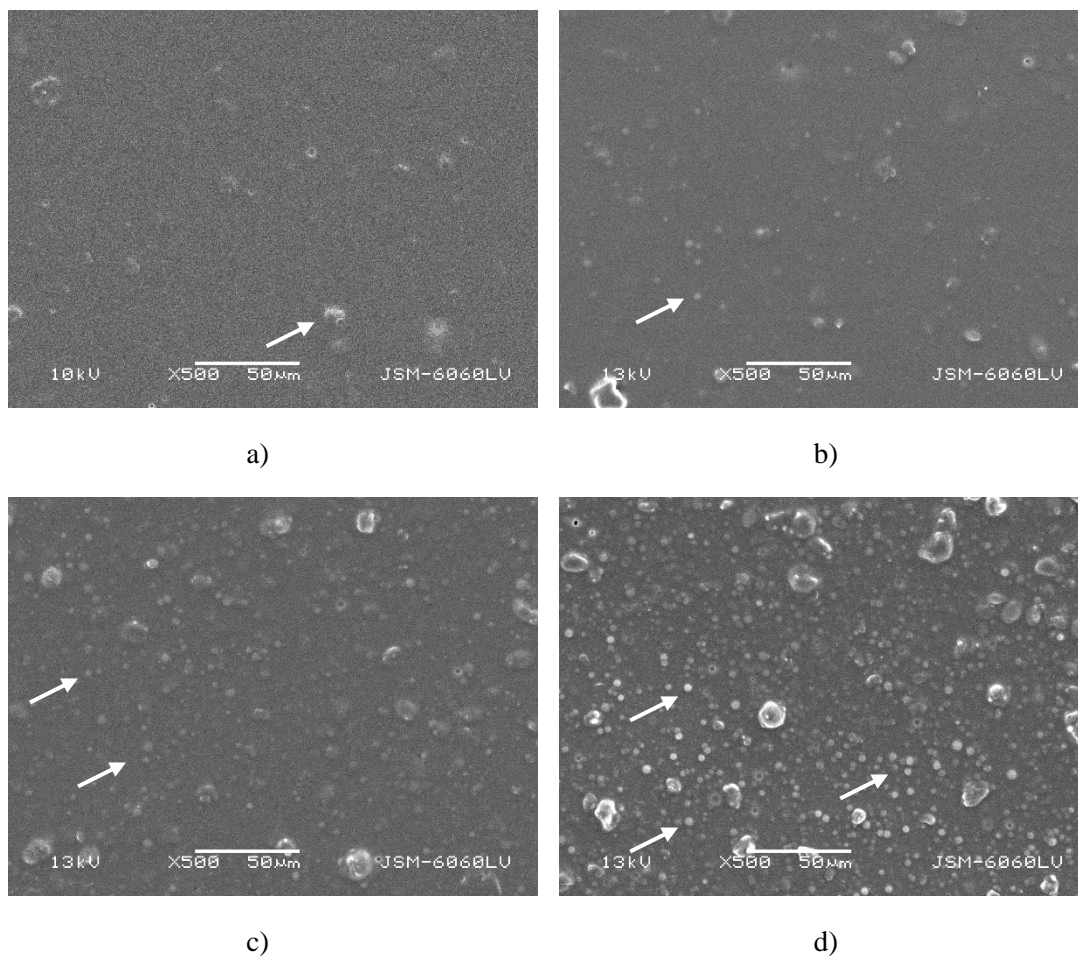
Na slici 6.23 je prikazan izgled oplemenjenih površina uzoraka mat premaznog papira korišćenjem tehnike automatskog premazivanja i L₂ laka, pomoću četiri masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u njemu (0%, 1%, 7% i 15%). Uzorak oplemenjen samo lakom L₂ bez mirisnih mikrokapsula (slika 6.23a) poseduje najpravilniju površinsku strukturu, uniformniju u odnosu na uzorak mat premaznog papira oplemenjenog L₁ lakom, obzirom da L₂ lak ne sadrži polietilenski vosak. Takođe, oplemenjeni sloj L₂ laka je podložniji oštećenjima u odnosu na oplemenjene slojeve L₁ lakom, što se reflektuje u vidu malih pukotina obeleženih belim strelicama, slika 6.23a. Oplemenjeni otisak mirisnim mikrokapsulama u masenoj koncentraciji od 1% ima malo grublju površinsku strukturu u odnosu na oplemenjeni otisak bez mikrokapsula, sa nešto većim brojem mikrokapsula na površini u odnosu na prethodno prikazani otisak oplemenjen L₁ lakom i istom koncentracijom mikrokapsula.



Slika 6.23. Izgled oplemenjenih otisaka mat premaznog papira korišćenjem automatske tehnike premazivanja i L₂ laka: a) 0%, b) 1%, c) 7% i d) 15% (SEM, 500× uvećanje)

Povećavanjem masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u laku L₂, omogućava se prenos većeg broja mirisnih mikrokapsula na podlogu za štampu, što dovodi do toga da površinska struktura oplemenjenih otisaka postane grublja i nepravilnija (slika 6.23c i 6.23d). Ovde je primećen veći broj mikrokapsula na površini otiska (slika 6.23c i 6.23d) u odnosu na otiske oplemenjene L₁ lakom, dok je u slučaju oplemenjenog otiska korišćenjem masene koncentracije mirisnih mikrokapsula od 15% vidljiva i vrlo blaga pojava grupisanja mirisnih mikrokapsula (slika 6.23d). Aplicirane mikrokapsule, kao i u slučaju oplemenjenih otisaka L₁ lakom, su neoštećene što će omogućiti bolju i dužu funkcionalnost oplemenjenih površina.

Na slici 6.24 su prikazane SEM slike oplemenjenih površina uzoraka sjajnog premaznog papira korišćenjem tehnike automatskog premazivanja, pomoću L₁ laka i četiri masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u njemu (0%, 1%, 7% i 15%). Na površini sva četiri otiska oplemenjenih različitim masenim koncentracijama mikrokapsula, prisutne su izbočine i druge nepravilnosti koje su posledica prisustva polietilenskog voska u sastavu korišćenog laka (slika 6.24).

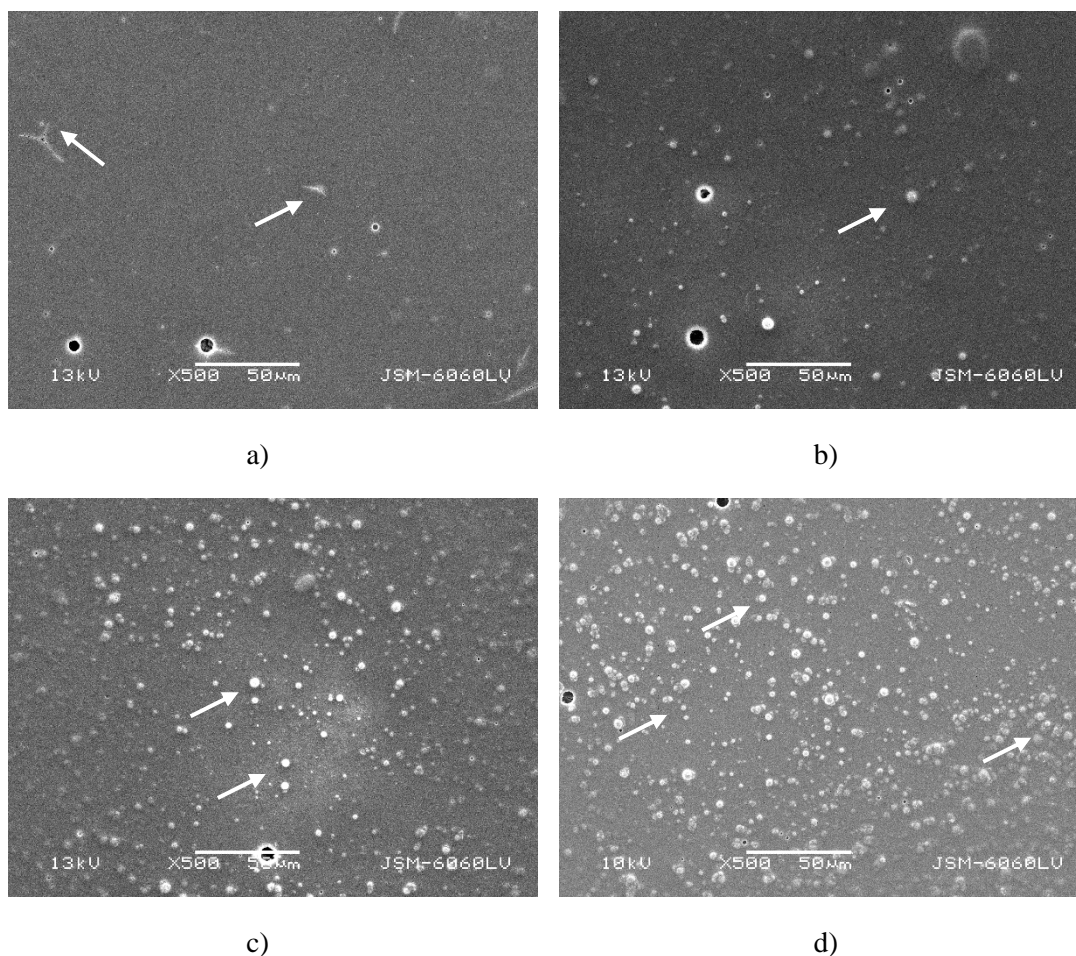


Slika 6.24. Izgled oplemenjenih otisaka sjajnog premaznog papira korišćenjem automatske tehnike premazivanja i L₁ laka: a) 0%, b) 1%, c) 7% i d) 15% (SEM, 500× uvećanje)

Kao i kod prethodno analiziranih oplemenjenih otisaka, uzorak oplemenjen samo L₁ lakom bez mirisnih mikrokapsula ima najpravilniju površinsku strukturu, slika 6.24a. Povećavanjem masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u laku se omogućava prenos većeg broja mirisnih mikrokapsula na podlogu za štampu što rezultuje grubljom i nepravilnijom površinskom strukturom oplemenjenih otisaka (slika 6.24b, 6.24c i 6.24d). Kod oplemenjenih otisaka sjajnog premaznog papira primećena je nepravilnija površinska struktura i veći broj čestica voska na površini otiska u odnosu na otiske mat premaznog papira oplemenjenih na isti način. Aplikirane mirisne mikrokapsule su neoštećene, a pojava aglomerata mikrokapsula nije primećena.

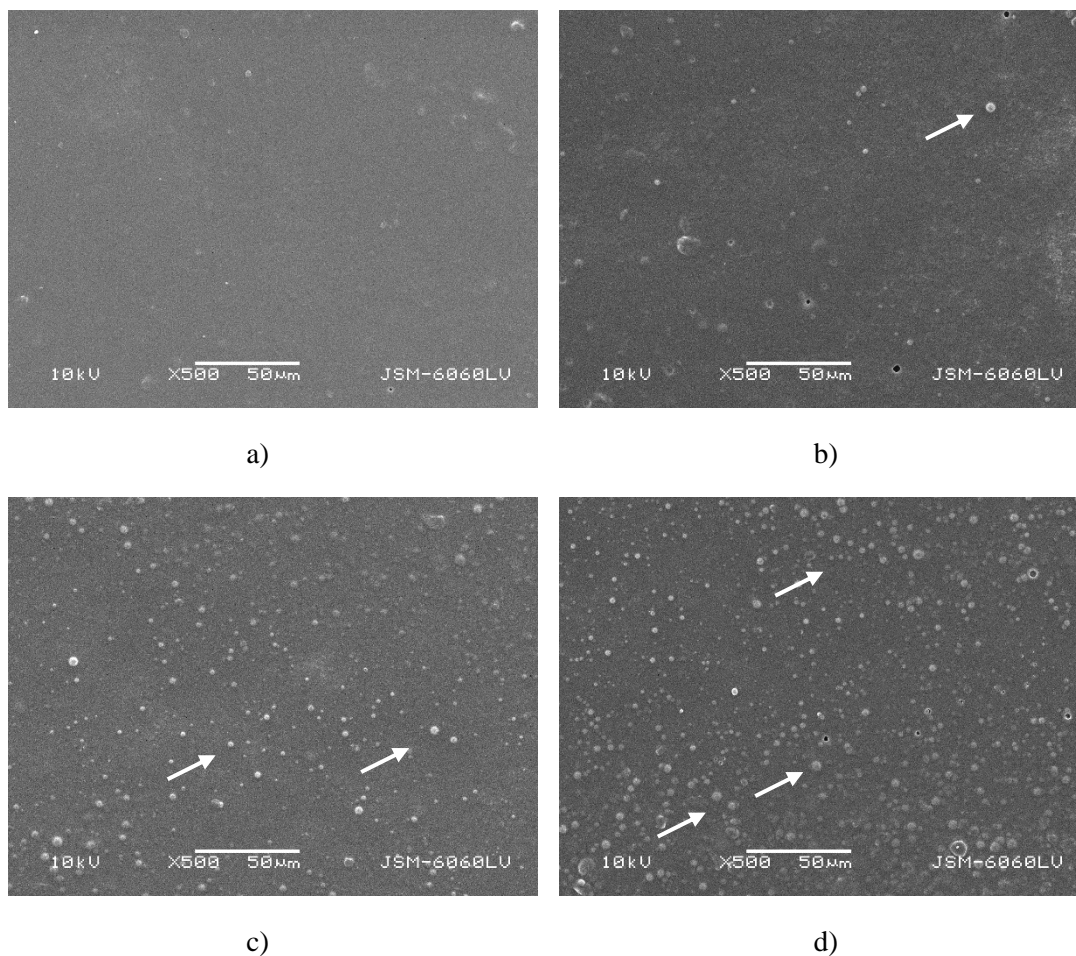
Na slici 6.25 su prikazane SEM slike oplemenjenih površina uzoraka sjajnog premaznog papira korišćenjem automatske tehnike premazivanja i L₂ laka pomoću četiri različite masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u laku (0%, 1%, 7% i 15%). Površina svih otisaka oplemenjenih različitim masenim koncentracijama mikrokapsula su glađe i pravilnije u odnosu na oplemenjene otiske sjajnog premaznog papira korišćenjem L₁ laka (slika 6.25). Takođe, aplikirani sloj L₂ laka je bio podložniji oštećenjima u odnosu na sloj L₁ laka (slika 6.24), a prisutan je i veći broj mikrokapsula na površini ovih otisaka. Uzorak oplemenjen lakom, bez mirisnih mikrokapsula (slika 6.25a) ima najpravilniju površinsku strukturu, a rast masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u laku rezultuje grubljom i nepravilnijom površinskom strukturom oplemenjenih otisaka (slika 6.25b, 6.25c i 6.25d). Aplikirane

mirisne mikrokapsule su neoštećene, dok je kod oplemenjenog otiska sa mikrokapsulama u masenoj koncentraciji od 15% primećena blaga pojava aglomeracije mikrokapsula, slika 6.25d.



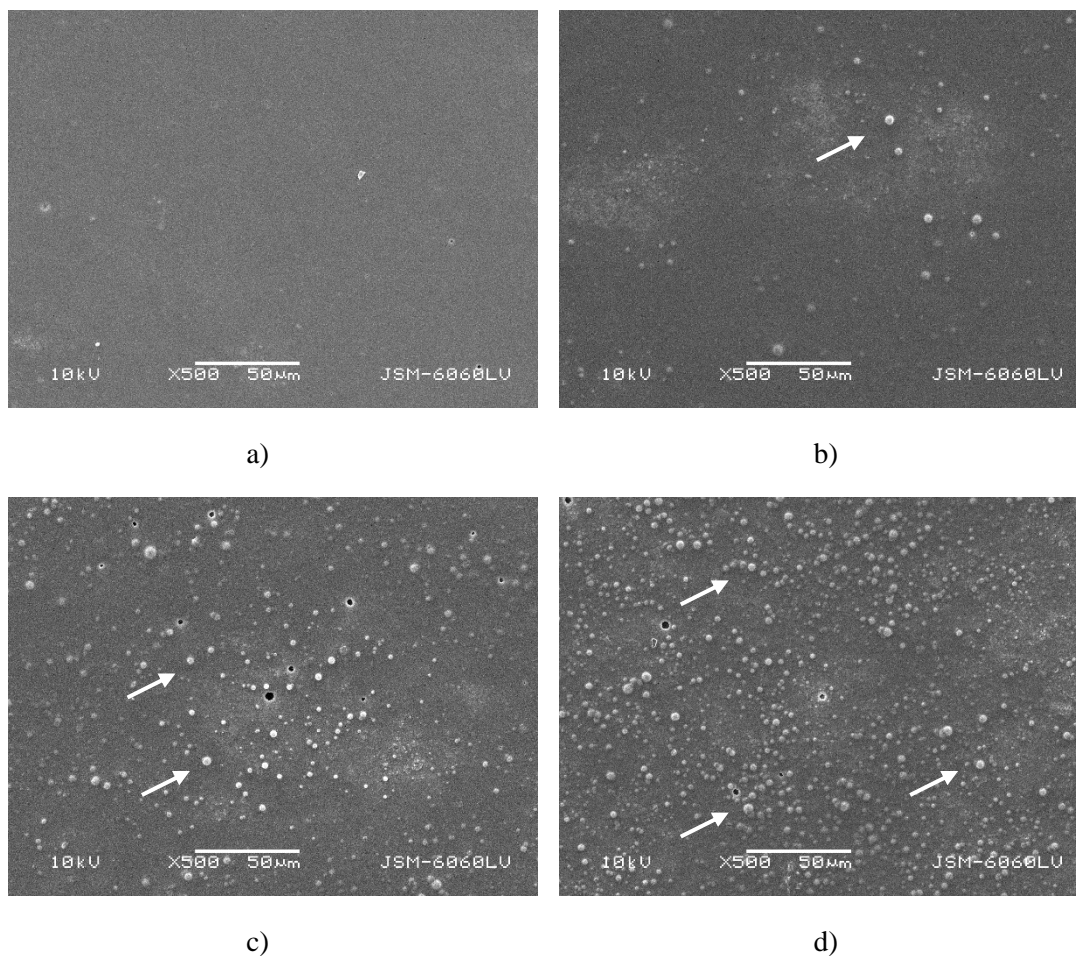
Slika 6.25. Izgled oplemenjenih otisaka sjajnog premaznog papira korišćenjem automatske tehnike premazivanja i L₂ laka: a) 0%, b) 1%, c) 7% i d) 15% (SEM, 500× uvećanje)

Na slici 6.26 su prikazane SEM slike oplemenjenih površina uzoraka mat premaznog papira korišćenjem flekso tehnike štampe i L₁ laka sa četiri masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u njemu (0%, 1%, 7% i 15%). Oplemenjene površine L₁ lakom korišćenjem flekso tehnike štampe imaju značajno pravilniju površinsku strukturu, sa mnogo manjim brojem čestica voska na svojoj površini u odnosu na uzorke oplemenjene automatskom tehnikom premazivanja. Otisak oplemenjen samo L₁ lakom, bez mirisnih mikrokapsula (slika 6.26a) ima najpravilniju površinsku strukturu, dok otisak oplemenjen lakom i mikrokapsulama u masenoj koncentraciji od 15% poseduje najgrublju i najnepravilniju površinu. Dodavanjem više masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u lak dobija se grublja i nepravilnija površinska struktura oplemenjenih otisaka (slika 6.26b, 6.26c i 6.26d). Aplicirane mirisne mikrokapsule su, isto kao i u slučaju otisaka oplemenjenih tehnikom automatskog premazivanja, neoštećene, što pokazuje da se ova tehnika može uspešno koristiti za ovu vrstu oplemenjivanja. Nije primećena pojava aglomeracije mirisnih mikrokapsula.



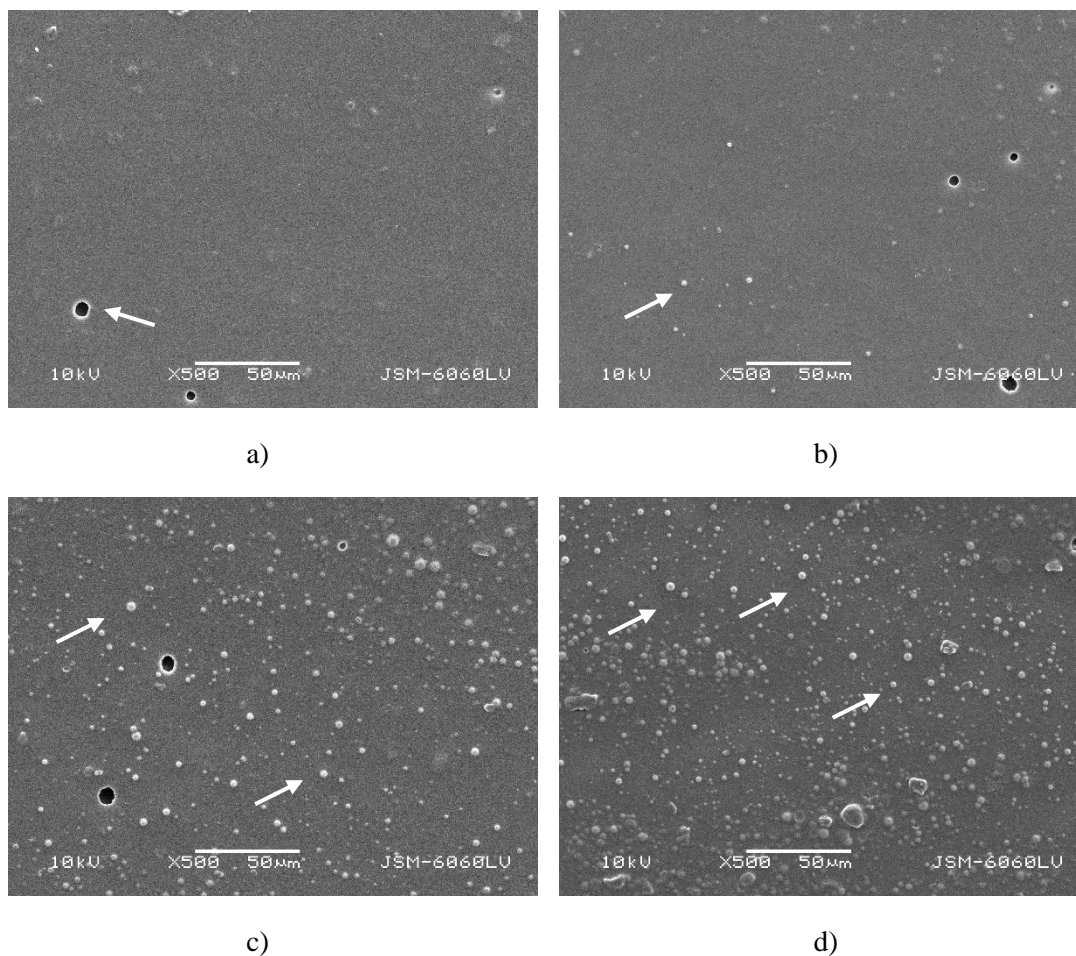
Slika 6.26. Izgled oplemenjenih otisaka mat premaznog papira korišćenjem flekso tehnike štampe i L₁ laka: a) 0%, b) 1%, c) 7% i d) 15% (SEM, 500× uvećanje)

Na slici 6.27 je prikazan izgled oplemenjenih površina uzoraka mat premaznog papira korišćenjem flekso tehnike štampe, L₂ laka i četiri masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u njemu (0%, 1%, 7% i 15%). Oplemenjene površine L₂ lakom, korišćenjem flekso tehnike štampe imaju nešto pravilniju površinsku strukturu uz manji broj pukotina na površini u odnosu na otiske istog papira oplemenjene istim lakom i automatskom tehnikom premazivanja. Flekso tehnikom oplemenjivanja se dobija tanji sloj sredstva za oplemenjivanje (laka i mešavine laka i mirisnih mikrokapsula), zbog toga su i aplicirane mirisne mikrokapsule pozicionirane bliže površini uzorka, što bi posledično trebalo da omogući lakšu aktivaciju, odnosno pucanje omotača mikrokapsula i ispoljavanja njihove osnovne funkcionalnosti. Ovo potvrđuju rezultati merenja debljine oplemenjenih slojeva, kao i veličine korišćenih mirisnih mikrokapsula. Povećanje masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u laku dovodi do formiranja grublje i nepravilnije površinske strukture oplemenjenih otisaka (slika 6.27b, 6.27c i 6.27d), pa tako uzorak oplemenjen samo lakom, bez mirisnih mikrokapsula (slika 6.27a) ima najpravilniju površinsku strukturu, dok otisak oplemenjen lakom i mikrokapsulama u masenoj koncentraciji od 15% poseduje najgrublju, najnepravilniju površinu (slika 6.27d). Uočen je veći broj mikrokapsula na oplemenjenom otisku L₂ lakom masenom koncentracijom mirisnih mikrokapsula od 1%, u odnosu na otisak oplemenjen L₁ lakom, istom tehnikom oplemenjivanja i masenom koncentracijom mikrokapsula. Za razliku od oplemenjenih otisaka automatskom tehnikom premazivanja, L₂ lakom, ovde nije primećena pojava aglomeracije apliciranih mirisnih mikrokapsula.



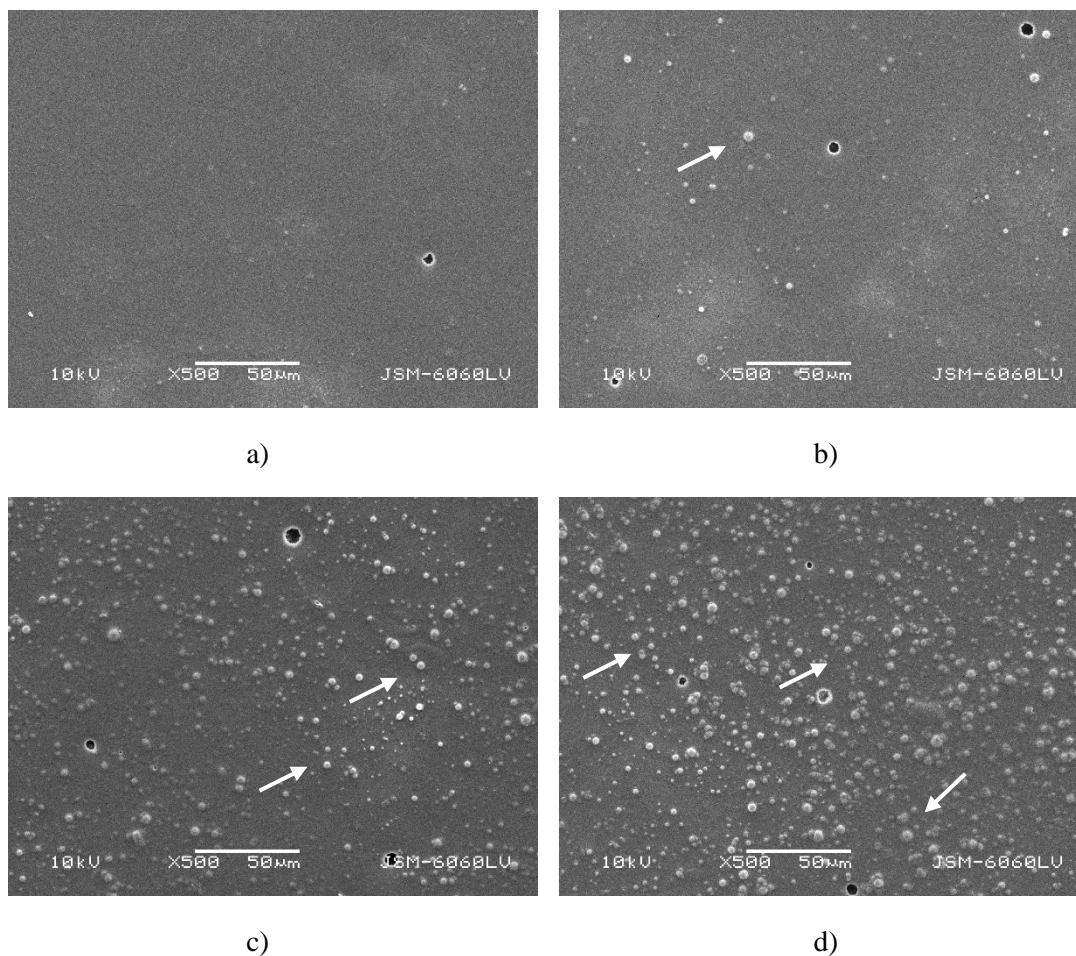
Slika 6.27. Izgled oplemenjenih otisaka mat premaznog papira korišćenjem flekso tehnike štampe i L_2 laka: a) 0%, b) 1%, c) 7% i d) 15% (SEM, 500× uvećanje)

Na slici 6.28 je predstavljen izgled oplemenjenih površina uzoraka sjajnog premaznog papira pomoću flekso tehnike štampe i L_1 laka, korišćenjem četiri masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u njemu (0%, 1%, 7% i 15%). Oplemenjene površine L_1 lakom korišćenjem flekso tehnike štampe imaju pravilniju površinsku strukturu uz značajno manji broj čestica polietilenskog voska na površini u odnosu na iste uzorke oplemenjene automatskom tehnikom premazivanja. Na površini otisaka su prisutne šupljine karakteristične za sjajni premazni papir, koje su ostale nepopunjene aplikacijom laka. Obzirom da se ovom tehnikom oplemenjivanja ostvaruje tanji sloj laka u odnosu na automatsku tehniku premazivanja, i aplicirane mirisne mikrokapsule su vidljivije jer su pozicionirane bliže površini oplemenjenog otiska. Ovo bi trebalo da omogući lakšu aktivaciju i bolju funkcionalnost oplemenjenih površina. Sa povećanjem masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u laku formira se oplemenjena površina sa većim brojem nepravilnosti (slika 6.28b, 6.28c i 6.28d), čime postaje nepravilnija i grublja. Ni ovde nije primećena pojava aglomeracije apliciranih mirisnih mikrokapsula.



Slika 6.28. Izgled oplemenjenih otisaka sjajnog premaznog papira korišćenjem flekso tehnike štampe i L_1 laka: a) 0%, b) 1%, c) 7% i d) 15% (SEM, 500× uvećanje)

Na slici 6.29 su prikazane SEM slike izgleda oplemenjenih površina uzoraka sjajnog premaznog papira pomoću flekso tehnike štampe i L_2 laka, korišćenjem četiri masene koncentracije mirisnih mikrokapsula (0%, 1%, 7% i 15%). Kao i prethodno razmatrani oplemenjeni otisci korišćenjem flekso tehnike štampe, i ovi oplemenjeni otisci imaju pravilniju površinsku strukturu u odnosu na iste uzorke oplemenjene automatskom tehnikom premazivanja. U odnosu na uzorke istog premaznog papira, oplemenjene istom tehnikom i L_1 lakom, imaju nešto pravilniju površinsku strukturu, obzirom da L_2 lak ne sadrži čestice voska koje su jedan od uzroka površinske nepravilnosti. I u slučaju oplemenjenih otisaka na ovaj način, primećen je veći broj mikrokapsula na površini oplemenjenog otiska L_2 lakom i masenom koncentracijom mirisnih mikrokapsula od 1%, u odnosu na otisak oplemenjen L_1 lakom, istom tehnikom oplemenjivanja i masenom koncentracijom mikrokapsula. Nije primećena značajna razlika u kvalitetu površinske strukture oplemenjenih otisaka na isti način, korišćenjem dva različita tipa premaznog papira. I u slučaju oplemenjenih otisaka na ovaj način je prisutan već ustanovljeni trend formiranja većeg broja nepravilnosti na površini sa porastom masene koncentracije mirisnih mikrokapsula (slika 6.29b, 6.29c i 6.29d), čime oplemenjena površina postaje nepravilnija i grublja. Za razliku od otisaka oplemenjenih na istom premaznom papiru, istim lakom (L_2), pomoću automatske tehnike premazivanja, ovde nije primećena pojava aglomeracije nanešenih mirisnih mikrokapsula.



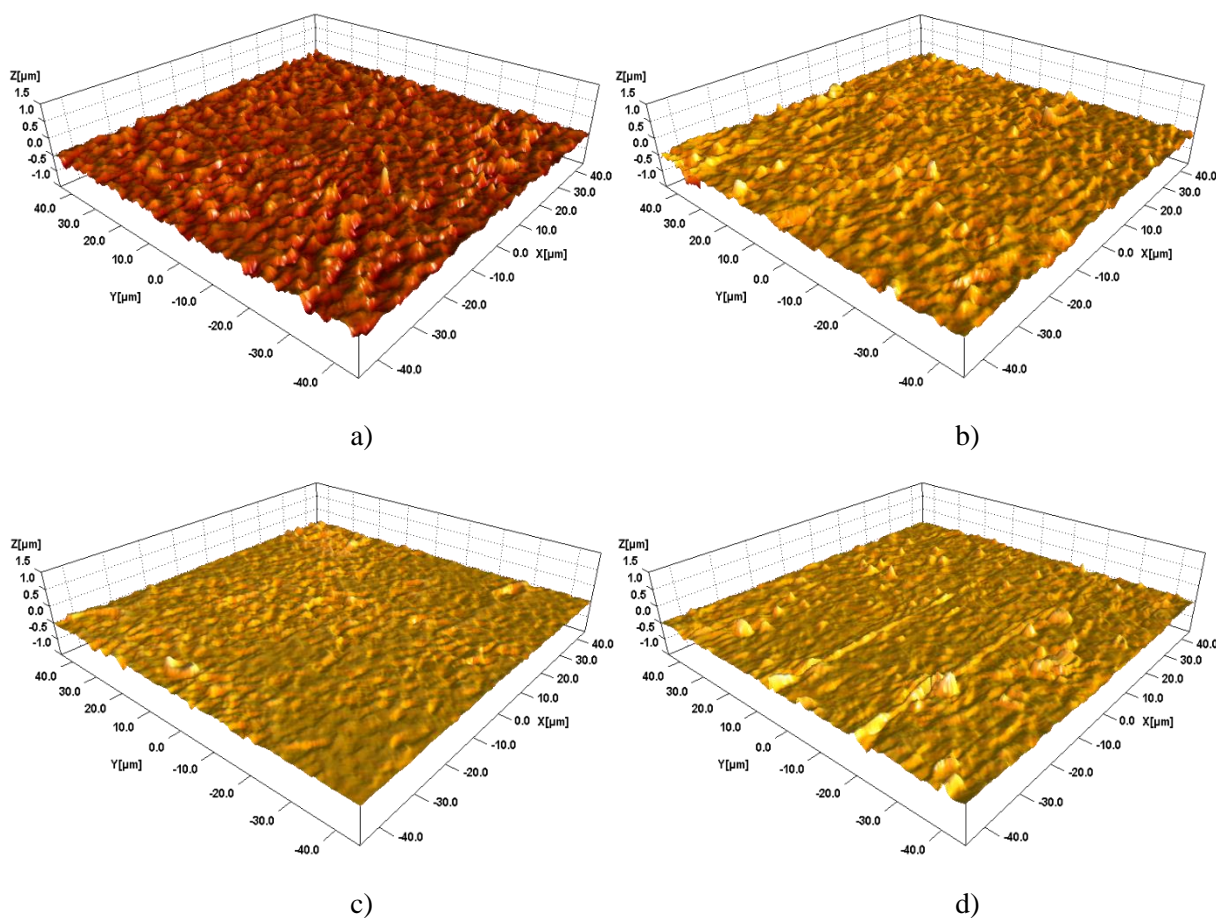
Slika 6.29. Izgled oplemenjenih otisaka sjajnog premaznog papira korišćenjem flekso tehnike štampe i L₂ laka: a) 0%, b) 1%, c) 7% i d) 15% (SEM, 500× uvećanje)

6.2.3.3 Analiza površinske hrapavosti oplemenjenih otisaka

Površinske karakteristike štampanih i oplemenjenih otisaka (bez i sa različitim masenim koncentracijama mirisnih mikrokapsula) su ispitane pomoću AFM mikroskopije, a originalni fajlovi dobijeni skeniranjem su prilagođeni i obrađeni pomoću SPIP 6.7.0 softvera (SPIP, Danska). Za karakterizaciju izmerenih uzoraka, korišćeni su 3D amplitudni parametri površinske hrapavosti: S_a – prosečna hrapavost ili srednja aritmetička hrapavost, S_q – srednje kvadratno odstupanje, S_{sk} – koeficijent asimetrije površine, S_{ku} – zaobljenost površine ili koeficijent oštine površine. U tabeli 6.9 su predstavljene srednje vrednosti odabranih parametara površinske hrapavosti i vrednosti standardne devijacije S_a i S_q parametara, neodštampanih i štampanih uzoraka, a na slici 6.30 su dati 3D prikazi izgleda površine mat i sjajnog premaznog papira, kao i izgleda površine odštampanog punog tona na oba premazna papira.

Tabela 6.9. Površinska hrapavost neodštampanih i štampanih uzoraka (S_a , S_q , S_{sk} i S_{ku})

Uzorak	Parametar površinske hrapavosti			
	S_a [nm]	S_q [nm]	S_{sk} [°]	S_{ku} [°]
Mat	$51,81 \pm 6,71$	$66,77 \pm 7,76$	0,00	4,10
Mat pun ton	$40,79 \pm 2,14$	$56,21 \pm 3,49$	0,43	8,90
Sjajni	$23,83 \pm 2,33$	$37,91 \pm 6,44$	-1,95	36,44
Sjajni pun ton	$25,23 \pm 1,92$	$46,03 \pm 8,28$	-5,69	188,77



Slika 6.30. 3D prikaz izgleda površine: a) mat premaznog papira, b) punog tona na mat premaznom papiru, c) sjajnog premaznog papira i d) punog tona na sjajnom premaznom papiru

Dobijene prosečne vrednosti srednje aritmetičke hrapavosti (S_a) i srednjeg kvadratnog odstupanja (S_q) su više u slučaju neodštampanog mat premaznog papira u odnosu na dobijene vrednosti ovih parametara za odštampanu punu tonsku površinu (tabela 6.9). To znači da je proces ofset tabačne štampe, odnosno primenjeni štamparski pritisak, kao i dodavanje novog materijala (boje za štampu), rezultovalo glađom površinom štampanog otiska (slika 6.30a i 6.30b). Kod sjajnog premaznog papira je zabeležen obrnut slučaj, proces štampe je inicijalno relativno glatku površinu premaznog papira učinio grubljom, što se može videti na slikama 6.30c i 6.30d. Vrednost S_{sk} parametra u slučaju neodštampanog mat premaznog papira ukazuje na to da njegova površina ima simetričnu raspodelu vrhova, dok registrovana vrednost

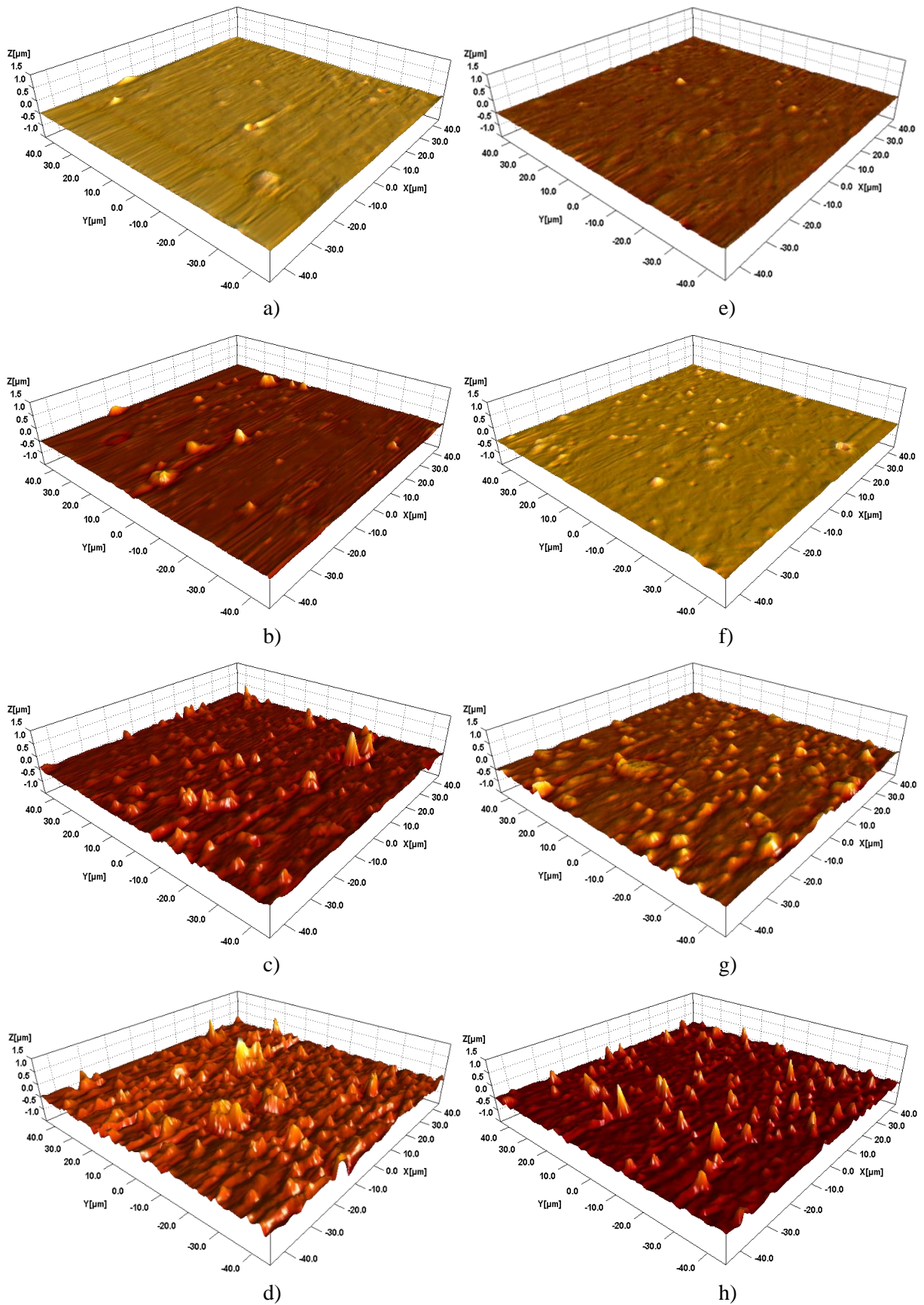
S_{ku} parametra daje indicaciju relativno blagog odstupanja distribucije visina od normalne distribucije ($S_{ku}=4,10$). Kod štampanog uzorka istog premaznog papira je zabeležena mala, pozitivna vrednost S_{sk} parametra, što ukazuje na nešto veći broj prisutnih vrhova na površini u odnosu na udubljenja (efekat pigmenta u odštampanoj boji), a vrednost S_{ku} parametra je viša u odnosu na neodštampani mat premazni papir ($S_{ku}=8,90$), što daje indicaciju određenog broja relativno visokih vrhova čija distribucija odstupa od normalne. Kod sjajnog premaznog papira su zabeležene negativne vrednosti S_{sk} parametra ($S_{sk}=-1,95$), što znači da je na njegovoj površini prisutan veći broj udubljenja u odnosu na vrhove. Takođe, zabeležena je visoka vrednost S_{ku} parametra ($S_{ku}=36,44$), što ukazuje na to da su prisutna udubljenja na ovom uzorku duboka. Dobijeni rezultati ukazuju na to da se broj udubljenja nakon štampe povećao ($S_{sk}=-5,69$), kao i neuniformnost njihove distribucije ($S_{ku}=188,77$), slika 6.30d.

U tabeli 6.10 su predstavljene dobijene srednje vrednosti analiziranih parametara površinske hrapavosti i vrednosti standardne devijacije štampanih i oplemenjenih uzoraka mat premaznog papira korišćenjem dve vrste laka (L_1 i L_2), četiri masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u lakovima (0%, 1%, 7% i 15%) pomoću automatske tehnike premazivanja i flekso tehnike štampe. Na slikama 6.31 i 6.32 je prikazan 3D izgled oplemenjenih površina mat premaznog papira pomoću navedenih lakova i masenih koncentracija mirisnih mikrokapsula u njima, koristeći automatsku tehniku premazivanja, odnosno flekso tehniku štampe respektivno. Otisci oplemenjeni samo lakovima, bez mikrokapsula, nezavisno od korišćene tehnike oplemenjivanja, imaju relativno ravnu i uniformnu površinsku strukturu (slike 6.31a, 6.31e i 6.32a, 6.32e). Bez obzira na tip korišćenog laka i tehnike oplemenjivanja, uočava se dominantan trend porasta površinske hrapavosti (S_a i S_q parametri) oplemenjenih otisaka sa povećanjem masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u oplemenjenom sloju laka (tabela 6.10, slika 6.31 i 6.32). Iako prikazane slike 3D površine uzoraka ovo ne sugerišu, na uzorcima PL1_1%_mat i FL2_1%_mat oplemenjenim L_1 , odnosno L_2 lakom, koncentracijom mikrokapsula od 1%, pomoću automatske tehnike premazivanja odnosno flekso tehnike štampe, zabeležena je manja vrednost razmatranih parametara u odnosu na oplemenjene uzorke samo lakovima. Površinske nepravilnosti štampanog, neoplemenjenog otiska su ublažene postupcima oplemenjivanja (čak i pri koncentraciji mikrokapsula u lakovima od 7%). Na taj način je dobijena finija, glađa površinska struktura, što pokazuju vrednosti prosečne površinske hrapavosti (tabela 6.9 i 6.10). Nakon procesa oplemenjivanja otisaka mirisnim mikrokapsulama u masenoj koncentraciji od 1% u lakovima, generalno su dobijene površinske strukture sa većim brojem nepravilnosti (slika 6.31b, 6.31f i 6.32b, 6.32f). Oplemenjivanje otisaka lakovima u kombinaciji sa određenom koncentracijom mikrokapsula je dovelo do formiranja promena na površini oplemenjenih otisaka (slika 6.31 i 6.32). Više koncentracije mikrokapsula u lakovima su omogućile pojavu većeg broja nepravilnosti na površini, tj. grublje površine, što je uticalo na rast vrednosti parametara površinske hrapavosti (S_a , S_q). Takođe, nezavisno od korišćene tehnike oplemenjivanja, dobijene vrednosti S_a i S_q parametara su više u slučaju otisaka oplemenjenih L_1 lakom, što bi moglo da bude rezultat čestica polietilenskog voska u L_1 laku. Oplemenjivanje, L_1 lakom i flekso tehnikom štampe dobijene su generalno niže vrednosti S_a i S_q parametara u odnosu na oplemenjene otiske automatskom tehnikom premazivanja, dok je obrnuti slučaj sa otiscima oplemenjenim L_2 lakom.

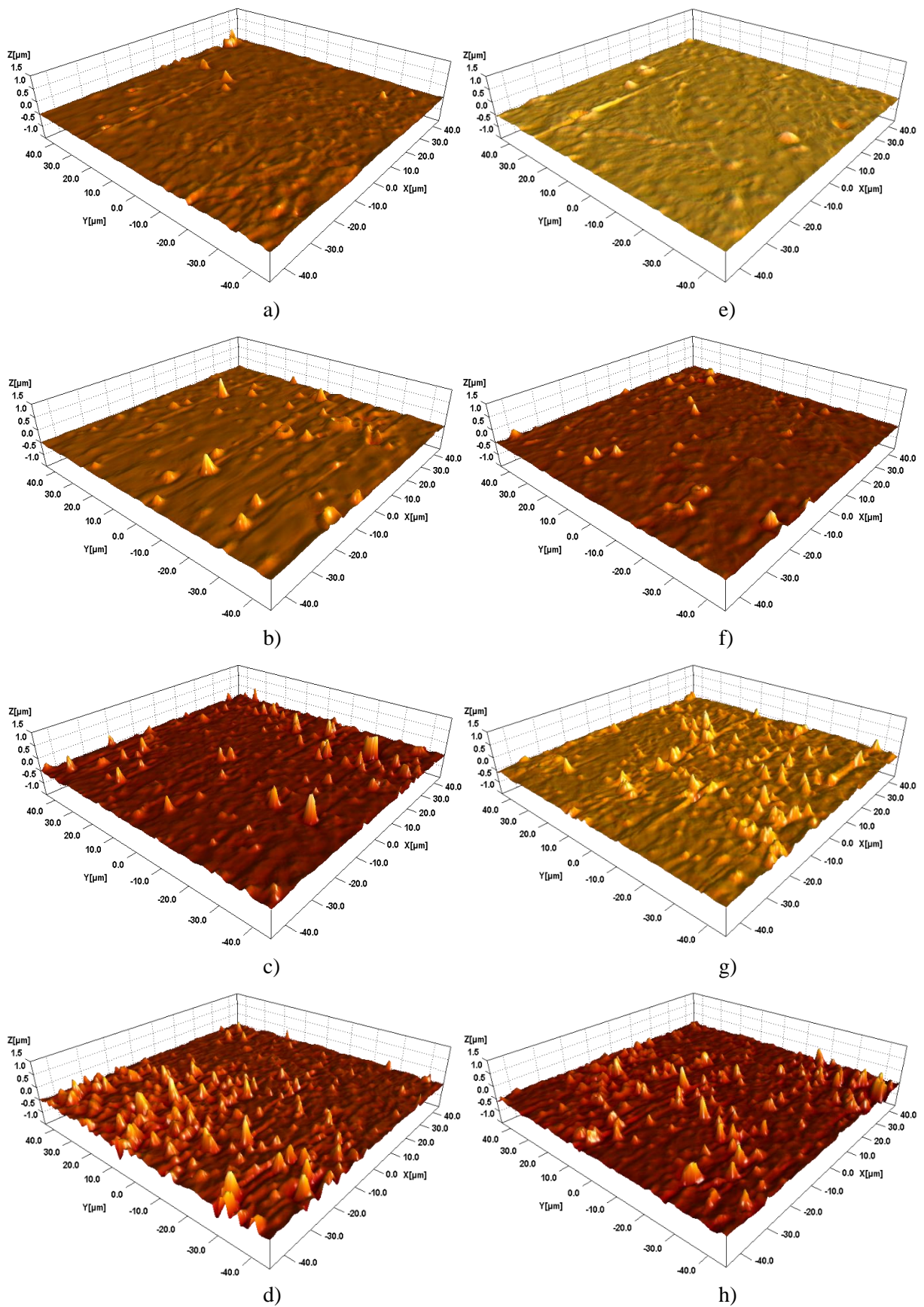
Tabela 6.10. Površinska hrapavost otisaka mat premaznog papira oplemenjenih automatskom tehnikom premazivanja i flekso tehnikom štampe (S_a , S_q , S_{sk} i S_{ku} parametar)

Uzorak	Parametar površinske hrapavosti			
	S_a [nm]	S_q [nm]	S_{sk} [/]	S_{ku} [/]
PL1_0%_mat	21,34 ± 3,83	50,34 ± 13,16	2,36	46,12
PL1_1%_mat	20,59 ± 5,43	52,72 ± 17,37	4,89	77,77
PL1_7%_mat	43,34 ± 6,22	79,98 ± 12,72	2,77	32,15
PL1_15%_mat	82,09 ± 8,58	128,45 ± 13,78	1,16	13,16
PL2_0%_mat	11,26 ± 1,59	19,40 ± 5,20	3,03	44,18
PL2_1%_mat	13,07 ± 3,51	22,70 ± 6,23	-0,04	71,71
PL2_7%_mat	33,02 ± 2,30	53,06 ± 7,15	2,48	15,41
PL2_15%_mat	49,63 ± 5,43	78,35 ± 1,10	2,17	14,71
FL1_0%_mat	18,66 ± 1,83	32,85 ± 2,72	0,43	50,40
FL1_1%_mat	21,61 ± 0,53	48,31 ± 5,31	3,87	75,04
FL1_7%_mat	38,80 ± 20,89	76,82 ± 39,54	3,74	48,81
FL1_15%_mat	58,37 ± 32,22	94,70 ± 45,88	2,76	21,37
FL2_0%_mat	19,04 ± 4,92	31,02 ± 7,35	-2,27	89,45
FL2_1%_mat	17,28 ± 2,00	29,43 ± 3,47	4,86	64,57
FL2_7%_mat	34,67 ± 1,95	66,30 ± 6,12	2,04	42,98
FL2_15%_mat	53,12 ± 10,19	86,01 ± 15,28	2,67	16,28

Na oplemenjenim otiscima su zabeležene uglavnom pozitivne vrednosti koeficijenta asimetrije površine (S_{sk}) koje daju indicaciju površinske strukture sa dominantnim vrhovima (tabela 6.10, slika 6.31 i 6.32). Nakon oplemenjivanja otisaka mikrokapsulama u koncentraciji od 1%, došlo je do formiranja malog broja izolovanih vrhova na oplemenjenim površinama (slika 6.31b, 6.31f, 6.32b i 6.32f), što je uticalo na povećanje vrednosti S_{sk} parametra u odnosu na oplemenjene otiske samo lakovima. Na otiscima oplemenjenim mikrokapsulama u koncentraciji od 1% su generalno zabeležene najviše vrednosti S_{sk} parametra. Naredno povećanje koncentracije mirisnih mikrokapsula u lakovima (7%), je generalno dovelo do pada S_{sk} vrednosti u odnosu na otiske oplemenjene mikrokapsulama u koncentraciji od 1%. Opadajući trend vrednosti S_{sk} parametra se generalno nastavio i narednim povećanjem koncentracije mikrokapsula u lakovima (15%). Razlog pada vrednosti S_{sk} parametra sa povećanjem koncentracije mikrokapsula u lakovima (iznad 1%) je to što je uz pojavu novih vrhova (što je posledica dodatnih mirisnih mikrokapsula), došlo i do formiranja novih udubljenja (između novonastalih vrhova), što je omogućilo da se površinska struktura oplemenjenih otisaka izbalansira (tabela 6.8). Isti trend prati i S_{ku} parametar. Naime, posle inicijalnog skoka vrednosti ovog parametra na oplemenjenim otiscima mikrokapsulama u masenoj koncentraciji od 1%, koji sugerise formiranje visokih vrhova, svako naredno povećanje koncentracije mirisnih mikrokapsula u lakovima je dovelo do pada vrednosti koeficijenta oštine površine.



Slika 6.31. 3D prikaz oplemenjenih površina mat premaznog papira automatskom tehnikom premazivanja: a) PL1_0%_mat, b) PL1_1%_mat, c) PL1_7%_mat, d) PL1_15%_mat, e) PL2_0%_mat, f) PL2_1%_mat, g) PL2_7%_mat, h) PL2_15%_mat



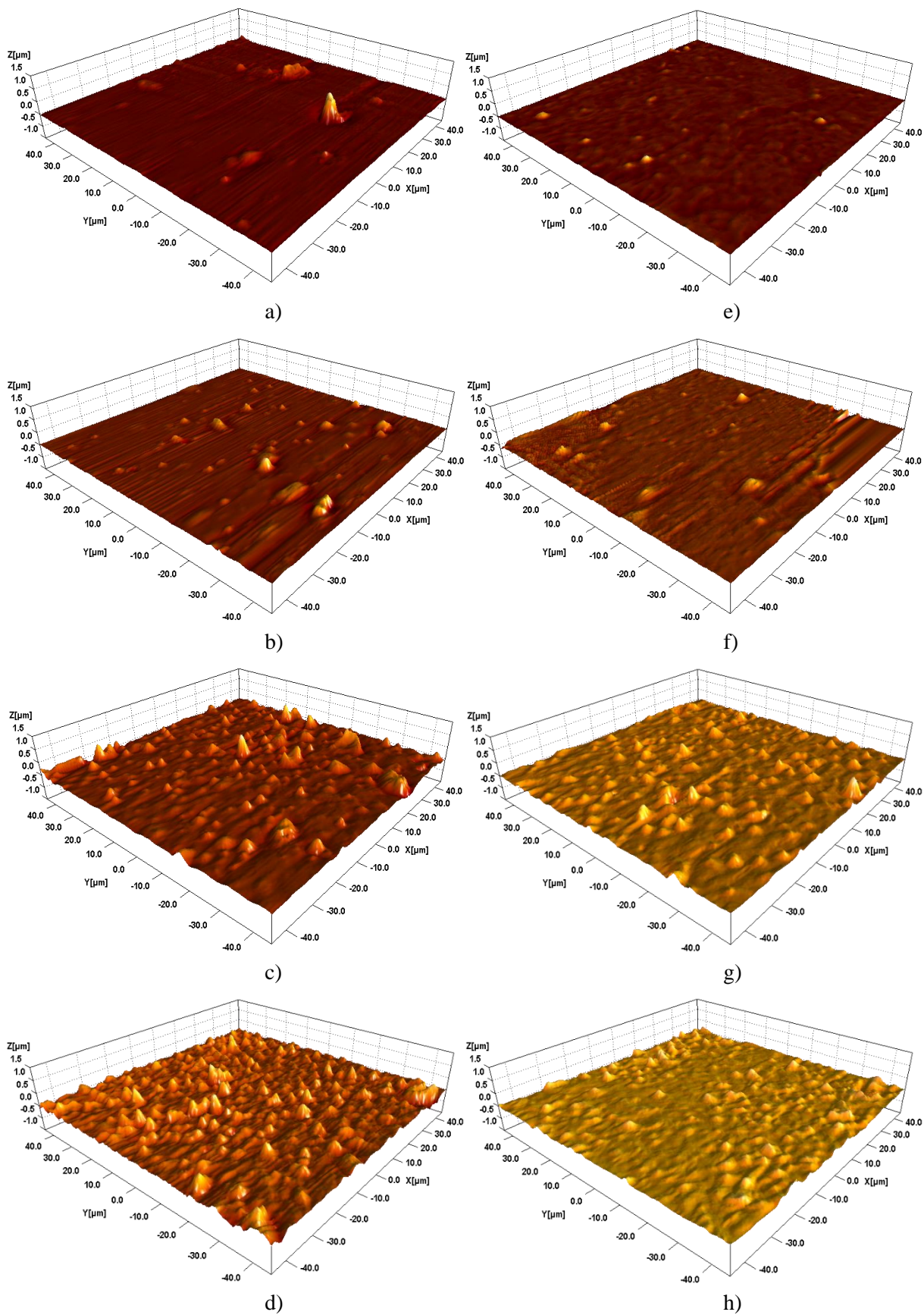
Slika 6.32. 3D prikaz oplemenjenih površina mat premaznog papira tehnikom flekso štampe:
a) FL1_0%_mat, b) FL1_1%_mat, c) FL1_7%_mat, d) FL1_15%_mat, e) FL2_0%_mat,
f) FL2_1%_mat, g) FL2_7%_mat, h) FL2_15%_mat

U tabeli 6.11 su date srednje vrednosti analiziranih parametara površinske hrapavosti i vrednosti standardne devijacije, za štampane otiske sjanog premaznog papira, oplemenjene korišćenjem dve vrste laka (L_1 i L_2), četiri masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u lakovima (0%, 1%, 7% i 15%) pomoću automatske tehnike premazivanja i flekso tehnike štampe, a na slikama 6.33 i 6.34 je predstavljen 3D izgled ovih oplemenjenih površina. I u slučaju oplemenjenih otisaka sjajnog premaznog papira, prisutan je isti, dominantan trend porasta S_a i S_q parametara površinske hrapavosti oplemenjenih otisaka sa povećanjem koncentracije mirisnih mikrokapsula u lakovima, nezavisno od njegovog tipa kao i tehnike oplemenjivanja (tabela 6.9, slika 6.33 i 6.34). Odstupanje od ovog trenda je zabeleženo kod uzorka FL1_1%_sjajni, oplemenjenog L_1 lakom, koncentracijom mikrokapsula od 1%, pomoću flekso tehnike štampe. Ovde su zabeležene manje vrednosti S_a i S_q parametara u odnosu na oplemenjeni otisak samo lakom, istom tehnikom, tabela 6.11.

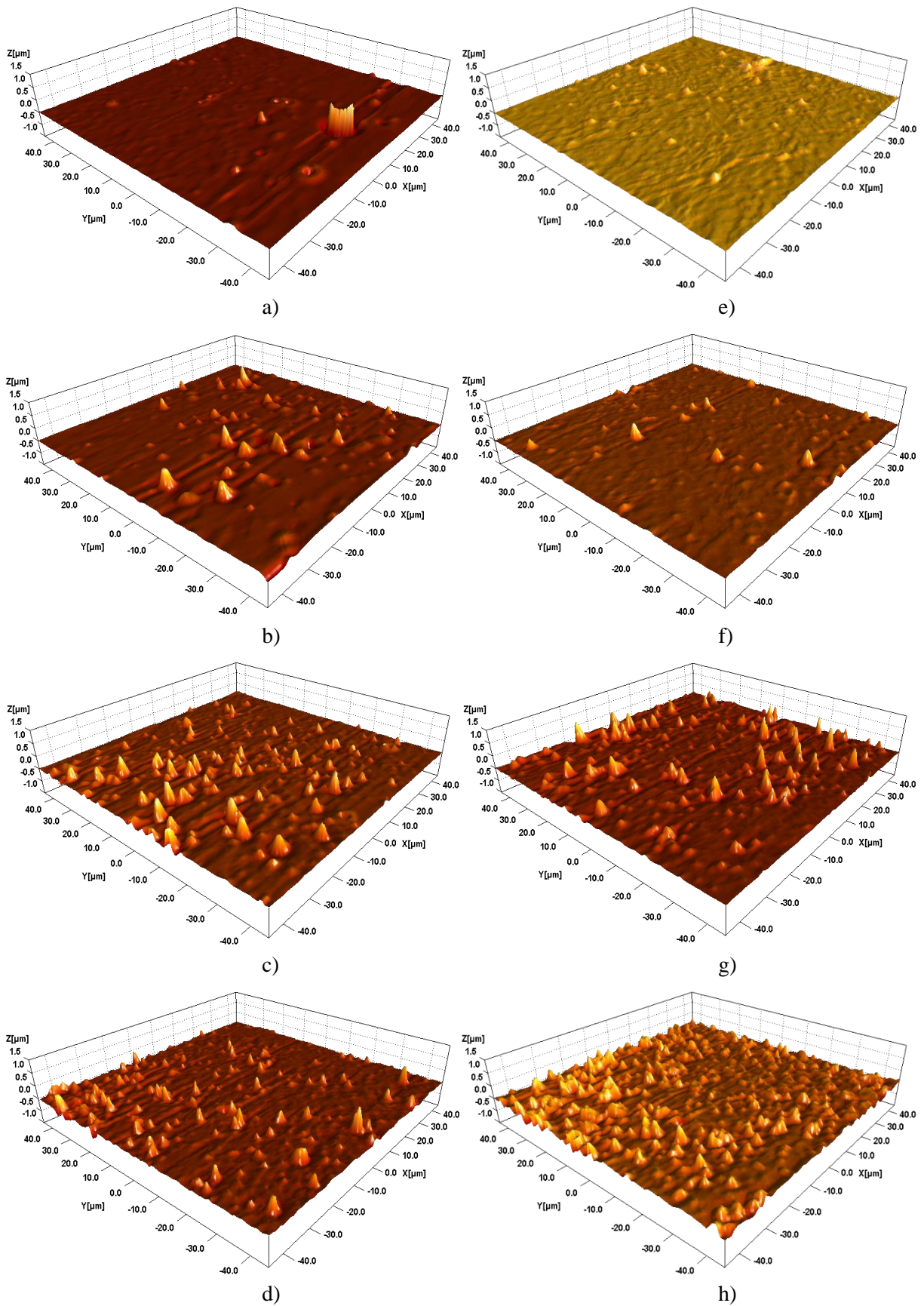
Tabela 6.11. Površinska hrapavost otisaka sjajnog premaznog papira oplemenjenih automatskom tehnikom premazivanja i flekso tehnikom štampe (S_a , S_q , S_{sk} i S_{ku} parametar)

Uzorak	Parametar površinske hrapavosti			
	S_a [nm]	S_q [nm]	S_{sk} [/]	S_{ku} [/]
PL1_0%_sjajni	13,63 ± 2,02	35,06 ± 10,39	4,52	55,80
PL1_1%_sjajni	16,63 ± 4,23	38,11 ± 16,95	4,34	56,29
PL1_7%_sjajni	35,89 ± 1,95	64,24 ± 1,18	2,77	31,13
PL1_15%_sjajni	59,81 ± 4,04	88,87 ± 8,33	1,64	14,01
PL2_0%_sjajni	6,68 ± 0,41	9,71 ± 0,89	1,90	21,90
PL2_1%_sjajni	19,43 ± 5,06	34,30 ± 10,78	1,24	48,83
PL2_7%_sjajni	29,43 ± 8,23	55,64 ± 16,36	-0,62	80,30
PL2_15%_sjajni	39,09 ± 9,40	59,55 ± 14,41	-0,09	31,66
FL1_0%_sjajni	25,08 ± 10,46	68,49 ± 22,86	4,36	84,63
FL1_1%_sjajni	21,57 ± 3,65	46,81 ± 13,25	2,94	38,44
FL1_7%_sjajni	34,88 ± 7,57	67,84 ± 12,62	3,25	27,41
FL1_15%_sjajni	38,88 ± 17,50	75,66 ± 31,65	3,11	28,22
FL2_0%_sjajni	10,10 ± 1,32	16,81 ± 2,95	4,50	61,13
FL2_1%_sjajni	16,10 ± 3,60	32,48 ± 7,73	3,90	66,84
FL2_7%_sjajni	37,29 ± 5,97	71,64 ± 7,47	3,42	32,84
FL2_15%_sjajni	58,32 ± 4,13	84,19 ± 5,40	0,30	27,07

U odnosu na neštampani sjajni premazni papir i štampani otisak, predstavljene srednje vrednosti prosečne površinske hrapavosti (S_a) oplemenjenih otisaka su u značajnoj meri opale nakon procesa oplemenjivanja masenim koncentracijama mikrokapsula od 0% i 1%, tabela 6.9 i tabela 6.11. Oplemenjivanjem otisaka su smanjene postojeće površinske nepravilnosti, a oplemenjena površina je postala finija (slika 6.33a, 6.33e i 6.34a, 6.34e). Procesom oplemenjivanja otisaka mirisnim mikrokapsulama u masenoj koncentraciji od 1% u lakovima, dobijene su površinske strukture sa većim brojem nepravilnosti u odnosu na oplemenjene otiske samo lakovima (slika 6.33b, 6.33f i 6.34b, 6.34f).



Slika 6.33. 3D prikaz oplemenjenih površina sjajnog premaznog papira automatskom tehnikom premazivanja: a) PL1_0%_sjajni, b) PL1_1%_sjajni, c) PL1_7%_sjajni, d) PL1_15%_sjajni, e) PL2_0%_sjajni, f) PL2_1%_sjajni, g) PL2_7%_sjajni, h) PL2_15%_sjajni



Slika 6.34. 3D prikaz oplemenjenih površina sjajnog premaznog papira flekso tehnikom štampe:
a) FL1_0%_sjajni, b) FL1_1%_sjajni, c) FL1_7%_sjajni, d) FL1_15%_sjajni,
e) FL2_0%_sjajni, f) FL2_1%_sjajni, g) FL2_7%_sjajni, h) FL2_15%_sjajni

Oplemenjivanje otisaka lakovima i mirisnim mikrokapsulama je dovelo do promena na površini oplemenjenih otisaka (slika 6.33 i 6.34), gde su više koncentracije mikrokapsula u lakovima uticale na pojavu većeg broja nepravilnosti (vrhova) na površini, čineći je grubljom. Ovo je uticalo na rast vrednosti S_a i S_q parametara površinske hrapavosti oplemenjenih otisaka. Otisci sjajnog premaznog papira, oplemenjeni automatskom tehnikom premazivanja generalno imaju finiju površinsku strukturu, odnosno manju površinsku hrapavost u poređenju sa na isti način oplemenjenim otiscima na mat premaznom papiru, dok otisci oplemenjeni flekso tehnikom štampe imaju bliskije vrednosti ovih parametara, poredeći oba tipa korišćenih podloga za štampu (izuzeci su FL1_15%_sjajni i FL2_0%_sjajni) (tabela 6.10 i 6.11).

U slučaju razmatranih otisaka sjajnog premaznog papira, nezavisno od korišćene tehnike oplemenjivanja, dobijene vrednosti S_a i S_q parametara su generalno više kod otisaka oplemenjenih L_1 lakom, što je rezultat sastava laka L_1 koji sadrži čestice polietilenskog voska. Na otiscima oplemenjenim flekso tehnikom štampe su generalno zabeležene više vrednosti parametara površinske hrapavosti (S_a i S_q) u odnosu na otiske oplemenjene automatskom tehnikom premazivanja. Na oplemenjenim otiscima L_1 lakom su zabeležene pozitivne vrednosti S_{sk} parametra, što daje indikaciju površinske strukture sa dominantnim vrhovima, dok su na pojedinim otiscima oplemenjenim L_2 lakom (PL2_7%_sjajni i PL2_15%_sjajni) registrovane negativne vrednosti koeficijenta asimetrije površine, što ukazuje na površine sa dominantnim udubljenjima (tabela 6.11). Uočljiv je generalno opadajući trend vrednosti S_{sk} i S_{ku} parametara sa porastom masene koncentracije mikrokapsula u lakovima. Ovo daje indikaciju da se karakteristična površinska struktura sa izolovanim vrhovima postepeno menjala, tako da su se generisanjem novih vrhova (što je posledica dodatnih mirisnih mikrokapsula) formirala i nova udubljenja između njih, čime su se smanjili veći defekati prisutni na površini oplemenjenih otisaka, a površinska struktura oplemenjenih otisaka je postala izbalansiraniya.

U tabelama 6.10 i 6.11 se mogu primetiti veoma visoke vrednosti standardne devijacije S_a i S_q parametara, u slučaju pojedinih oplemenjenih otisaka, što daje indikaciju veoma nehomogene površinske strukture ovih otisaka. Uzorci na kojima su generalno zabeležene najviše vrednosti standardne devijacije posmatranih parametara površinske hrapavosti su oplemenjeni otisci korišćenjem najviših masenih koncentracija mirisnih mikrokapsula u lakovima, 7% i 15%.

U tabeli 6.12 su predstavljeni rezultati izvršene statističke analize dobijenih vrednosti površinske hrapavosti, odnosno srednjeg kvadratnog odstupanja (S_q parametar) oplemenjenih otisaka, različitim tipovima lakova i masenim koncentracijama mirisnih mikrokapsula u njima, koristeći različite podloge za štampu kao i tehnike oplemenjivanja. Na osnovu statističkih analiza koje su sprovedene, dobijeni su rezultati statističke značajnosti uticaja (p) svakog od variranih faktora, odnosno nezavisnih promenljivih, u procesu oplemenjivanja (tehnika oplemenjivanja, koncentracija mikrokapsula, tip laka i podloge za štampu), kao i rezultati eta kvadrata, pokazatelja veličine uticaja svakog od faktora na posmatranu izlaznu veličinu, tj. debljinu oplemenjenog sloja.

Multifaktorska analiza varijanse je pokazala da na debljinu oplemenjenog sloja laka statistički značajan uticaj ($p < 0,05$) nema interakcija tri, odnosno četiri varirana faktora prilikom procesa oplemenjivanja (tehnika*lak*podloga: $p=0,172$; tehnika*lak*koncentracija: $p=0,061$; tehnika*podloga*koncentracija: $p=0,925$; lak*podloga*koncentracija: $p=0,173$; tehnika*lak*podloga*koncentracija: $p=0,447$), tabela 11.3 (Prilog 1). Takođe, dobijeni rezultati pokazuju da je zaseban uticaj pojedinih, kao i uticaj interakcije određenih parova faktora statistički značajan, zbog čega je izvršena i dodatna dvofaktorska analiza varijanse kako bi se dati uticaji detaljnije ispitali i obrazložili, tabela 6.12.

U nastavku statističke analize rezultata srednjeg kvadratnog odstupanja (S_q parametar), kao mere površinske hrapavosti oplemenjenih površina, vršene su samo dvofaktorske analize varijanse parova variranih faktora prilikom procesa oplemenjivanja (tehnika*lak: $p=0,329$, tehnika*podloga: $p=0,375$, tehnika*koncentracija: $p=0,448$, lak*podloga: $p=0,511$, lak*koncentracija: $p=0,809$ i podloga*koncentracija: $p=0,068$), obzirom da analizama nije utvrđena statistička značajnost uticaja interakcije navedenih parova faktora, tabela 6.10. Rezultati statističke analize su pokazali da tip podloge za štampu i tehnika oplemenjivanja nemaju statistički značajan uticaj ($p>0,05$) na dobijene vrednosti srednjeg kvadratnog odstupanja (S_q), kao parametra površinske hrapavosti (tabela 6.10). Nasuprot ovim faktorima, preostale dve nezavisne promenljive, tip laka i koncentracija mikrokapsula u oplemenjenom sloju, imaju statistički značajan uticaj na vrednosti S_q parametra. Iako oba ova faktora imaju statistički značajan uticaj na površinsku hrapavost oplemenjenih otisaka, uticaj upotrebe različitih koncentracija mirisnih mikrokapsula je značajno veći u odnosu na uticaj vrste, odnosno tipova laka, na čega ukazuju znatno više vrednosti eta kvadrata (tabela 6.12).

Tabela 6.12. Rezultati statističke analize vrednosti srednjeg kvadratnog odstupanja (S_q) oplemenjenih otisaka

Tip analize	Ispitivani faktori	p	Eta kvadrat
1. Dvofaktorska analiza varijanse	tehnika*lak	0,329	0,010
	tehnika	0,392	0,008
	lak	0,005	0,084
2. Dvofaktorska analiza varijanse	tehnika*podloga	0,375	0,009
	tehnika	0,412	0,007
	podloga	0,579	0,003
3. Dvofaktorska analiza varijanse	tehnika*koncentracija	0,448	0,030
	tehnika	0,227	0,017
	koncentracija	0,000	0,559
4. Dvofaktorska analiza varijanse	lak*podloga	0,511	0,005
	lak	0,005	0,083
	podloga	0,565	0,004
5. Dvofaktorska analiza varijanse	lak*koncentracija	0,809	0,011
	lak	0,000	0,184
	koncentracija	0,000	0,600
6. Dvofaktorska analiza varijanse	podloga*koncentracija	0,068	0,077
	podloga	0,404	0,008
	koncentracija	0,000	0,570

6.2.3.4 Analiza mikromehaničkih karakteristika oplemenjenih otisaka

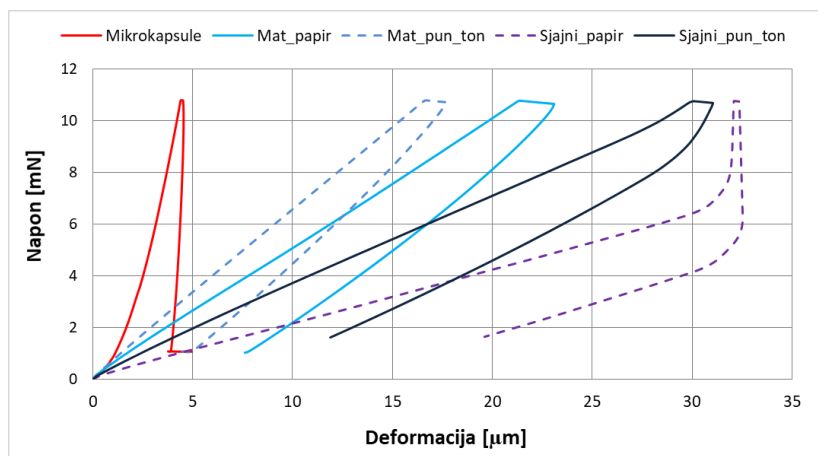
Funkcionalnost, odnosno aktivacija mirisnih mikrokapsula koje se koriste za oplemenjivanje različitih podloga za štampu u grafičkoj industriji, realizuje se trljanjem, tj. primenom odgovarajuće sile pritiska i smicanja pod čijim uticajem omotač mikrokapsula puca, čime se oslobađanja enkapsulirani miris. Zbog toga će u ovom segmentu doktorata biti izvršena analiza najbitnijih mikromehaničkih karakteristika oplemenjenih površina, izrađenih kombinacijom različitih lakova i masenih koncentracija

mirisnih mikrokapsula na podlogama za štampu od premaznih papira. Cilj je da se na ovaj način utvrdi koji tip laka i podloge za štampu, koja koncentracija mirisnih mikrokapsula u lakovima, kao i koja tehnika aplikacije mirisnih mikrokapsula omogućava postojanije i dugotrajnije oplemenjene površine, a time i duže dejstvo apliciranih mirisnih mikrokapsula. Pored navedenog, van ravanske mikromehaničke osobine papirnih materijala bitne su i za određivanje lokalnih varijacija mikromehaničkih karakteristika, kao i za druge procese koji se odvijaju u grafičkoj industriji, poput štampe, utiskivanja i isecanja (West, i drugi, 2008). Kako bi se odredile mikromehaničke karakteristike (Jangov modul elastičnosti, tvrdoća, deformacija, maksimalni primenjeni napon, krive odnosa napona i deformacije) mirisnih mikrokapsula u vodenoj suspenziji, neodštampanih i štampanih premaznih papira, kao i oplemenjenih otisaka lakovima (L_1 i L_2) pomoću automatske tehnike premazivanja i flekso tehnike štampe, korišćenjem četiri masene koncentracije mikrokapsula u lakovima (0%, 1%, 7% i 15%), upotrebljen je metod nanoindentacije (tabela 6.10, 6.11 i 6.12, slika 6.35, 6.36 i 6.37).

U tabeli 6.13 su predstavljene izmerene vrednosti Jangovog modula elastičnosti, tvrdoće, maksimalne deformacije i maksimalnog primenjenog napona, kao i izračunate vrednosti standardne devijacije za uzorke mirisnih mikrokapsula, neodštampanog mat i sjajnog premaznog papira, kao i štampanih punih tonskih površina na ovim podlogama za štampu. Na uzorku mirisnih mikrokapsula je zabeležena najviša vrednost modula elastičnosti i tvrdoće, a najmanja deformacija, tabela 6.13. U slučaju mat premaznog papira, štampa punog tona je omogućila znatno veću tvrdoću i modul elastičnosti u odnosu na neodštampani papir. Takođe, odštampani sloj boje je uticao na pojavu manje deformacije kod oba premazna papira u odnosu na neodštampane premazne papire istog tipa (tabela 6.10, slika 6.35). Mat premazni papir, kako neodštampan, tako i odštampan, je pokazao bolja mehanička svojstva (veći modul elastičnosti i tvrdoću kao i manju deformaciju) u odnosu na uzorke sjajnog premaznog papira (tabela 6.13, slika 6.35).

Tabela 6.13. Mikromehaničke karakteristike mirisnih mikrokapsula, neodštampanih i štampanih premaznih papira

Uzorak	Modul elastičnosti [GPa]	Tvrdoća [GPa]	Maksimalna deformacija [μm]	Maksimalni napon [mN]
Mikrokapsule	$1,172 \pm 0,350$	$0,023 \pm 0,010$	$4,84 \pm 0,931$	$10,63 \pm 0,041$
Mat papir	$0,011 \pm 0,001$	$0,002 \pm 0,000$	$23,03 \pm 1,081$	$10,50 \pm 0,038$
Mat pun ton	$0,018 \pm 0,003$	$0,005 \pm 0,001$	$17,59 \pm 1,438$	$10,56 \pm 0,04$
Sjajni papir	$0,009 \pm 0,002$	$0,001 \pm 0,000$	$33,82 \pm 1,787$	$10,58 \pm 0,044$
Sjajni pun ton	$0,006 \pm 0,001$	$0,001 \pm 0,000$	$31,01 \pm 2,381$	$10,52 \pm 0,68$



Slika 6.35. Izgled krivih napon-deformacija: mikrokapsula, mat i sjajnog premaznog papira, kao i odštampalog sloja boje na oba tipa premazna papira

Kriva napon-deformacija neodštampalog sjajnog premaznog papira (slika 6.35) nema karakterističan oblik, kao prostale četiri prikazane krive. Može se primetiti da ova kriva oštro menja oblik, odnosno pravac nakon primene sile utiskivača od približno 7 Nm, što je pokazatelj da je utiskivač probio premazni sloj ovog papira i došao u kontakt sa drugim materijalom koji se nalazi u središtu (celuloznim vlaknima papira) koji ima potpuno drugačija mehanička svojstva od premaznog sloja papira. Ovo znači da je utiskivač nanoindenta delovao previše velikom silom za postojeću debljinu premaza ovog papira.

U tabeli 6.14 su predstavljene izmerene vrednosti Jangovog modula elastičnosti, tvrdoće, maksimalne deformacije i maksimalnog primenjenog napona, kao i izračunate vrednosti standardne devijacije za uzorke odštampalog mat premaznog papira oplemenjenog lakovima L_1 i L_2 pomoću automatske tehnike premazivanja i flekso tehnike štampe, korišćenjem četiri masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u njima (0%, 1%, 7% i 15%). Na slici 6.36 su prikazane krive napon-deformacija navedenih uzoraka. Za razliku od analiziranih mikromehaničkih osobina oplemenjenih otisaka L_1 lakom i mirisnim mikrokapsulama na transparentnoj foliji, u okviru preliminarnog dela istraživanja, gde je kao što je i bilo očekivano, dobijeni rezultati ukazuju na to da se povećanjem masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u oplemenjenom sloju laka unapređuju elastična svojstva oplemenjenih otisaka (raste modul elastičnosti), povećava se tvrdoća i smanjuje indukovana plastična deformacija, što sa oplemenjenim papirnim podlogama za štampu nije slučaj.

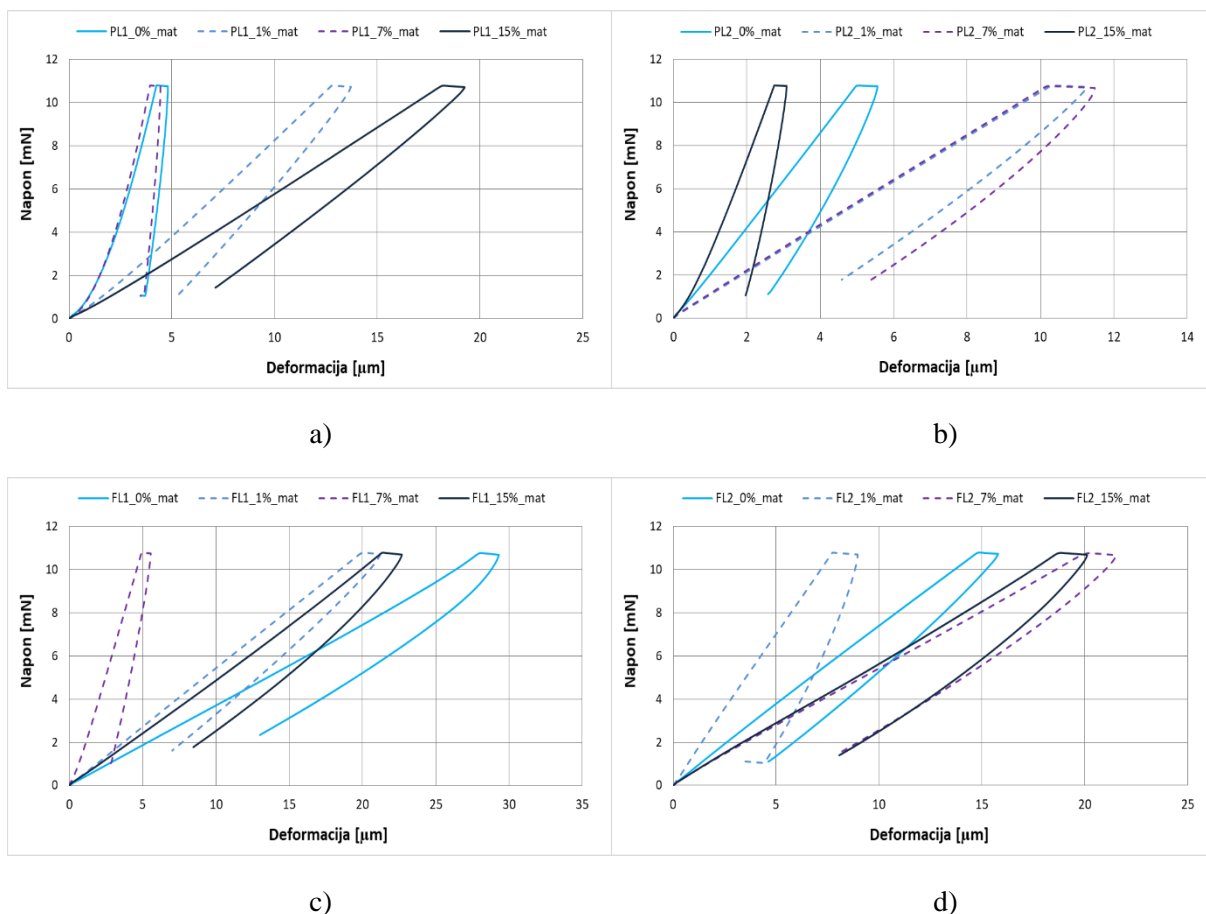
Naime, ovde nije registrovan ponovljiv trend vrednosti ni jednog analiziranog parametra, pa su tek u pojedinim slučajevima oplemenjenih uzoraka dobijeni ovi, pretpostavljeni odnosi (tabela 6.14, slika 6.36). Tako na primer, u slučaju uzoraka $PL_{1_0\%_mat}$ i $PL_{1_7\%_mat}$, oplemenjenih L_1 lakom, automatskom tehnikom premazivanja, oplemenjeni otisak sa višom masenom koncentracijom mikrokapsula ima veću tvrdoću i modul elastičnosti, zbog čega je i nastala deformacija manja, dok je obrnut slučaj sa uzorcima $PL_{1_1\%_mat}$ i $PL_{1_15\%_mat}$. Ovaj pretpostavljeni trend ponašanja vrednosti analiziranih parametara je prisutan i u slučaju oplemenjenih otisaka $PL_{2_0\%_mat}$ i $PL_{2_15\%_mat}$ (tabela 6.14, slika 6.36). Kod oplemenjenih otisaka tehnikom flekso štampe, trend rasta modula elastičnosti i tvrdoće uz smanjenje deformacije sa porastom koncentracije mirisnih mikrokapsula je prisutan jedino u slučaju otisaka oplemenjenih L_1 lakom ($FL_{1_0\%_mat}$, $FL_{1_1\%_mat}$, $FL_{1_7\%_mat}$), međutim uzorak $FL_{1_15\%_mat}$ ima lošije mehaničke karakteristike u odnosu na uzorke oplemenjene

korišćenjem nižih masenih koncentracija mikrokapsula (FL₁_1%_mat i FL₁_7%_mat), tabela 6.14 i slika 6.36.

Tabela 6.14. Rezultati mikromehaničkih karakteristika oplemenjenih otisaka mat premaznog papira

Uzorak	Modul elastičnosti [GPa]	Tvrdoća [GPa]	Deformacija [μm]	Maksimalni napon [mN]
PL ₁ _0%_mat	0,591 ± 0,167	0,025 ± 0,007	4,81 ± 0,555	10,60 ± 0,038
PL ₁ _1%_mat	0,031 ± 0,006	0,008 ± 0,001	13,66 ± 1,234	10,56 ± 0,037
PL ₁ _7%_mat	0,844 ± 0,198	0,027 ± 0,007	4,45 ± 0,437	10,59 ± 0,041
PL ₁ _15%_mat	0,015 ± 0,003	0,004 ± 0,001	19,16 ± 1,586	10,55 ± 0,041
PL ₂ _0%_mat	0,238 ± 0,091	0,038 ± 0,016	5,55 ± 1,490	10,58 ± 0,037
PL ₂ _1%_mat	0,045 ± 0,002	0,011 ± 0,001	11,22 ± 0,241	10,58 ± 0,035
PL ₂ _7%_mat	0,050 ± 0,015	0,008 ± 0,002	11,47 ± 1,722	10,53 ± 0,041
PL ₂ _15%_mat	0,904 ± 0,147	0,075 ± 0,017	3,08 ± 0,340	10,63 ± 0,036
FL ₁ _0%_mat	0,007 ± 0,001	0,001 ± 0,000	29,25 ± 1,661	10,52 ± 0,059
FL ₁ _1%_mat	0,013 ± 0,003	0,004 ± 0,001	21,12 ± 2,202	10,53 ± 0,040
FL ₁ _7%_mat	0,218 ± 0,031	0,029 ± 0,006	5,53 ± 0,421	10,59 ± 0,043
FL ₁ _15%_mat	0,011 ± 0,001	0,002 ± 0,000	22,61 ± 1,147	10,53 ± 0,039
FL ₂ _0%_mat	0,023 ± 0,004	0,007 ± 0,001	15,72 ± 1,354	10,56 ± 0,041
FL ₂ _1%_mat	0,088 ± 0,013	0,010 ± 0,001	8,97 ± 0,539	10,54 ± 0,041
FL ₂ _7%_mat	0,013 ± 0,005	0,003 ± 0,001	21,46 ± 3,419	10,51 ± 0,040
FL ₂ _15%_mat	0,016 ± 0,004	0,003 ± 0,001	20,08 ± 2,302	10,52 ± 0,036

U odnosu na štampani, ali neoplemenjeni mat premazni papir (uzorak Mat_pun_ton) gotovo svi uzorci oplemenjeni automatskom tehnikom premazivanja su mehanički postojaniji, osim uzorka PL₁_15%_mat, dok u slučaju uzorka oplemenjenih flekso tehnikom štampe samo tri uzorka imaju bolje mehaničke karakteristike (FL₁_7%_mat, FL₂_0%_mat, FL₂_1%_mat) (tabela 6.13, tabela 6.14, slika 6.35 i slika 6.36). U slučaju otisaka oplemenjenih flekso tehnikom štampe, dobijeni rezultati sugerišu generalno bolje mehaničke karakteristike oplemenjenih otisaka L₂ lakom u odnosu na otiske oplemenjene L₁ lakom za iste koncentracije mikrokapsula (osim u slučaju FL₂_7%_mat uzorka), dok kod otisaka oplemenjenih automatskom tehnikom premazivanja nije moguće izvući potpuno precizne zaključke. Svi uzorci mat premaznog papira (osim PL₂_1%_mat uzorka) koji su oplemenjeni automatskom tehnikom premazivanja su pokazali bolje mehaničke karakteristike u odnosu na otiske oplemenjene flekso tehnikom štampe za istu masenu koncentraciju mikrokapsula i korišćeni tip laka.



Slika 6.36. Izgled krivih napon-deformacija oplemenjenih otisaka mat premaznog papira:

- a) L₁ lakom i aut. teh. premazivanja, b) L₂ lakom i aut. teh. premazivanja,
- c) L₁ lakom i tehnikom fleksno štampe, d) L₂ lakom i tehnikom fleksno štampe

U tabeli 6.15 su predstavljene izmerene vrednosti Jangovog modula elastičnosti, tvrdoće, maksimalne deformacije i maksimalnog primenjenog napona, kao i izračunate vrednosti standardne devijacije za uzorke odštampanog sjajnog premaznog papira oplemenjenog lakovima L₁ i L₂ pomoću automatske tehnike premazivanja i fleksno tehnike štampe, korišćenjem četiri masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u njima (0%, 1%, 7% i 15%). Na slici 6.35 su prikazane krive napon-deformacija prethodno navedenih oplemenjenih uzoraka.

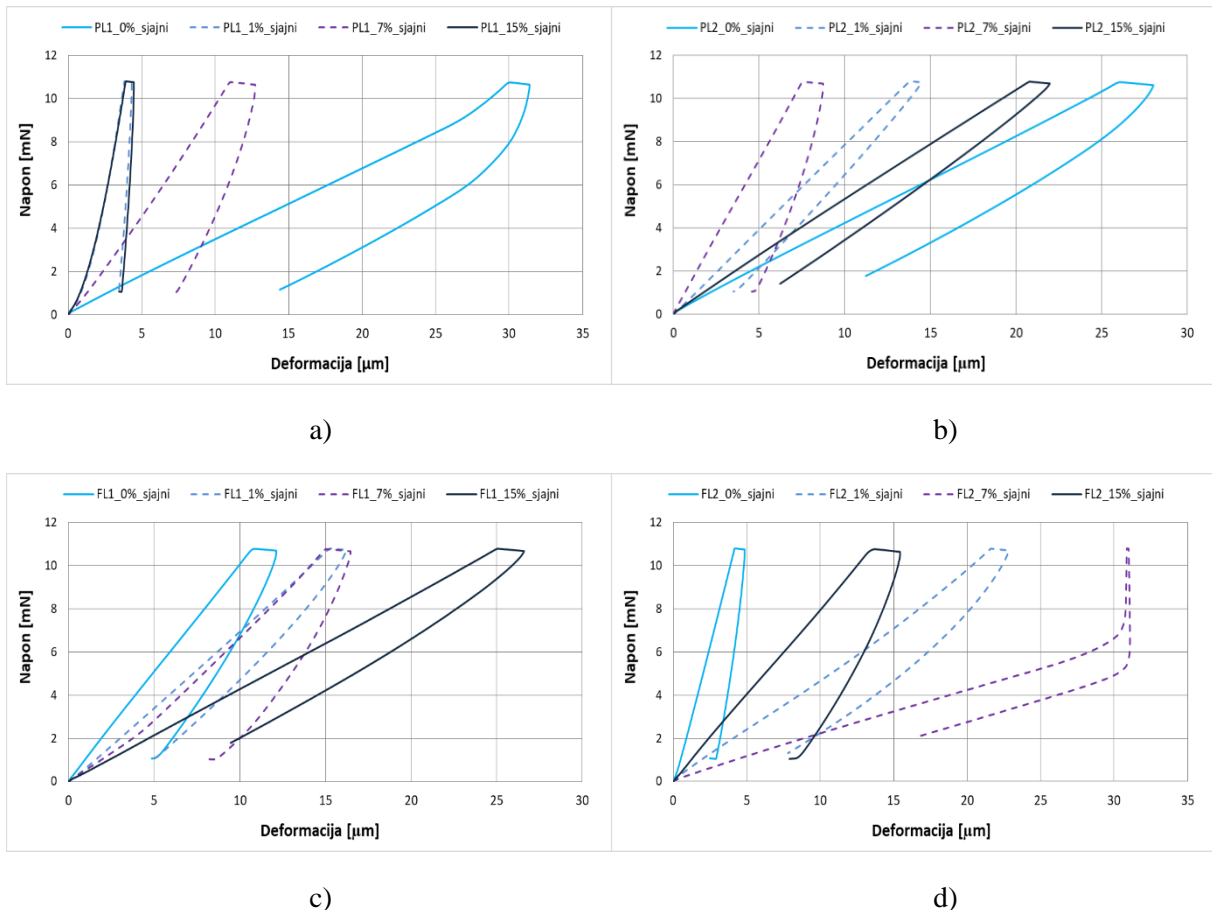
Ni u slučaju oplemenjenih otisaka na sjajnom premaznom papiru nije zabeležen očekivani, ponovljivi trend ponašanja vrednosti analiziranih mehaničkih parametra. Trend zabeležen u okviru preliminarnih rezultata, jedino je prisutan kod oplemenjenih otisaka automatskom tehnikom premazivanja (PL₂_0%_sjajni, PL₂_1%_sjajni i PL₂_7%_sjajni), tabela 6.15 i slika 6.37. U odnosu na štampani, neoplemenjeni sjajni premazni papir (uzorak Sjajni_pun_ton) svi oplemenjeni otisci su pokazali bolja mehanička svojstva, osim uzoraka PL₁_0%_sjajni i FL₂_7%_sjajni (tabela 6.13, tabela 6.15, slika 6.35 i slika 6.37). Kao i u prethodnom slučaju oplemenjenih otisaka mat premaznog papira, vrlo je teško proceniti koji tip laka, u okviru iste tehnike oplemenjivanja, omogućava dobijanje oplemenjenih otisaka sa boljim mehaničkim osobinama. Generalno, zabeležene vrednosti razmatranih mehaničkih parametara ukazuju na to da uzorci sjajnog premaznog papira koji su oplemenjeni automatskom tehnikom premazivanja poseduju bolje mehaničke osobine u odnosu na otiske oplemenjene fleksno tehnikom

štampe za isti tip laka i masenu koncentraciju mikrokapsula u njemu (osim u slučaju uzoraka PL₁_0%_sjajni, PL₂_0%_sjajni, i PL₂_15%_sjajni), tabela 6.15, slika 6.37. Oplemenjeni otisci L₂ lakom na mat premaznom papiru pomoću automatske tehnike premazivanja pokazuju bolje mehaničke karakteristike u odnosu na uzorke sjajnog premaznog papira oplemenjene na isti način (osim uzorka PL₂_7%_mat) (tabela 6.14, tabela 6.15, slika 6.36, slika 6.37).

Tabela 6.15. Rezultati mikromehaničkih karakteristika oplemenjenih otisaka sjajnog premaznog papira

Uzorak	Modul elastičnosti [GPa]	Tvrdoća [GPa]	Deformacija [μm]	Maksimalni napon [mN]
PL₁_0%_sjajni	0,008 ± 0,003	0,001 ± 0,000	31,44 ± 2,495	10,48 ± 0,102
PL₁_1%_sjajni	0,841 ± 0,284	0,030 ± 0,005	4,33 ± 0,464	10,59 ± 0,034
PL₁_7%_sjajni	0,055 ± 0,022	0,005 ± 0,002	12,76 ± 2,269	10,49 ± 0,051
PL₁_15%_sjajni	0,914 ± 0,305	0,029 ± 0,011	4,47 ± 0,822	10,59 ± 0,039
PL₂_0%_sjajni	0,007 ± 0,001	0,001 ± 0,000	27,98 ± 1,741	10,46 ± 0,061
PL₂_1%_sjajni	0,029 ± 0,009	0,011 ± 0,002	14,36 ± 1,971	10,59 ± 0,036
PL₂_7%_sjajni	0,129 ± 0,069	0,012 ± 0,005	8,75 ± 2,678	10,53 ± 0,049
PL₂_15%_sjajni	0,012 ± 0,001	0,004 ± 0,001	21,86 ± 0,895	10,55 ± 0,038
FL₁_0%_sjajni	0,051 ± 0,028	0,007 ± 0,003	12,13 ± 2,940	10,53 ± 0,040
FL₁_1%_sjajni	0,022 ± 0,005	0,005 ± 0,001	16,14 ± 1,550	10,56 ± 0,041
FL₁_7%_sjajni	0,031 ± 0,009	0,003 ± 0,001	16,46 ± 1,907	10,51 ± 0,047
FL₁_15%_sjajni	0,008 ± 0,001	0,002 ± 0,000	26,52 ± 1,011	10,52 ± 0,045
FL₂_0%_sjajni	0,359 ± 0,078	0,030 ± 0,006	4,86 ± 0,502	10,57 ± 0,041
FL₂_1%_sjajni	0,012 ± 0,001	0,002 ± 0,000	22,75 ± 0,592	10,53 ± 0,044
FL₂_7%_sjajni	0,011 ± 0,003	0,001 ± 0,000	32,81 ± 1,776	10,60 ± 0,042
FL₂_15%_sjajni	0,038 ± 0,019	0,004 ± 0,002	15,46 ± 4,487	10,47 ± 0,067

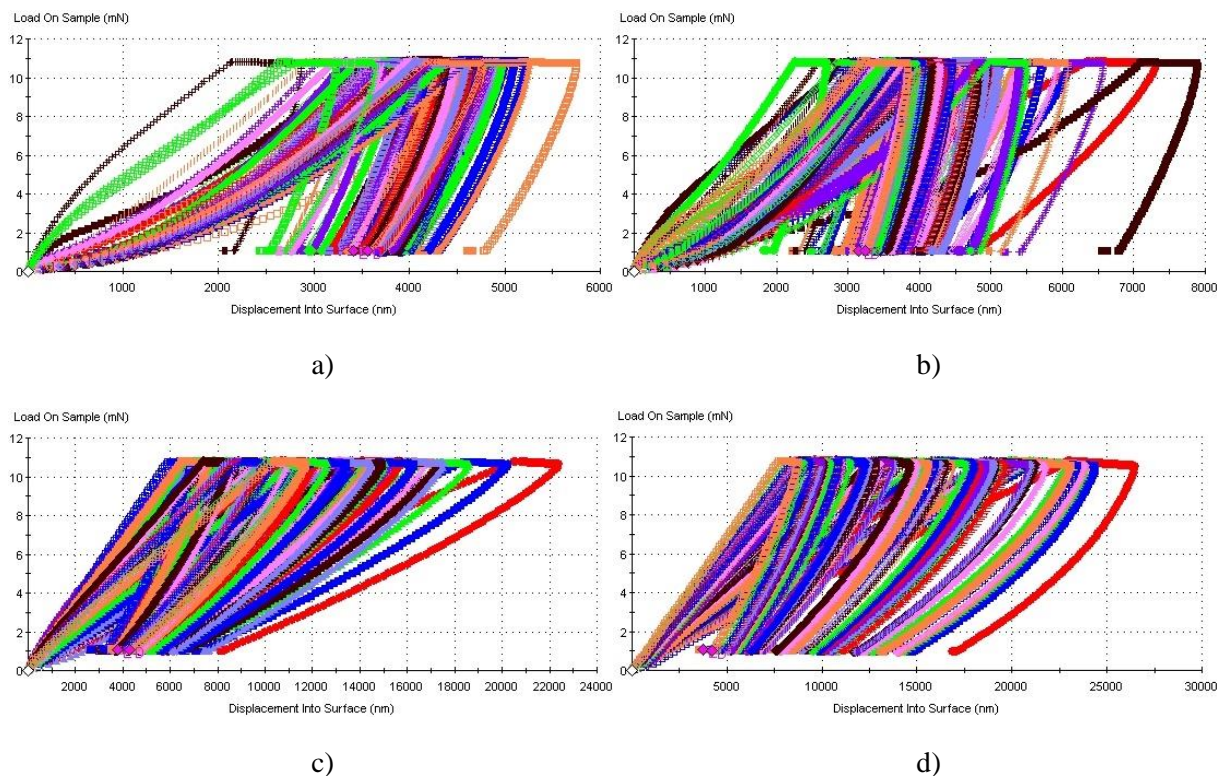
Kao i u slučaju neodštampanog sjajnog premaznog papira (slika 6.35), kriva napon-deformacija otiska sjajnog premaznog papira oplemenjenog L₂ lakom, koncentracijom mirisnih mikrokapsula od 7% pomoću flekso tehnike štampe (slika 6.37d), nema karakterističan oblik, kao ostale prikazane krive odnosa napona i deformacije. Ova kriva oštro menja oblik, odnosno pravac nakon primene sile utiskivača od oko 7 Nm, što je znači da je utiskivač nanoindentera u potpunosti probio oplemenjeni sloj laka sa mikrokapsulama i došao u kontakt sa drugim materijalom koji se nalazi ispod oplemenjenog sloja (ili površinom papira ili celuloznim vlaknima papira), koji ima veoma različita mehanička svojstva od oplemenjenog sloja laka sa mirisnim mikrokapsulama. To znači da je utiskivač nanoindentera delovao silom previše velikog intenziteta za postojeću debljinu apliciranog funkcionalnog premaza.



Slika 6.37. Izgled krivih napon-deformacija oplemenjenih otisaka sjajnog premaznog papira:

- a) L₁ lakom i aut. teh. premazivanja, b) L₂ lakom i aut. teh. premazivanja,
- c) L₁ lakom i tehnikom flekso štampe, d) L₂ lakom i tehnikom flekso štampe

Veoma visoke vrednosti standardne devijacije analiziranih mehaničkih parametara velikog broja oplemenjenih uzoraka (tabela 6.14 i 6.15), ukazuju na veliku nehomogenost rezultata, odnosno nehomogenost strukture oplemenjenih slojeva lakova sa mikrokapsulama i nekonzistentnost njihovih mehaničkih karakteristika na svim merenim segmenatima. Na slici 6.38 su prikazane sve generisane krive napon-deformacija oplemenjenih otisaka automatskom tehnikom premazivanja na mat (PL1_7%_mat), odnosno sjajnom premaznom papiru (PL1_15%_sjajni), kao i krivih napon-deformacija oplemenjenih otisaka sjajnog premaznog papira flekso tehnikom štampe (FL₁_0%_sjajni, FL₂_15%_sjajni). Ostali grafici sa svim prikazanim krivama napon-deformacija su date u prilogu 2 (slike 11.1 – 11.5). Na nehomogenost strukture oplemenjenih slojeva su mogli uticati zarobljeni vazdušni mehurići u oplemenjenim slojevima nastali u toku procesa oplemenjivanja, zatim neuniformna, nehomogena površina oplemenjenih otisaka (pogotovo onih oplemenjenih višim masenim koncentracijama mirisnih mikrokapsula), kao i različite nepravilnosti na oplemenjenim površinama u vidu udubljenja, čestica voska (u sastavu L₁ laka) i čestica pigmenta. Takođe, bitno je i pitanje rasporeda odnosno distribucije apliciranih mirisnih mikrokapsula na testiranim oplemenjenim površinama, kao i mogućnosti preciznog podešavanja glave za nanoindentaciju na ciljane, specifične pozicije oplemenjenih površina sa mirisnim mikrokapsulama.



Slika 6.38. Izgled svih krivih napon-deformacija oplemenjenih otisaka automatskom tehnikom premazivanja: a) PL₁_7%_mat, b) PL₁_15%_ sjajni i fleksno tehnikom štampe: c) FL₁_0%_sjajni, d) FL₂_15%_ sjajni

U tabelama 6.16 – 6.18 su predstavljeni rezultati izvršene statističke analize dobijenih vrednosti maksimalne deformacije na oplemenjenim otiscima lakovima (bez i sa različitim masenim koncentracijama mirisnih mikrokapsula u njima) korišćenjem različitih podloga za štampu pomoću različitih tehnika oplemenjivanja. Na osnovu izvršenih statističkih analiza dobijeni su rezultati statističke značajnosti uticaja (p) svakog od variranih faktora, odnosno nezavisnih promenljivih, u procesu oplemenjivanja (tehnika oplemenjivanja, koncentracija mikrokapsula, tip laka i podloge za štampu), kao i rezultati eta kvadrata, pokazatelja veličine uticaja svakog od faktora na posmatranu izlaznu veličinu, odnosno na nastalu deformaciju na oplemenjenim otiscima.

Izvršena multifaktorska analiza varijanse je pokazala da na vrednosti deformacije oplemenjenih otisaka statistički značajan uticaj ($p < 0,05$) nema samo tip laka ($p = 0,056$, eta kvadrat = 0,001), dok je uticaj svih ostalih faktora, kao i interakcije svih kombinacija faktora statistički značajan, tabela 11.4 (Prilog 1). Zbog toga su izvršene i dodatne dvofaktorske i jednofaktorske analize varijanse, kao i Tukijevi HSD i T-testovi nezavisnih uzoraka kako bi se dati uticaji detaljnije analizirali i obrazložili (tabele 6.16 – 6.18). Statističkom analizom rezultata je utvrđeno da tehnika ima statistički značajan uticaj na vrednosti deformacije nezavisno od korišćene podloge za štampu (uz veći uticaj u slučaju oplemenjenih otisaka mat premaznog papira), ali postoji statistički značajan uticaj samo kod otisaka oplemenjenih L₁ lakom (tabele 6.16 – 6.18).

Tabela 6.16. Rezultati statističke analize vrednosti deformacije oplemenjenih otisaka

Tip analize	Ispitivani faktori		p	Eta kvadrat
1. Dvofaktorska analiza varijanse	tehnika*lak		0,000	0,004
	tehnika		0,000	0,109
	lak		0,676	0,000
1.1 T-test nezavisnih uzoraka	uticaj tipa laka kod aut. teh. prem.		0,007	0,004
1.2 T-test nezavisnih uzoraka	uticaj tipa laka kod flekso tehnike		0,024	0,003
1.3 T-test nezavisnih uzoraka	uticaj tehnike kod ot. opl. L₁ lakom		0,000	0,143
1.4 T-test nezavisnih uzoraka	uticaj tehnike kod ot. opl. L₂ lakom		0,055	0,078
2. Dvofaktorska analiza varijanse	tehnika*podloga		0,000	0,037
	tehnika		0,000	0,117
	podloga		0,000	0,045
2.1 T-test nezavisnih uzoraka	uticaj tehnike kod opl. ot. mat pap.		0,000	0,320
2.2 T-test nezavisnih uzoraka	uticaj tehnike kod opl. ot. sjajnog pap.		0,000	0,021
2.3 T-test nezavisnih uzoraka	uticaj podloge kod aut. teh. prem.		0,000	0,146
2.4 T-test nezavisnih uzoraka	uticaj podloge kod flekso tehnike		0,385	0,001
3. Dvofaktorska analiza varijanse	tehnika*koncentracija		0,000	0,080
	tehnika		0,000	0,119
	koncentracija		0,000	0,023
3.1 Jednofaktorska analiza varijanse	uticaj koncentracije kod ot. opl. aut. teh.prem.		0,000	0,125
3.2 Tukijev HSD test	(I) Koncentracija	(J) Koncentracija	p	-
	0%	1%	0,000	-
		7%	0,000	-
		15%	0,000	-
	1%	7%	0,037	-
		15%	0,124	-
	7%	0,000	-	
	15%	0,000	-	
3.3 Jednofaktorska analiza varijanse	uticaj koncentracije kod ot. opl. flekso teh.		0,000	0,069
3.4 Tukijev HSD test	(I) Koncentracija	(J) Koncentracija	p	-
	0%	1%	0,008	-
		7%	0,000	-
		15%	0,000	-
	1%	7%	0,002	-
		15%	0,000	-
	7%	0,002	-	
	15%	0,002	-	

Tabela 6.17. Rezultati statističke analize vrednosti deformacije oplemenjenih otisaka

Tip analize	Ispitivani faktori	p	Eta kvadrat	
4. Dvofaktorska analiza varijanse	lak*podloga	0,000	0,030	
	lak	0,684	0,000	
	podloga	0,000	0,040	
4.1 T-test nezavisnih uzoraka	uticaj tipa laka kod mat papira	0,000	0,033	
4.2 T-test nezavisnih uzoraka	uticaj tipa laka kod sjajnog papira	0,000	0,028	
4.3 T-test nezavisnih uzoraka	uticaj podloge kod ot. opl. L₁ lakom	0,321	0,001	
4.4 T-test nezavisnih uzoraka	uticaj podloge kod ot. opl. L₂ lakom	0,000	0,142	
5. Dvofaktorska analiza varijanse	lak*koncentracija	0,000	0,102	
	lak	0,675	0,000	
	koncentracija	0,000	0,021	
5.1 Jednofaktorska analiza varijanse	uticaj konc. kod ot. opl. L₁ lakom	0,000	0,177	
5.2 Tukijev HSD test	(I) Koncentracija	(J) Koncentracija		
	0%	1%	0,000	-
		7%	0,000	-
		15%	0,152	-
	1%	7%	0,000	-
		15%	0,000	-
	7%	15%	0,000	-
5.3 Jednofaktorska analiza varijanse	uticaj konc. kod ot. opl. L₂ lakom	0,000	0,054	
5.4 Tukijev HSD test	(I) Koncentracija	(J) Koncentracija		
	0%	1%	0,528	-
		7%	0,000	-
		15%	0,035	-
	1%	7%	0,000	-
		15%	0,534	-
	7%	15%	0,000	-

Uticaj tipa laka se pokazao kao statistički značajan na veličinu deformacije oplemenjenog sloja bez obzira na korišćeni tip podloge za štampu kao i primenjenu tehniku oplemenjivanja. Uticaj ovog faktora na posmatranu zavisnu promenljivu je mali, što pokazuju dobijene vrednosti eta kvadrata (tabele 6.16 – 6.18). Tip podloge za štampu takođe ima statistički značajan uticaj na nastalu deformaciju oplemenjenog sloja, ali samo u slučaju otisaka oplemenjenih automatskom tehnikom premazivanja i u slučaju otisaka oplemenjenih L₂ lakom. Uticaj ovog faktora je velik, obzirom na dobijene vrednosti eta kvadrata. Koncentracija mirisnih mikrokapsula u lakovima, odnosno u oplemenjenom sloju, ima statistički značajan uticaj na nastalu deformaciju oplemenjenog sloja, bez obzira na primenjenu tehniku oplemenjivanja, tip laka i podloge za štampu (tabele 6.16 – 6.18). Uticaj ovog faktora spada u red srednjih i velikih, na osnovu dobijenih vrednosti eta kvadrata, a njegovi efekti su bili izraženiji u slučaju oplemenjenih otisaka na mat premaznom papiru, zatim onih oplemenjenih L₁ lakom, kao i u slučaju otisaka oplemenjenih automatskom tehnikom premazivanja.

Tabela 6.18. Rezultati statističke analize vrednosti deformacije oplemenjenih otisaka

Tip analize	Ispitivani faktori		p	Eta kvadrat	
6. Dvofaktorska analiza varijanse	podloga*koncentracija		0,000	0,026	
	podloga		0,000	0,040	
	koncentracija		0,000	0,020	
6.1 Jednofaktorska analiza varijanse	uticaj koncentracije kod mat pap.		0,000	0,061	
6.2 Tukijev HSD test	(I) Koncentracija	(J) Koncentracija			
	0%	1%	0,998	-	
		7%	0,000	-	
		15%	0,000	-	
		1%	7%	0,000	-
			15%	0,000	-
		7%	15%	0,000	-
6.3 Jednofaktorska analiza varijanse	uticaj koncentracije kod sjajnog pap.		0,000	0,034	
6.4 Tukijev HSD test	(I) Koncentracija	(J) Koncentracija			
	0%	1%	0,000	-	
		7%	0,183	-	
		15%	0,010	-	
		1%	7%	0,000	-
			15%	0,000	-
		7%	15%	0,684	-

6.2.3.5 Analiza optičkih karakteristika oplemenjenih otisaka

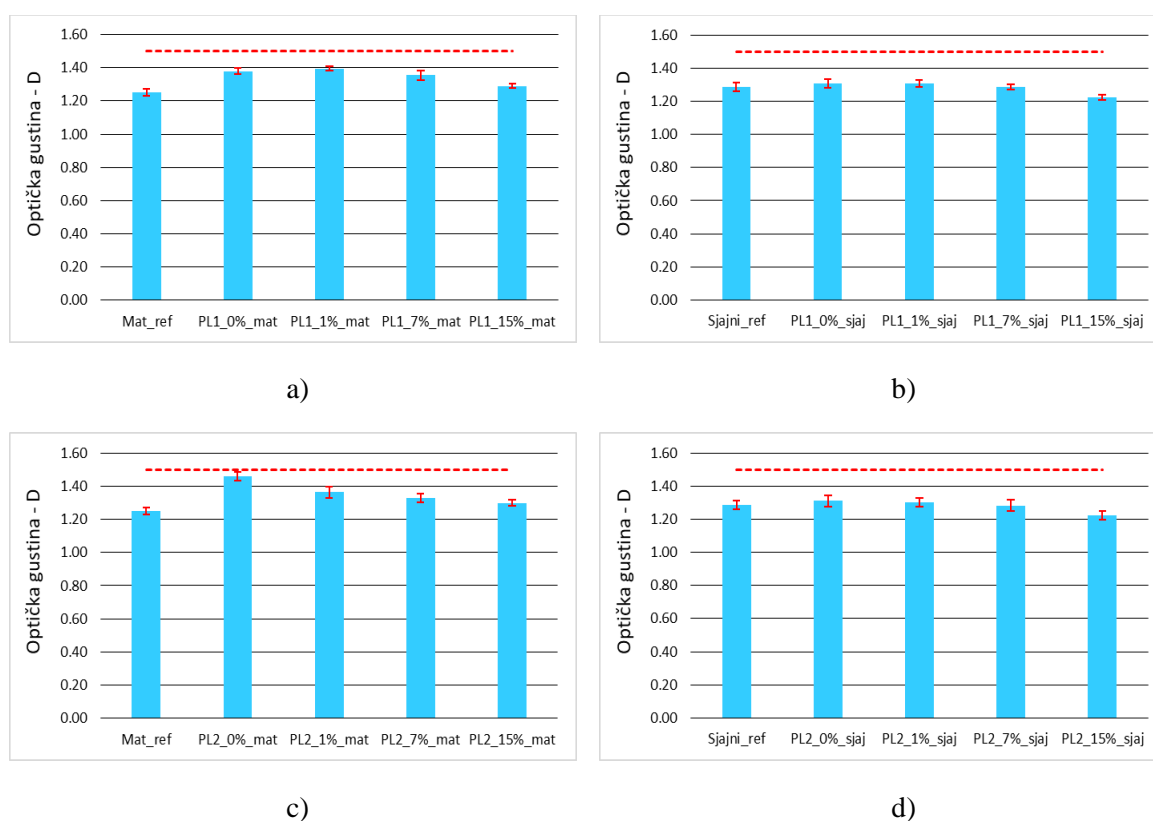
Površinske osobine oplemenjenih otisaka zavise od njihove površinske strukture, na koju utiče oplemenjeni sloj laka sa različitim koncentracijama mirisnih mikrokapsula u njemu. Oplemenjivanjem otisaka dolazi do promene njihovih površinskih karakteristika što ima velikog efekta na optičke karakteristike otisaka, kao što su boja i sjaj, zato je veoma bitno ispitati uticaj primenjenog tipa laka, podloge za štampu, različitih tehnika oplemenjivanja, kao i različitih koncentracija mirisnih mikrokapsula u lakovima, na osnovne optičke karakteristike, odnosno na osnovne parametre kvaliteta štampe:

- optičku gustinu,
- porast tonskih vrednosti,
- relativnu spektralnu refleksiju,
- sjaj,
- CIE L*a*b* vrednosti (za proračun razlike u boji, ΔE^*_{ab} vrednosti).

6.2.3.5.1.1 Analiza rezultata optičke gustine

Na slikama 6.39 – 6.42 su predstavljeni rezultati optičke gustine polja punog tona cijan i magenta boje na štampanim, neoplemenjenim i oplemenjenim uzorcima koristeći dve različite vrste laka (L_1 i L_2), papira (mat premazni i sjajni premazni) i tehnike oplemenjivanja (automatska tehnika premazivanja i flekso tehnika štampe), odnosno srednje vrednosti optičke gustine i vrednosti standardne devijacije.

Na slici 6.39 su predstavljene srednje vrednosti rezultata optičke gustine i vrednosti standardnih devijacija punog tona cijan boje, izmerene na štampanim, neoplemenjenim i oplemenjenim otiscima mat i sjajnog premaznog papira pomoću automatske tehnike premazivanja korišćenjem L_1 i L_2 laka i četiri različite masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u njima. Sve zabeležene vrednosti optičke gustine su manje od referentne vrednosti označene crvenom, isprekidanom linijom ($D=1,50$) date ISO standardom (ISO 12647-2, 1996), slika 6.37.

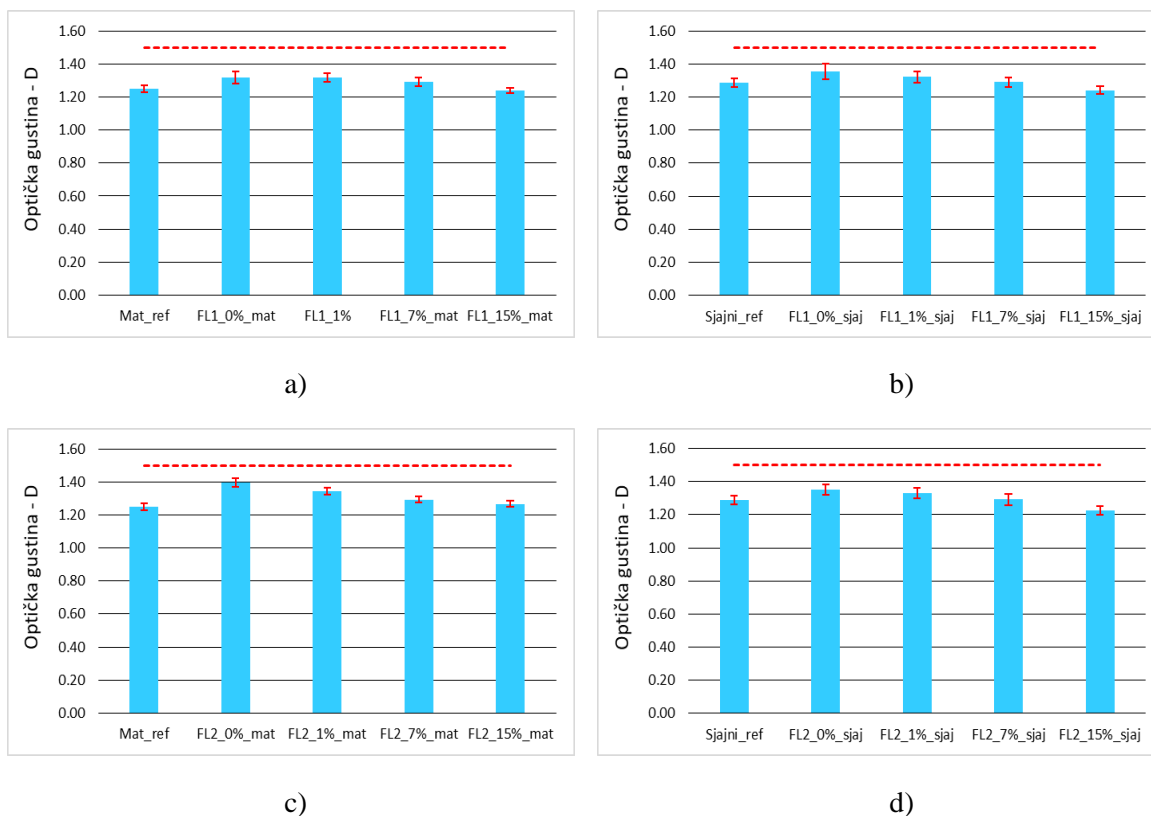


Slika 6.39. Rezultati optičke gustine štampanih i oplemenjenih otisaka cijan boje: a) mat premazni papir, L_1 lak, b) sjajni premazni papir, L_1 lak, c) mat premazni papir, L_2 lak, d) sjajni premazni papir L_2 lak (automatska tehnika premazivanja)

Oplemenjivanje otisaka samo lakovima (L_1 i L_2) bez mikrokapsula, dovelo je do porasta vrednosti optičke gustine (slika 6.39), što je rezultat karakteristika transparentije i boje korišćenih lakova. Oplemenjivanje otisaka mat premaznog papira L_1 lakom i mirisnim mikrokapsulama u masenoj koncentraciji od 1%, uticalo je na blagi porast vrednosti optičke gustine (PL1_1%_mat uzorak; slika 6.39a) u odnosu na oplemenjeni uzorak samo lakom, dok je kod otisaka oplemenjenih višim masenim koncentracijama mirisnih mikrokapsula u laku (7% i 15%) zabeležen postepeni pad vrednosti optičke

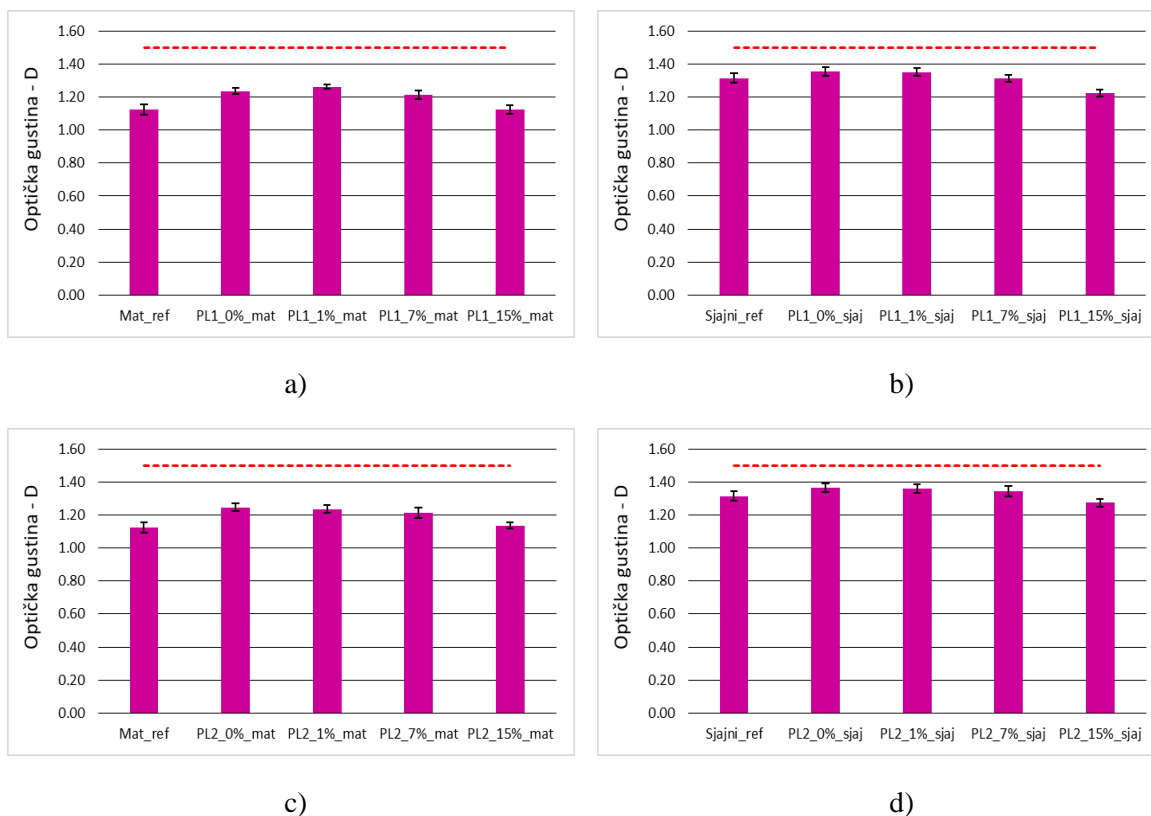
gustine. Veoma sličan trend vrednosti optičke gustine je zabeležen i kod uzoraka sjajnog premaznog papira oplemenjenog L₁ lakom (slika 6.39b), kao i kod uzoraka obe vrste premaznog papira oplemenjenih L₂ lakom (slika 6.39c, 6.39d). Jedina razlika je ta što posle inicijalnog skoka vrednosti optičke gustine kod oplemenjenih otisaka bez mikrokapsula, povećavanjem masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u laku, vrednosti optičke gustine postepeno opadaju (slika 6.39b, 6.39c, 6.39d). Na mat premaznim papirima je registrovana malo viša vrednost optičke gustine u poređenju sa uzorcima sjajnog premaznog papira koji su na isti način oplemenjeni, dok između otisaka oplemenjenih različitim tipom laka u okviru iste tehnike oplemenjivanja nema značajnije razlike zabeleženih vrednosti optičke gustine. Otisci mat premaznog papira oplemenjeni mirisnim mikrokapsulama u masenoj koncentraciji od 15% u lakovima, imaju višu vrednost optičke gustine u poređenju sa referentnom vrednošću, odštampanim ali neoplemenjenim uzorkom. Kod sjajnog premaznog papira je zabeležen obrnut slučaj, otisci oplemenjeni mikrokapsulama u masenoj koncentraciji od 15% u lakovima imaju nižu vrednost optičke gustine u odnosu na referentnu vrednost. Oplemenjivanjem uzoraka lakom, bez mirisnih mikrokapsula, dobijaju se tamniji otisci u poređenju sa neoplemenjenim, samo štampanim otiscima, dok su više masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u lakovima (7% i 15%) generalno dovele do postepenog opadanja vrednosti optičke gustine, što je rezultat bele boje omotača apliciranih mirisnih mikrokapsula.

Na slici 6.40 su predstavljene srednje vrednosti rezultata optičke gustine polja punog tona cijan boje, dobijeni merenjem na štampanim, neoplemenjenim i oplemenjenim otiscima mat i sjajnog premaznog papira pomoću flekso tehnike štampe uz korišćenje L₁ i L₂ laka, dve vrste podloga za štampu, kao i četiri različite masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u lakovima. Takođe, na graficima su prikazane i vrednosti standardne devijacije. Kao i u slučaju otisaka oplemenjenih tehnikom automatskog premazivanja, i oplemenjivanje uzoraka flekso tehnikom štampe je dovelo do gotovo identičnog ponašanja vrednosti optičke gustine. Oplemenjeni otisci samo lakovima (L₁ i L₂) bez mikrokapsula, nezavisno od vrste korišćenog premaznog papira, imaju najveću vrednost optičke gustine, veću od odštampanih, neoplemenjenih otisaka kao i od svih ostalih oplemenjenih otisaka (slika 6.40). I ovde su sve zabeležene vrednosti optičke gustine manje od ISO standardom date referentne vrednosti (ISO 12647-2, 1996), slika 6.40. Oplemenjivanje otisaka kombinacijom mirisnih mikrokapsula i lakova dovodi do pada vrednosti optičke gustine, gde svaka naredna, viša masena koncentracija mirisnih mikrokapsula u lakovima (1%, 7% i 15%) utiče na postepeno smanjivanje vrednosti optičke gustine (slika 6.40b, 6.40c, 6.40d). Na oba tipa korišćenih premaznih papira su registrovane vrlo slične vrednosti optičke gustine, dok nisu zabeležene značajnije razlike vrednosti optičke gustine između otisaka oplemenjenih različitim tipovima lakova u okviru iste tehnike oplemenjivanja. U slučaju mat premaznog papira zabeležene su malo više vrednosti optičke gustine na otiscima oplemenjenim automatskom tehnikom premazivanja u odnosu na otiske oplemenjene flekso tehnikom štampe, dok su u slučaju sjajnog premaznog papira registrovane vrednosti ovog parametra više u slučaju oplemenjenih otisaka flekso tehnikom štampe.



Slika 6.40. Rezultati optičke gustine štampanih i oplemenjenih otisaka cijan boje: a) mat premazni papir, L₁ lak, b) sjajni premazni papir, L₁ lak, c) mat premazni papir, L₂ lak, d) sjajni premazni papir L₂ lak (flekso tehnika štampe)

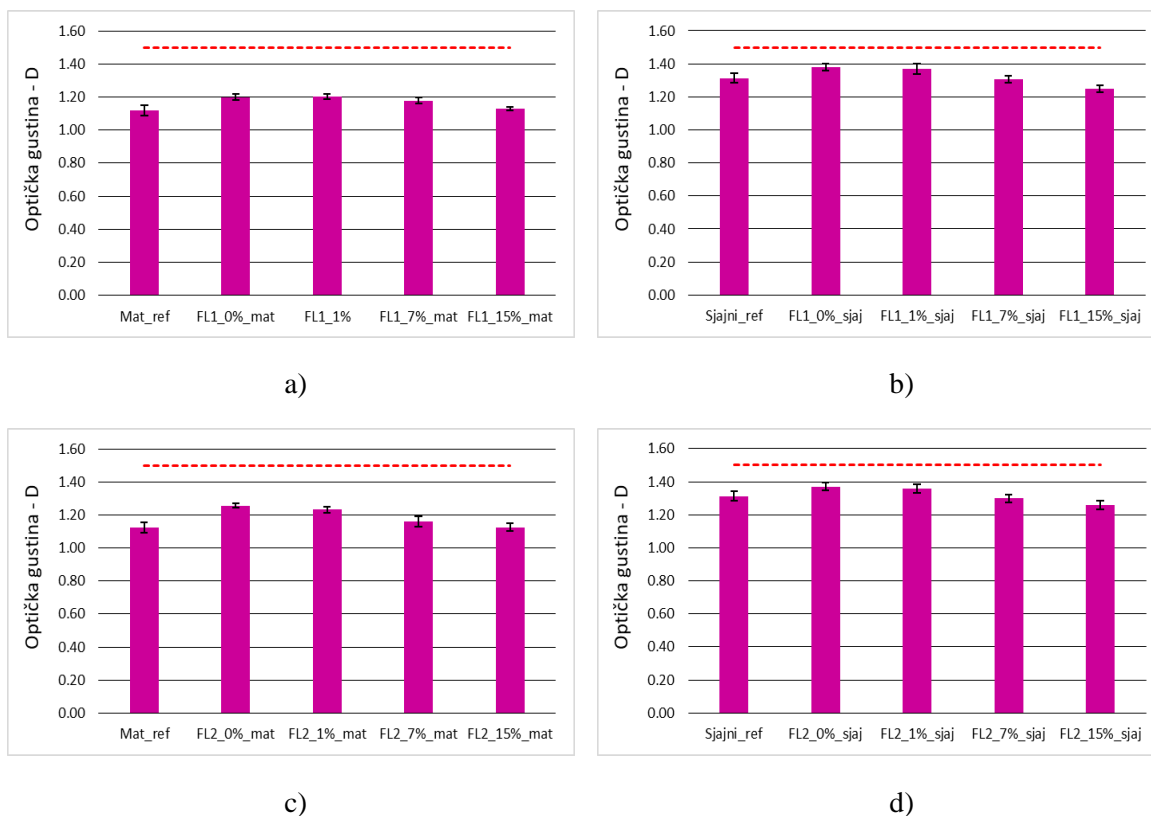
Na slici 6.41 su predstavljene srednje vrednosti rezultata optičke gustine punog tona magenta boje i vrednosti standardne devijacije, izmerene na štampanim, neoplemenjenim i oplemenjenim otiscima mat i sjajnog premaznog papira pomoću automatske tehnike premazivanja sa L₁ i L₂ lakom i četiri različite masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u lakovima. Sve zabeležene vrednosti optičke gustine su manje od ISO standardom (ISO 12647-2, 1996) date referentne vrednosti optičke gustine ($D=1,50$), slika 6.41. Trend rezultata optičke gustine oplemenjenih otisaka štampanih magenta bojom se poklapa sa trendom cijan otisaka oplemenjenih automatskom tehnikom premazivanja. Oplemenjivanje otisaka kombinacijom mirisnih mikrokapsula i lakova, generalno dovodi do pada vrednosti optičke gustine, gde više masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u lakovima utiču na postepeno smanjivanje vrednosti optičke gustine (slika 6.41). Oplemenjeni otisci samo lakovima (L₁ i L₂) bez mikrokapsula, nezavisno od vrste korišćenog premaznog papira, imaju najveću vrednost optičke gustine, sa izuzetkom PL1_1%_mat uzorka (slika 6.41). Za razliku od otisaka štampanih cijan bojom, neoplemenjeni i oplemenjeni otisci štampani magenta bojom na sjajnom premaznom papiru poseduju značajno više vrednosti optičke gustine od oplemenjenih otisaka na mat premaznom papiru. Između otisaka oplemenjenih različitim tipovima lakova u okviru iste tehnike oplemenjivanja nema značajnijih razlika u pogledu izmerenih vrednosti optičke gustine.



Slika 6.41. Rezultati optičke gustine štampanih i oplemenjenih otisaka magenta boje: a) mat premazni papir, L₁ lak, b) sjajni premazni papir, L₁ lak, c) mat premazni papir, L₂ lak, d) sjajni premazni papir L₂ lak (automatska tehnika premazivanja)

Na slici 6.42 su prikazane srednje vrednosti rezultata optičke gustine punog tona magenta boje i vrednosti standardne devijacije, izmerene na štampanim, neoplemenjenim i oplemenjenim otiscima mat i sjajnog premaznog papira pomoću flekso tehnike štampe, korišćenjem L₁ i L₂ laka i četiri različite masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u lakovima.

Kao i u slučaju otisaka oplemenjenih tehnikom automatskog premazivanja, i oplemenjivanje uzoraka flekso tehnikom štampe dovelo je do gotovo istovetnog ponašanja vrednosti optičke gustine. Oplemenjeni otisci samo lakovima (L₁ i L₂) bez mikrokapsula, nezavisno od vrste korišćenog premaznog papira, imaju najveću vrednost optičke gustine (slika 6.42). I ovde su sve zabeležene vrednosti optičke gustine manje od ISO standardom date referentne vrednosti (ISO 12647-2, 1996), slika 6.42. U odnosu na otiske oplemenjene samo lakovima, bez mirisnih mikrokapsula, oplemenjivanje otisaka kombinacijom mirisnih mikrokapsula i lakova rezultovalo je padom vrednosti optičke gustine (slika 6.42). Neoplemenjeni i oplemenjeni otisci štampani magenta bojom na sjajnom premaznom papiru poseduju značajno više vrednosti optičke gustine od neoplemenjenih i oplemenjenih otisaka na mat premaznom papiru. Između otisaka oplemenjenih različitim tipovima lakova nema značajnijih razlika u pogledu izmerene vrednosti optičke gustine. Kod mat premaznog papira su zabeležene nešto više vrednosti optičke gustine kod otisaka oplemenjenih automatskom tehnikom premazivanja u odnosu na one oplemenjene flekso tehnikom štampe, dok su kod sjajnog premaznog papira zabeležene vrlo ujednačene vrednosti optičke gustine na uzorcima oplemenjenim različitim tehnikama.



Slika 6.42. Rezultati optičke gustine štampanih i oplemenjenih otisaka magenta boje: a) mat premazni papir, L₁ lak, b) sjajni premazni papir, L₁ lak, c) mat premazni papir, L₂ lak, d) sjajni premazni papir L₂ lak (flekso tehnika štampe)

U tabelama 6.19 i 6.20 su predstavljeni rezultati izvršene statističke analize dobijenih vrednosti optičke gustine otisaka štampanih cijan bojom, oplemenjenih različitim tipovima lakova bez i sa različitim masenim koncentracijama mirisnih mikrokapsula u njima, koristeći različite podloge za štampu kao i tehnike oplemenjivanja. Na osnovu statističkih analiza koje su sprovedene, dobijeni su rezultati statističke značajnosti uticaja (p) svakog od variranih faktora, odnosno nezavisnih promenljivih, u procesu oplemenjivanja (tehnika oplemenjivanja, koncentracija mikrokapsula, tip laka i podloge za štampu), a dobijeni su i rezultati eta kvadrata, pokazatelja veličine uticaja svakog od faktora na posmatranu izlaznu veličinu, tj. na optičku gustinu oplemenjenih otisaka.

Izvršena multifaktorska analiza varijanse je pokazala je da jedino uticaj interakcija dva, odnosno četiri faktora na vrednost optičke gustine nije statistički značajan, $p > 0,05$, (tehnika*koncentracija: $p = 0,414$; tehnika*lak*podloga*koncentracija: $p = 0,656$), dok je uticaj interakcije ostalih kombinacija faktora, kao i uticaj pojedinačnih faktora statistički značajan, tabela 11.5 (Prilog 1). Obzirom da dobijeni rezultati statističke analize ukazuju na statističku značajnost zasebnog uticaja svakog od faktora, kao i uticaja interakcije gotovo svih parova faktora, izvršene su i dodatne dvofaktorske i jednofaktorske analize varijanse, kao i T-testovi nezavisnih uzoraka, kako bi se prisutni uticaji ovih faktora kao i njihovih kombinacija detaljnije analizirali, tabele 6.19 i 6.20.

Tabela 6.19. Rezultati statističke analize vrednosti optičke gustine oplemenjenih otisaka cijan boje

Tip analize	Ispitivani faktori	p	Eta kvadrat
1. Dvofaktorska analiza varijanse	tehnika* lak	0,270	0,003
	tehnika	0,009	0,017
	lak	0,112	0,006
2. Dvofaktorska analiza varijanse	tehnika* podloga	0,000	0,110
	tehnika	0,003	0,021
	podloga	0,000	0,146
2.1 T-test nezavisnih uzoraka	uticaj tipa podloge kod aut. teh. prem.	0,000	0,384
2.2 T-test nezavisnih uzoraka	uticaj tipa podloge kod flekso tehnike	0,341	0,004
2.3 T-test nezavisnih uzoraka	uticaj tehnike opl. kod mat pap.	0,137	0,308
2.4 T-test nezavisnih uzoraka	uticaj tehnike opl. kod sjajnog pap.	0,003	0,043
3. Dvofaktorska analiza varijanse	tehnika* koncentracija	0,763	0,003
	tehnika	0,000	0,032
	koncentracija	0,000	0,488
4. Dvofaktorska analiza varijanse	lak* podloga	0,032	0,011
	lak	0,090	0,007
	podloga	0,000	0,132
4.1 T-test nezavisnih uzoraka	uticaj tipa podloge kod opl. otis. L₁ lak.	0,068	0,084
4.2 T-test nezavisnih uzoraka	uticaj tipa podloge kod opl. otis. L₂ lak.	0,000	0,180
4.3 T-test nezavisnih uzoraka	uticaj tipa laka kod mat pap.	0,146	0,030
4.4 T-test nezavisnih uzoraka	uticaj tipa laka kod sjajnog pap.	0,260	0,001

Predstavljeni rezultati u tabelama 6.19 i 6.20, su pokazali da na postignutu vrednost optičke gustine oplemenjenih otisaka, tip laka nema statistički značajan uticaj ($p > 0,05$), što je potvrđeno statističkom analizom kako zasebnog, tako i zajedničkog uticaja interakcije ovog faktora i preostale tri nezavisne promenljive (tehnike, podloge i koncentracije). Na osnovu dobijenih p i vrednosti eta kvadrata, primećuje se da na vrednosti optičke gustine oplemenjenih otisaka veliki uticaj, ima tehnika oplemenjivanja ($p < 0,05$), čime se istakla kao statistički veoma značajan faktor i to bez obzira na primenjeni tip laka i koncentraciju mirisnih mikrokapsula u lakovima. Veći uticaj ovog faktora je zabeležen kod otisaka oplemenjenih na sjajnom premaznom papiru ($p = 0,003$, eta kvadrat = 0,043), tabele 6.19 i 6.20. Takođe, zabeležen je statistički značajan i uticaj tipa podloge za štampu, nezavisno od korišćene koncentracije mirisnih mikrokapsula. Statistički značajan uticaj tipa podloge za štampu je zabeležen kod otisaka oplemenjenih automatskom tehnikom premazivanja ($p = 0,000$, eta kvadrat = 0,384), kao i kod otisaka oplemenjenih L₂ lakom ($p = 0,000$, eta kvadrat = 0,180), tabele 6.16 i 6.19. Najveći uticajni faktor na dobijene vrednosti optičke gustine je koncentracija mirisnih mikrokapsula u lakovima. Statistički veoma značajan uticaj ovog faktora je prisutan nezavisno od korišćenog tipa podloge za štampu, tehnike oplemenjivanja kao i tipa laka (osim između oplemenjenih otisaka L₁ lakom i koncentracijama mikrokapsula od 0% i 1%), tabele 6.19 i 6.20. Izraženiji uticaj ovog faktora je zabeležen kod otisaka oplemenjenih L₂ lakom ($p = 0,000$, eta kvadrat = 0,529), tabele 6.19 i 6.20.

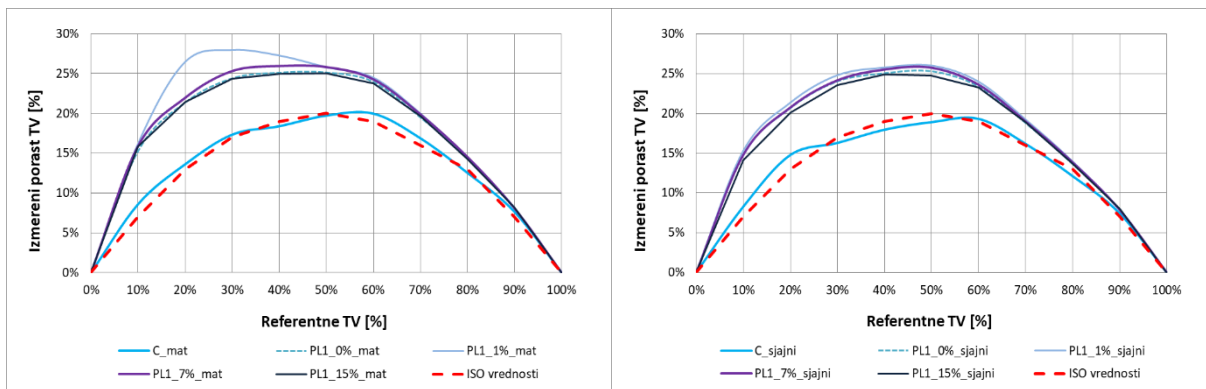
Tabela 6.20. Rezultati statističke analize vrednosti optičke gustine oplemenjenih otisaka cijan boje

Tip analize	Ispitivani faktori		p	Eta kvadrat
5. Dvofaktorska analiza varijanse	lak*koncentracija		0,000	0,043
	lak		0,026	0,012
	koncentracija		0,000	0,493
5.1 Jednofaktorska analiza varijanse	uticaj koncentracije na ot. opl. L₁ lakom		0,000	0,470
5.2 Tukijev HSD test	(I) Koncentracija	(J) Koncentracija		
	0%	1%	0,915	-
		7%	0,000	-
		15%	0,000	-
	1%	7%	0,001	-
		15%	0,000	-
	7%	15%	0,000	-
5.3 Jednofaktorska analiza varijanse	uticaj koncentracije na ot. opl. L₂ lakom		0,000	0,529
5.4 Tukijev HSD test	(I) Koncentracija	(J) Koncentracija		
	0%	1%	0,000	-
		7%	0,000	-
		15%	0,000	-
	1%	7%	0,000	-
		15%	0,000	-
	7%	15%	0,000	-
6. Dvofaktorska analiza varijanse	podloga*koncentracija		0,069	0,017
	podloga		0,000	0,253
	koncentracija		0,000	0,555

6.2.3.5.1.2 Analiza rezultata porasta tonskih vrednosti

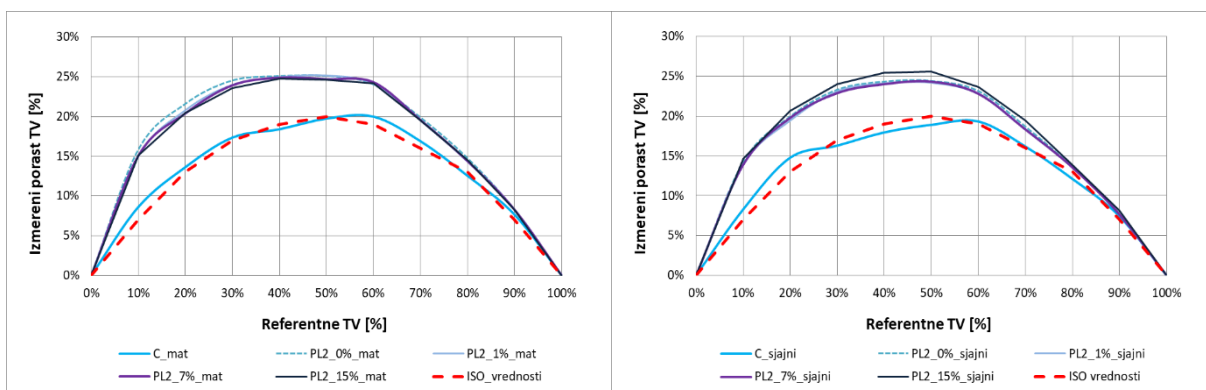
Na slikama 6.43 – 6.46 su predstavljene srednje vrednosti rezultata porasta tonskih vrednosti štampanih, neoplemenjenih otisaka cijan i magenta boje, kao i oplemenjenih otisaka pomoću dve različite vrste laka (L_1 i L_2), papira (mat premazni i sjajni premazni) i tehnike oplemenjivanja (automatska tehnika premazivanja i fleksna tehnika štampe).

Na slici 6.43 su predstavljene srednje vrednosti rezultata porasta tonskih vrednosti otisaka štampanih cijan bojom, izmerene na neoplemenjenim i oplemenjenim otiscima mat i sjajnog premaznog papira pomoću automatske tehnike premazivanja korišćenjem L_1 i L_2 laka i četiri različite masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u lakovima. Kriva porasta tonskih vrednosti štampanog ali neoplemenjenog uzorka (C_{mat} i C_{sjajni}) gotovo da u potpunosti ulazi u referentni opseg (isprekidana crvena linija) standardom datih vrednosti porasta tonskih vrednosti (ISO12647-2, 2004), što daje indiciju dobrog kvaliteta štampe. Može se primetiti da je oplemenjivanje otisaka uzrokovalo značajan porast TV (tonske vrednosti) u čitavom tonskom opsegu, u odnosu na samo odštampan otisak (C_{mat} i C_{sjajni}), slika 6.43.



a)

b)



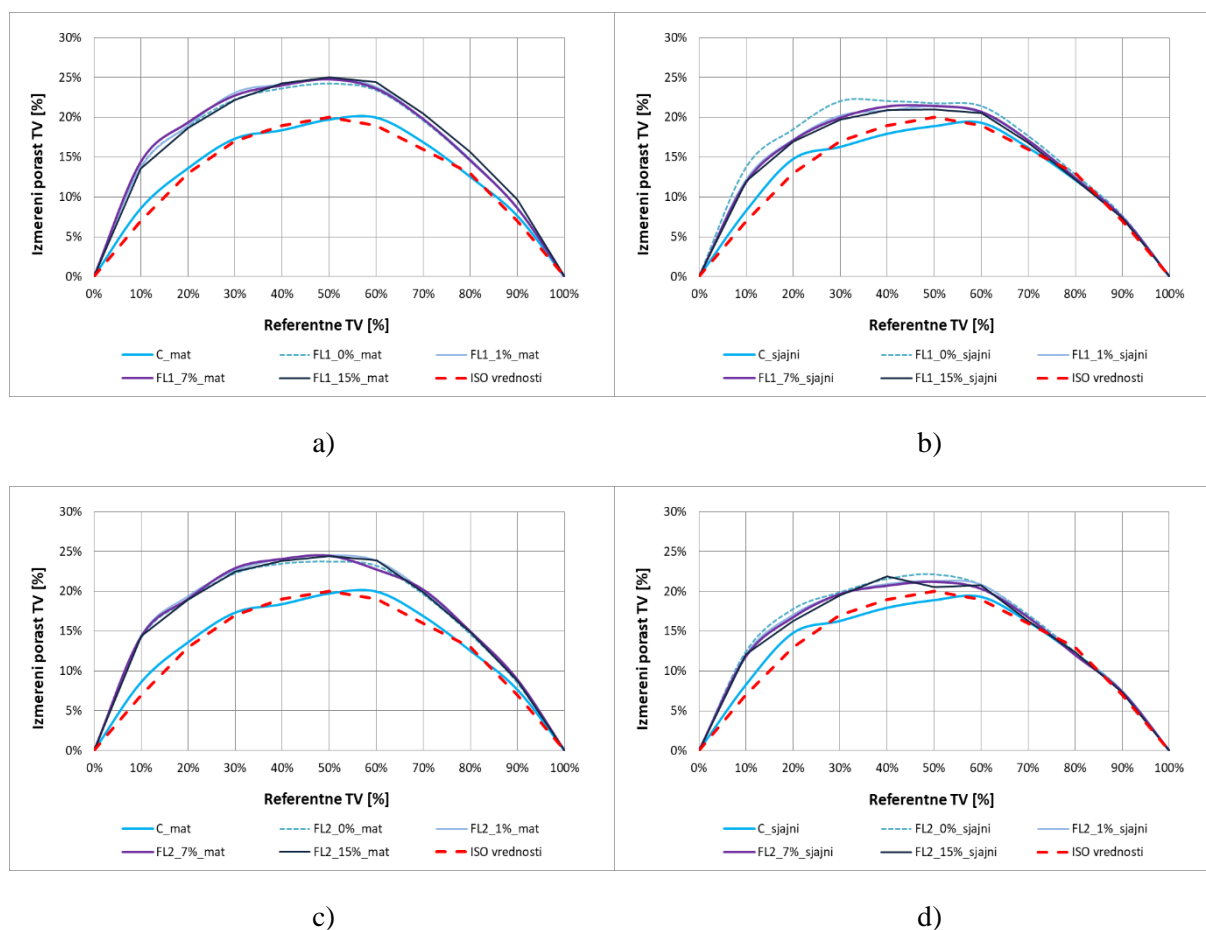
c)

d)

Slika 6.43. Rezultati porasta TV štampanih otisaka cijan bojom i oplemenjenih otisaka automatskom tehnikom premazivanja: a) mat premazni papir L₁ lak, b) sjajni premazni papir L₁ lak, c) mat premazni papir L₂ lak, d) sjajni premazni papir L₂ lak

Na mat premaznim papirima su u slučaju oba korišćena laka zabeležene nešto više vrednosti porasta TV u odnosu na sjajni premazni papir, dok je manji porast registrovan na oplemenjenim otiscima L₂ lakom. I na mat i na sjajnom premaznom papiru koji su oplemenjeni L₁ lakom najveći porast TV imaju uzorci oplemenjeni mirisnim mikrokapsulama u masenoj koncentraciji od 1% (PL1_1%_mat i PL1_1%_sjajni), zatim slede oplemenjeni otisci mirisnim mikrokapsulama u masenoj koncentraciji od 7% (PL1_7%_mat i PL1_7%_sjajni), pa uzorci PL1_15%_mat i PL1_0%_mat (kod mat premaznog papira), odnosno PL1_0%_sjajni i PL1_15%_sjajni kod sjajnog premaznog papira. U slučaju mat premaznog papira i otisaka oplemenjenih L₂ lakom, najveći porast TV je zabeležen na oplemenjenom otisku samo lakom, bez mirisnih mikrokapsula (PL2_0%_mat), zatim slede otisci oplemenjeni mikrokapsulama u masenoj koncentraciji od 1%, 7% i 15% (PL2_1%_mat, PL2_7%_mat i PL2_15%_mat). Kod sjajnog premaznog papira najveći porast TV je registrovan na uzorcima oplemenjenim najvećom masenom koncentracijom mirisnih mikrokapsula u laku (PL2_15%_sjajni), zatim slede otisci oplemenjeni masenom koncentracijom mirisnih mikrokapsula u laku od 0%, 7% i 1% (PL2_0%_sjajni, PL2_7%_sjajni i PL2_1%_sjajni). Kod porasta tonskih vrednosti, kao parametra kvaliteta štampe, nije uočen dominantan trend porasta TV u zavisnosti od masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u laku.

Na slici 6.44 su predstavljene srednje vrednosti rezultata porasta tonskih vrednosti otisaka štampanih cijan bojom, izmerenih na neoplemenjenim i oplemenjenim otiscima mat i sjajnog premaznog papira oplemenjenih pomoću flekso tehnike štampe sa L_1 i L_2 lakom, koristeći četiri različite masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u lakovima.

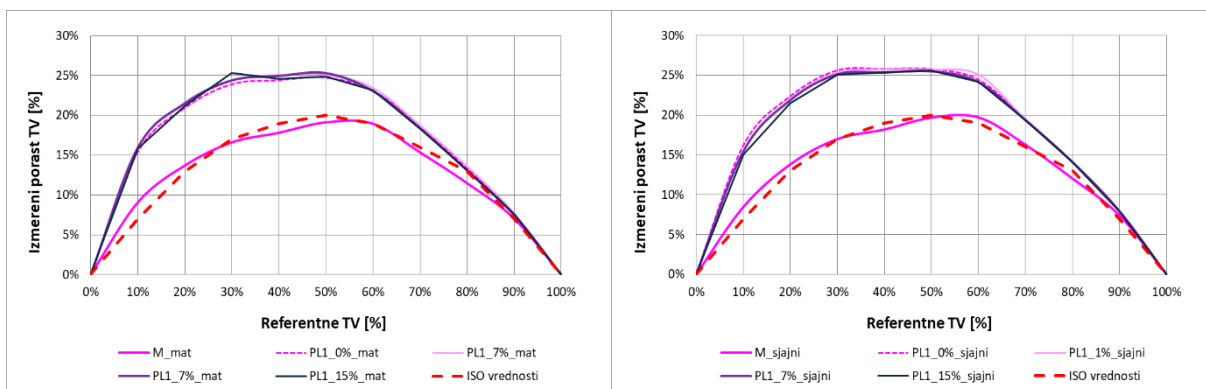


Slika 6.44. Rezultati porasta TV štampanih otisaka cijan bojom i oplemenjenih otisaka flekso tehnikom štampe: a) mat premazni papir L_1 lak, b) sjajni premazni papir L_1 lak, c) mat premazni papir L_2 lak, d) sjajni premazni papir L_2 lak

I u slučaju otisaka oplemenjenih flekso tehnikom štampe primećuju se značajno veće vrednosti porasta TV u odnosu na neoplemenjeni, samo štampani otisak (C_mat i C_sjajni). Međutim, izmereni porast TV kod otisaka oplemenjenih ovom tehnikom je dosta manji u odnosu na porast TV otisaka oplemenjenih automatskom tehnikom premazivanja (slika 6.43 i slika 6.44). I ovde je na mat premaznim papirima zabeležena viša vrednost porasta TV u odnosu na sjajni premazni papir (u slučaju oba korišćena laka), a zabeležen je i nešto manji porast kod oplemenjenih otisaka L_2 lakom u odnosu na otiske oplemenjene L_1 lakom. Na mat premaznom papiru, oplemenjenom L_1 lakom najveći porast TV ima uzorak oplemenjen mirisnim mikrokapsulama u masenoj koncentraciji od 15% (FL1_15%_mat), zatim slede oplemenjeni otisci mirisnim mikrokapsulama u masenoj koncentraciji od 7%, 1% i 0% (FL1_7%_mat, FL1_1%_mat i FL1_0%_mat), slika 6.44a. Kod otisaka mat premaznog papira oplemenjenih L_2 lakom, najveći porast TV je zabeležen kod otisaka oplemenjenih mikrokapsulama u

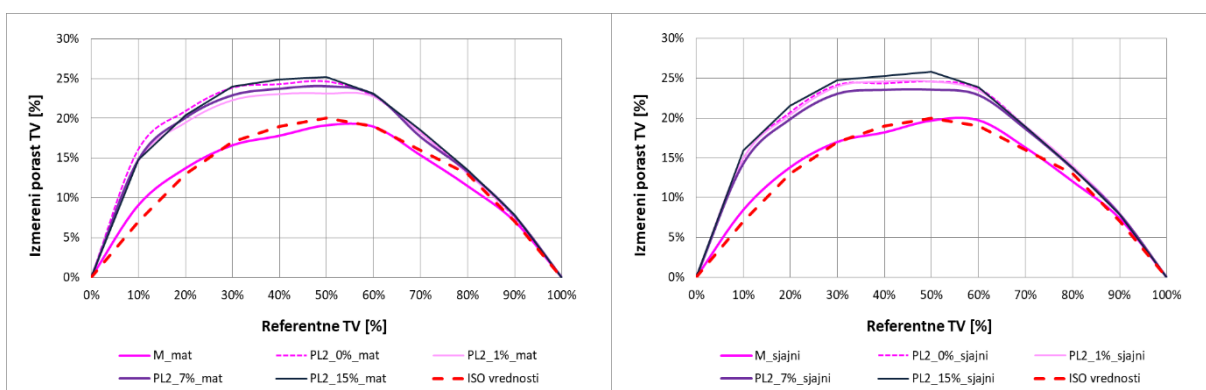
masenoj koncentraciji u laku od 1% (FL2_1%_mat), zatim slede oplemenjeni otisci mikrokapsulama u masenoj koncentraciji od 7%, 15% i 0% (FL2_7%_mat, FL2_15%_mat i FL2_0%_mat), slika 6.44c. Kod otisaka sjajnog premaznog papira, u slučaju korišćenja obe vrste laka, najveći porast TV je zabeležen kod otisaka oplemenjenih samo lakovima, bez mikrokapsula (FL1_0%_sjajni i FL2_0%_sjajni), slika 6.44b i 6.44d. Nešto manji porast TV imaju otisci oplemenjeni mikrokapsulama u masenoj koncentraciji od 1% (FL1_1%_sjajni i FL2_1%_sjajni), zatim slede otisci oplemenjeni mikrokapsulama u masenoj koncentraciji od 7% i 15% (FL1_7%_sjajni i FL1_15%_sjajni) kod otisaka oplemenjenih L₁ lakom, odnosno 15% i 7% kod otisaka oplemenjenih L₂ lakom (FL2_15%_sjajni i FL2_7%_sjajni), slika 6.44b i 6.44d. I ovde nije ustanovljen trend ponašanja vrednosti porasta TV u zavisnosti od korišćene masene koncentracije mirisnih mikrokapsula.

Na slici 6.45 su predstavljene srednje vrednosti rezultata porasta tonских vrednosti štampanih otisaka magenta bojom, neoplemenjenih i oplemenjenih otisaka mat i sjajnog premaznog papira, oplemenjenih pomoću automatske tehnike premazivanja korišćenjem L₁ i L₂ laka i četiri različite masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u lakovima. Kriva porasta tonских vrednosti štampanog, neoplemenjenog uzorka (M_mat i M_sjajni) pokazuje dobar kvalitet štampe, obzirom da se kriva skoro poklapa sa referentnim opsegom (isprekidana crvena linija) koji je definisan ISO 12647-2:2004 standardom (ISO12647-2, 2004). Oplemenjivanje otisaka je rezultovalo značajno višim TV u čitavom tonskom opsegu, u odnosu na štampane otiske (M_mat i M_sjajni), slika 6.45. Suprotno od analiziranih otisaka štampanih cijan bojom, na otiscima mat premaznog papira, štampanim magenta bojom je zabeležena niža vrednost porasta TV u odnosu na sjajni premazni papir (u slučaju oba tipa korišćenog laka). Takođe, registrovan je i nešto manji porast TV kod oplemenjenih otisaka L₂ lakom u odnosu na otiske oplemenjene L₁ lakom. Na otiscima mat premaznog papira, oplemenjenih L₁ lakom, najveći porast TV ima uzorak oplemenjen mirisnim mikrokapsulama u masenoj koncentraciji od 1% (PL1_1%_mat), zatim slede oplemenjeni otisci mirisnim mikrokapsulama u masenoj koncentraciji od 7%, 15% i 0% (PL1_7%_mat, PL1_15%_mat i PL1_0%_mat), slika 6.45a. Najveći porast TV, kod uzoraka sjajnog premaznog papira oplemenjenog L₁ lakom, zabeležen je kod otiska oplemenjenog mikrokapsulama u masenoj koncentraciji od 0% (PL1_0%_sjajni), zatim slede oplemenjeni otisci mikrokapsulama u koncentraciji od 1%, 7% i 15% (PL1_1%_sjajni, PL1_7%_sjajni i PL1_15%_sjajni), slika 6.45b. U slučaju oba korišćena premazna papira, oplemenjena L₂ lakom, najveći porast TV imaju uzorci oplemenjeni mirisnim mikrokapsulama u masenoj koncentraciji od 15% (PL2_15%_mat i PL2_15%_sjajni), zatim slede oplemenjeni otisci bez mirisnih mikrokapsula (PL2_0%_mat i PL2_0%_sjajni), pa uzorci PL2_7%_mat i PL2_1%_mat (kod mat premaznog papira), odnosno PL2_1%_sjajni i PL2_7%_sjajni kod sjajnog premaznog papira (slika 6.45c i 6.45d). Ni ovde nije ustanovljen dominantan trend ponašanja vrednosti porasta TV u zavisnosti od primenjene masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u lakovima.



a)

b)

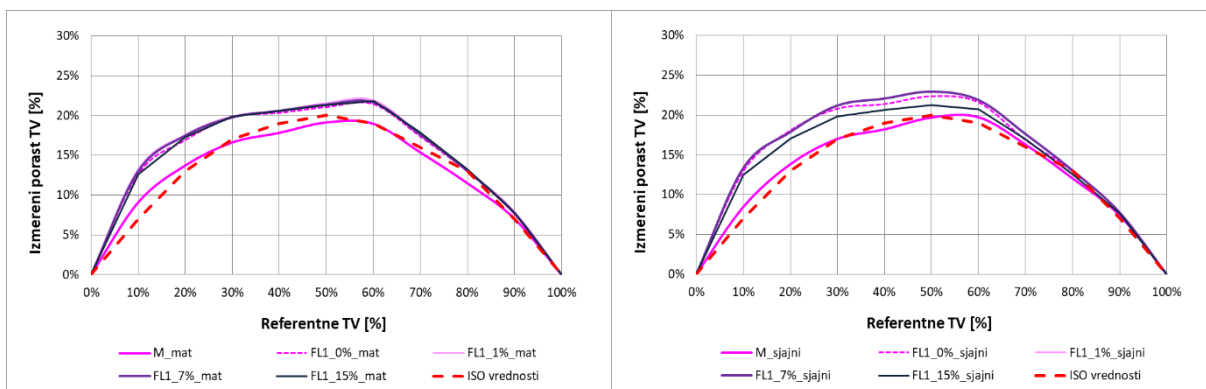


c)

d)

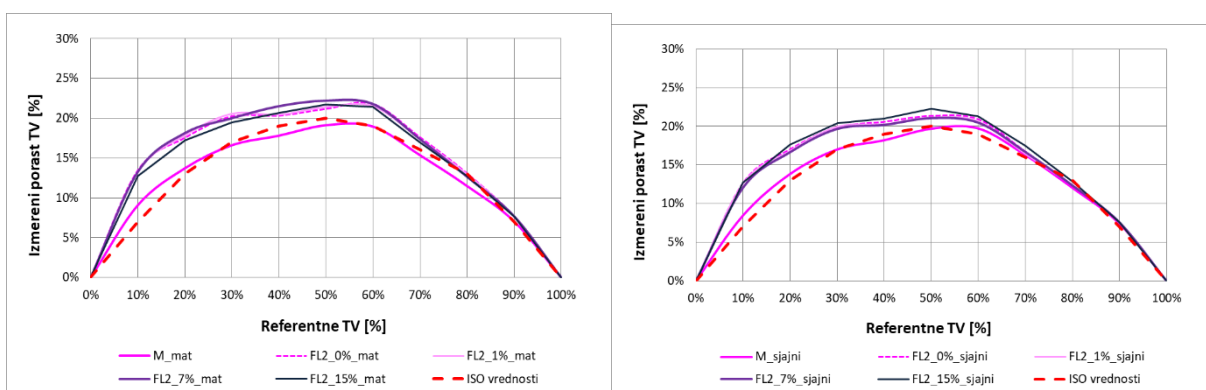
Slika 6.45. Rezultati porasta TV štampanih otisaka magenta bojom i oplemenjenih otisaka automatskom tehnikom premazivanja: a) mat premazni papir L₁ lak, b) sjajni premazni papir L₁ lak, c) mat premazni papir L₂ lak, d) sjajni premazni papir L₂ lak

Na slici 6.46 su predstavljene srednje vrednosti rezultata porasta tonskih vrednosti štampanih otisaka magenta bojom, neoplemenjenih i oplemenjenih otisaka mat i sjajnog premaznog papira, oplemenjenih pomoću flekso tehnike štampe korišćenjem L₁ i L₂ laka i četiri različite masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u lakovima. Upotreba flekso tehnike štampe, kao postupka oplemenjivanja otisaka, je takođe izazvala veći porast TV u odnosu na samo štampane otiske (M_mat i M_sjajni), slika 6.46. Međutim, zabeleženi porast TV kod otisaka oplemenjenih ovom tehnikom je značajno manji u odnosu na oplemenjene otiske automatskom tehnikom premazivanja. Kao kod uzoraka štampanih magenta bojom, oplemenjenih automatskom tehnikom premazivanja, na mat premaznim papirima je zabeležena nešto niža vrednost porasta TV u odnosu na sjajni premazni papir (u slučaju oba korišćena laka), a registrovan je i manji porast TV kod oplemenjenih otisaka L₂ lakom u odnosu na otiske oplemenjene L₁ lakom. Na mat premaznom papiru, oplemenjenom L₁ lakom, najveći porast TV ima otisak oplemenjen mirisnim mikrokapsulama u masenoj koncentraciji od 1% (FL1_1%_mat), zatim slede otisci oplemenjeni mirisnim mikrokapsulama u masenoj koncentraciji od 15%, 7% i 0% (FL1_15%_mat, FL1_7%_mat i FL1_0%_mat), slika 6.46a.



a)

b)



c)

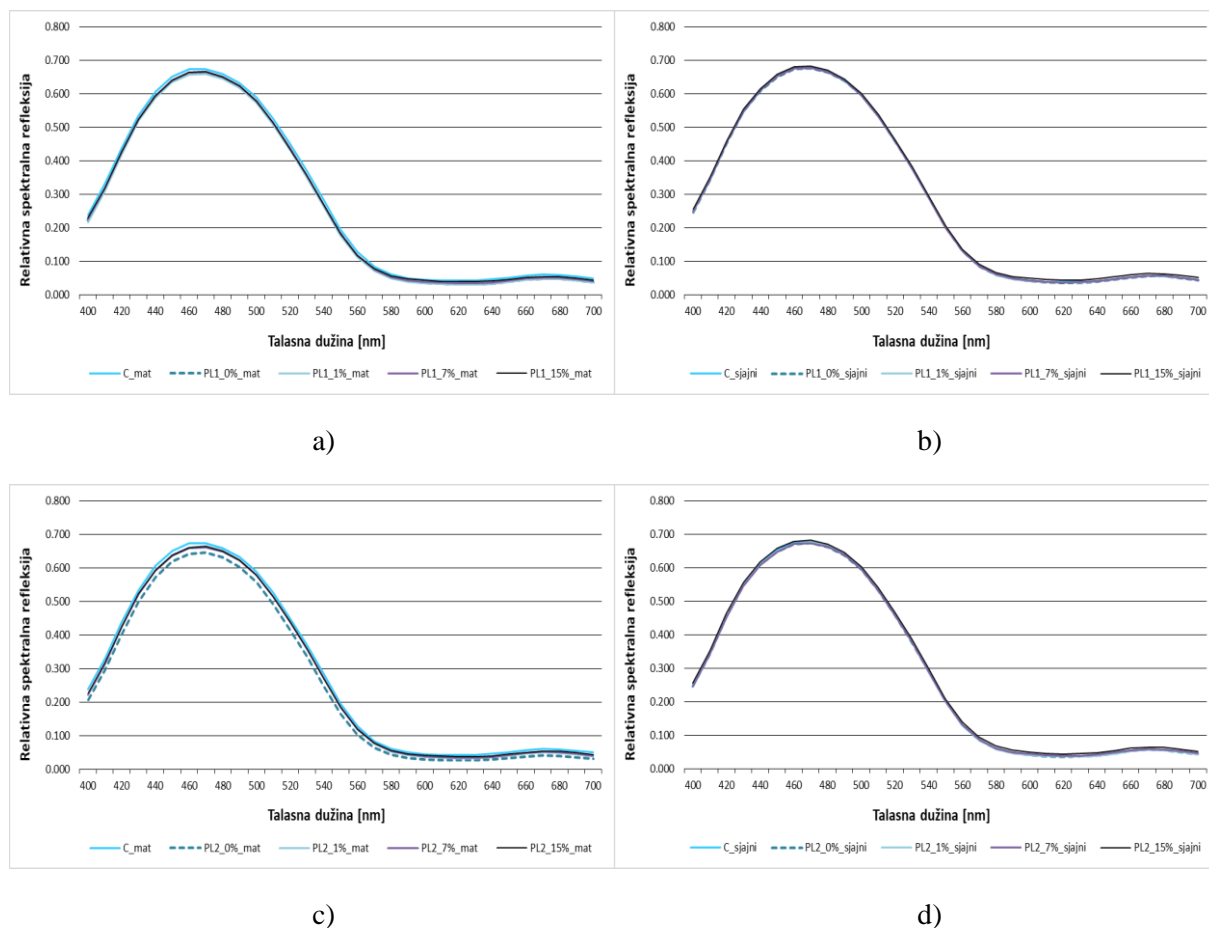
d)

Slika 6.46. Rezultati porasta TV štampanih otisaka magenta bojom i oplemenjenih otisaka flekso tehnikom štampe: a) mat premazni papir L₁ lak, b) sjajni premazni papir L₁ lak, c) mat premazni papir L₂ lak, d) sjajni premazni papir L₂ lak

Najveći porast TV, u slučaju otisaka na sjajnom premaznom papiru, oplemenjenom L₁ lakom, je zabeležen kod otisaka oplemenjenih mikrokapsulama u masenoj koncentraciji u laku od 1% i 7% (FL1_1%_sjajni, FL1_7%_sjajni), zatim slede oplemenjeni otisci mirisnim mikrokapsulama u masenoj koncentraciji od 0% i 15% (FL1_0%_sjajni, FL1_15%_sjajni), slika 6.46b. Kod otisaka mat premaznog papira, oplemenjenih L₂ lakom, najveći porast TV je registrovan na otisku oplemenjenom lakom i mikrokapsulama u koncentraciji od 7% (FL2_7%_mat), zatim slede otisci oplemenjeni mirisnim mikrokapsulama u masenoj koncentraciji od 0%, 1% i 15% (FL2_0%_mat, FL2_1%_mat, FL2_15%_mat), slika 6.46c. Kod otisaka sjajnog premaznog papira, oplemenjenih L₂ lakom, najveći porast TV je zabeležen kod otiska oplemenjenog mirisnim mikrokapsulama u masenoj koncentraciji od 15% (FL2_15%_sjajni), zatim slede otisci oplemenjeni mirisnim mikrokapsulama u masenoj koncentraciji u laku od 0%, 1% i 7% (FL2_0%_sjajni, FL2_1%_sjajni, FL2_7%_sjajni), slika 6.46d. Nije ustanovljen dominantan trend ponašanja vrednosti porasta TV u zavisnosti od primenjene masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u lakovima.

6.2.3.5.1.3 Analiza rezultata relativne spektralne refleksije

Na slici 6.47 su predstavljene srednje vrednosti rezultata relativne spektralne refleksije, izmereni na štampanim, neoplemenjenim uzorcima cijan boje (C_{mat} i C_{sjajni}), kao i na otiscima oplemenjenim automatskom tehnikom premazivanja pomoću dve vrste laka i četiri različite masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u lakovima na dva tipa premaznih papira.



Slika 6.47. Rezultati relativne spektralne refleksije štampanih uzoraka cijan boje i oplemenjenih otisaka automatskom tehnikom premazivanja: a) mat premazni papir L₁ lak, b) sjajni premazni papir L₁ lak, c) mat premazni papir L₂ lak, d) sjajni premazni papir L₂ lak

Može se primetiti da sve dobijene krive relativne spektralne refleksije imaju gotovo identičan oblik, koji definiše ton boje izmerenog polja punog tona štampanog cijan bojom, slika 6.47. Kod otisaka štampanih na mat premaznom papiru (bez obzira na tip laka), najveće vrednosti relativne spektralne refleksije su zabeležene kod samo štampanog, neoplemenjenog otiska, što znači da je ovaj otisak najsvetliji, jer što je veći intenzitet relativne spektralne refleksije, to je izmereni uzorak svetliji. Nešto manji intenzitet relativne spektralne refleksije je registrovan na oplemenjenim otiscima mikrokapsulama u masenoj koncentraciji od 15% (PL1_15%_mat, PL2_15%_mat). Zbog ovako relativno visoke koncentracije mirisnih mikrokapsula, čiji omotač je bele boje, rezultujući intenzitet spektralne refleksije je viši u odnosu na uzorke oplemenjene manjim masenim koncentracijama mikrokapsula u lakovima. Slede uzorci oplemenjeni mirisnim mikrokapsulama u masenoj koncentraciji od 7%, 1% i 0% (PL1_7%_mat,

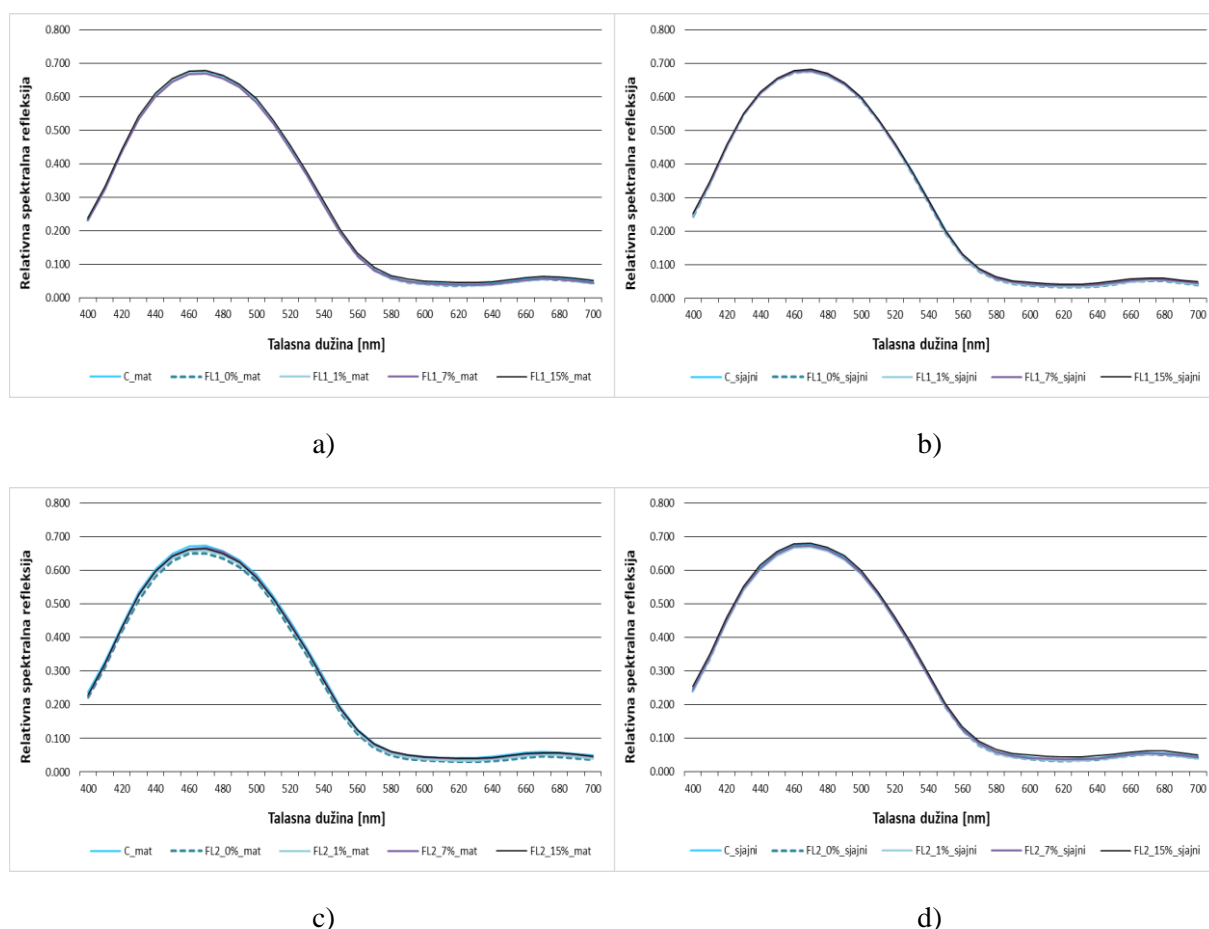
PL2_7%_mat, PL1_1%_mat, PL2_1%_mat, PL1_0%_mat, PL2_0%_mat), čije se krive relativne spektralne refleksije u slučaju otisaka na mat premaznom papiru oplemenjenih L₁ lakom, gotovo u potpunosti poklapaju (slika 6.47a i 6.47c).

U slučaju otisaka štampanih na sjajnom premaznom papiru, nezavisno od tipa laka, najveće vrednosti relativne spektralne refleksije su zabeležene na oplemenjenom otisku mirisnim mikrokapsulama u masenoj koncentraciji od 15% (PL1_15%_sjajni, PL2_15%_sjajni). Kod oplemenjenih otisaka L₁ lakom, nešto manji intenzitet relativne spektralne refleksije je izmeren na otisku oplemenjenom mikrokapsulama u masenoj koncentraciji od 7% (PL1_7%_sjajni), dok se krive relativne spektralne refleksije ostalih otisaka poklapaju (PL1_1%_sjajni, PL1_0%_sjajni i C_sjajni). Kod oplemenjenih otisaka L₂ lakom, nešto manji intenzitet relativne spektralne refleksije je registrovan na otisku oplemenjenom mikrokapsulama u masenoj koncentraciji od 1% (PL2_1%_sjajni), dok se krive relativne spektralne refleksije ostalih otisaka poklapaju (PL2_7%_sjajni, PL2_0%_sjajni i C_sjajni). Na oplemenjenim otiscima na sjajnom premaznom papiru su zabeležene nešto više vrednosti relativne spektralne refleksije u odnosu na mat premazni papir, dok je razlika između otisaka oplemenjenih različitim vrstama lakova zanemarljiva.

Na slici 6.48 su predstavljene srednje vrednosti rezultata relativne spektralne refleksije, merenoj na štampanim, neoplemenjenim uzorcima cijan boje (C_mat i C_sjajni), kao i na otiscima oplemenjenim flekso tehnikom štampe pomoću dve vrste laka i četiri različite masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u lakovima na dva različita tipa podloge za štampu. Sve dobijene krive relativne spektralne refleksije imaju veoma sličan oblik, koji opisuje ton boje izmerenog polja punog tona štampanog cijan bojom, slika 6.48. Kod otisaka štampanih na mat premaznom papiru, oplemenjenih pomoću L₁ laka, najveće vrednosti relativne spektralne refleksije su zabeležene kod oplemenjenog otiska mikrokapsulama u masenoj koncentraciji od 15% (FL1_15%_mat). Malo manji intenzitet relativne spektralne refleksije je registrovan na neoplemenjenim otiscima (C_mat), zatim slede uzorci oplemenjeni mirisnim mikrokapsulama u masenoj koncentraciji od 0%, 1% i 7% (FL1_0%_mat, FL1_1%_mat, FL1_7%_mat), slika 6.48a. Najveću vrednost relativne spektralne refleksije grupe otisaka štampanih na mat premaznom papiru, oplemenjenih L₂ lakom (slika 6.46c), ima neoplemenjeni otisak (C_mat), zatim otisak oplemenjen mikrokapsulama u masenoj koncentraciji od 15% (FL2_15%_mat), zatim slede otisci oplemenjeni mirisnim mikrokapsulama u masenoj koncentraciji od 7%, 1% i 0% (FL2_7%_mat, FL2_1%_mat i FL2_0%_mat).

U slučaju otisaka štampanih na sjajnom premaznom papiru, nezavisno od tipa laka, najveće vrednosti relativne spektralne refleksije su zabeležene na oplemenjenom otisku mirisnim mikrokapsulama u masenoj koncentraciji od 15% (FL1_15%_sjajni, FL2_15%_sjajni). Otisci sa nešto nižom vrednošću intenziteta relativne spektralne refleksije su neoplemenjeni otisci (C_sjajni), zatim slede otisci oplemenjeni mikrokapsulama u masenoj koncentraciji od 7% (FL1_7%_sjajni, FL2_7%_sjajni), dok se krive relativne spektralne refleksije ostalih otisaka poklapaju (FL1_1%_sjajni, FL1_0%_sjajni, FL2_1%_sjajni, FL2_0%_sjajni). Otisci oplemenjeni mirisnim mikrokapsulama u masenoj koncentraciji od 15%, imaju generalno najvišu vrednost relativne spektralne refleksije (najsvetliji su), jer omotač dodatih mirisnih mikrokapsula ima belu boju, što doprinosi većoj reflektivnosti takvog otiska u odnosu na one oplemenjene manjom koncentracijom mirisnih mikrokapsula. Nasuprot ovim otiscima, oni oplemenjeni samo lakovima, bez mikrokapsula, imaju generalno najmanju vrednost relativne spektralne refleksije, odnosno najtamniji su, što je posledica karakteristika korišćenih lakova (boje i transparentije). Odstupanja između izmerenih vrednosti relativne spektralne refleksije na otiscima

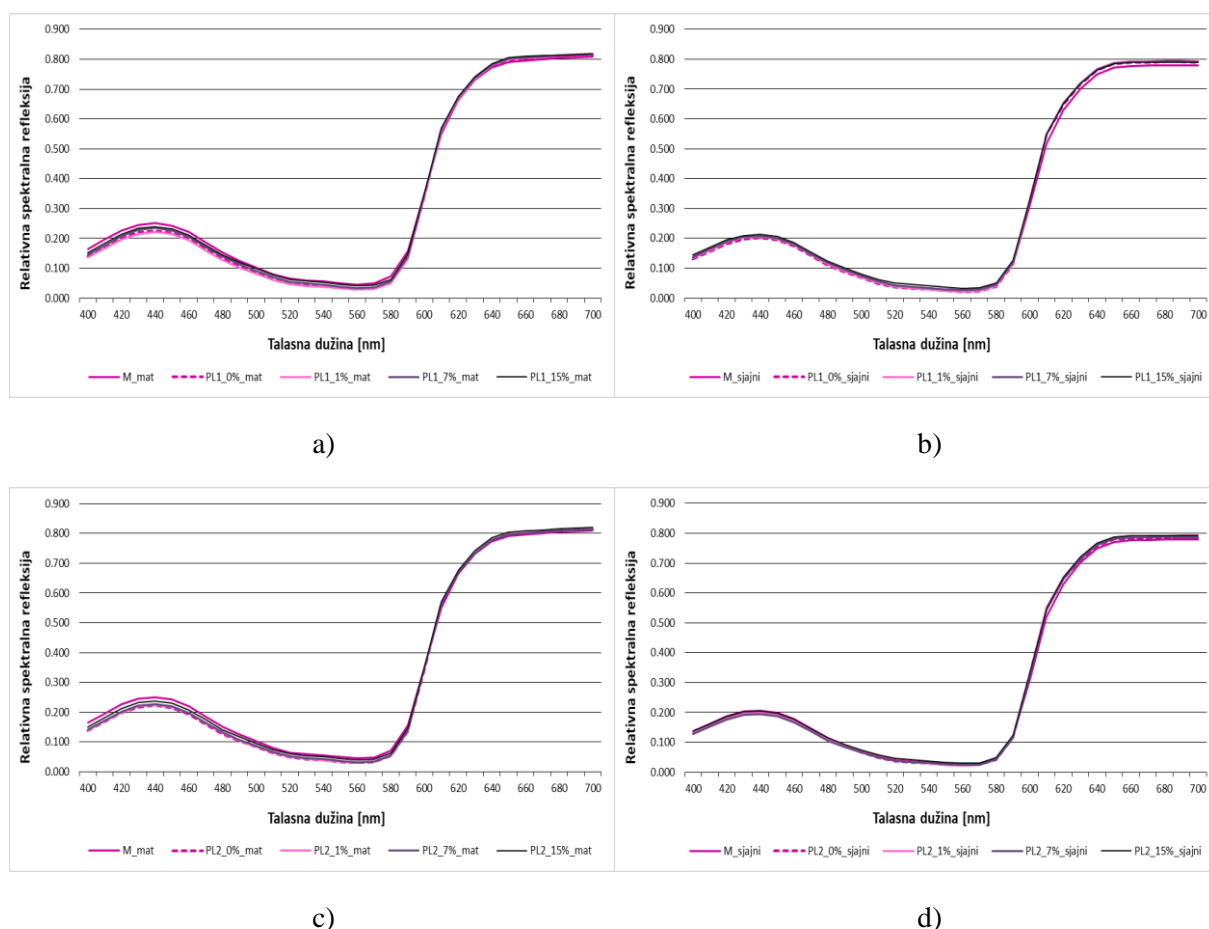
oplemenjenim pomoću automatske tehnike premazivanja i otisaka oplemenjenih flekso tehnikom štampe nisu velika.



Slika 6.48. Rezultati relativne spektralne refleksije štampanih uzoraka cijan bojom i oplemenjenih otisaka flekso tehnikom štampe: a) mat premazni papir L₁ lak, b) sjajni premazni papir L₁ lak, c) mat premazni papir L₂ lak, d) sjajni premazni papir L₂ lak

Na slici 6.49 su dati rezultati srednjih vrednosti izmerene relativne spektralne refleksije na štampanim, neoplemenjenim uzorcima magenta boje (M_{mat} i M_{sjajni}), kao i na otiscima oplemenjenim automatskom tehnikom premazivanja pomoću dve vrste laka i četiri različite masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u lakovima, na dva tipa podloga za štampu. Kao i u pethodnom slučaju, generisane krive relativne spektralne refleksije imaju veoma sličan oblik, slika 6.49. U slučaju otisaka štampanih na mat premaznom papiru, najveće vrednosti relativne spektralne refleksije su zabeležene kod neoplemenjenih otisaka (M_{mat}), zatim na oplemenjenim otiscima mirisnim mikrokapsulama u masenoj koncentraciji od 15%, odnosno 7% respektivno (PL1_15%_{mat}, PL2_15%, PL1_7%_{mat}, PL2_7%), slika 6.49a i 6.49c. Kod otisaka štampanih na istom premaznom papiru, oplemenjenih L₁ lakom, najmanje vrednosti relativne spektralne refleksije imaju otisci oplemenjeni mikrokapsulama u masenoj koncentraciji od 0% odnosno 1% (PL1_0%_{mat}, PL1_1%_{mat}), slika 6.49a. Najmanje vrednosti relativne spektralne refleksije kod otisaka oplemenjenih L₂ lakom, imaju oni oplemenjeni

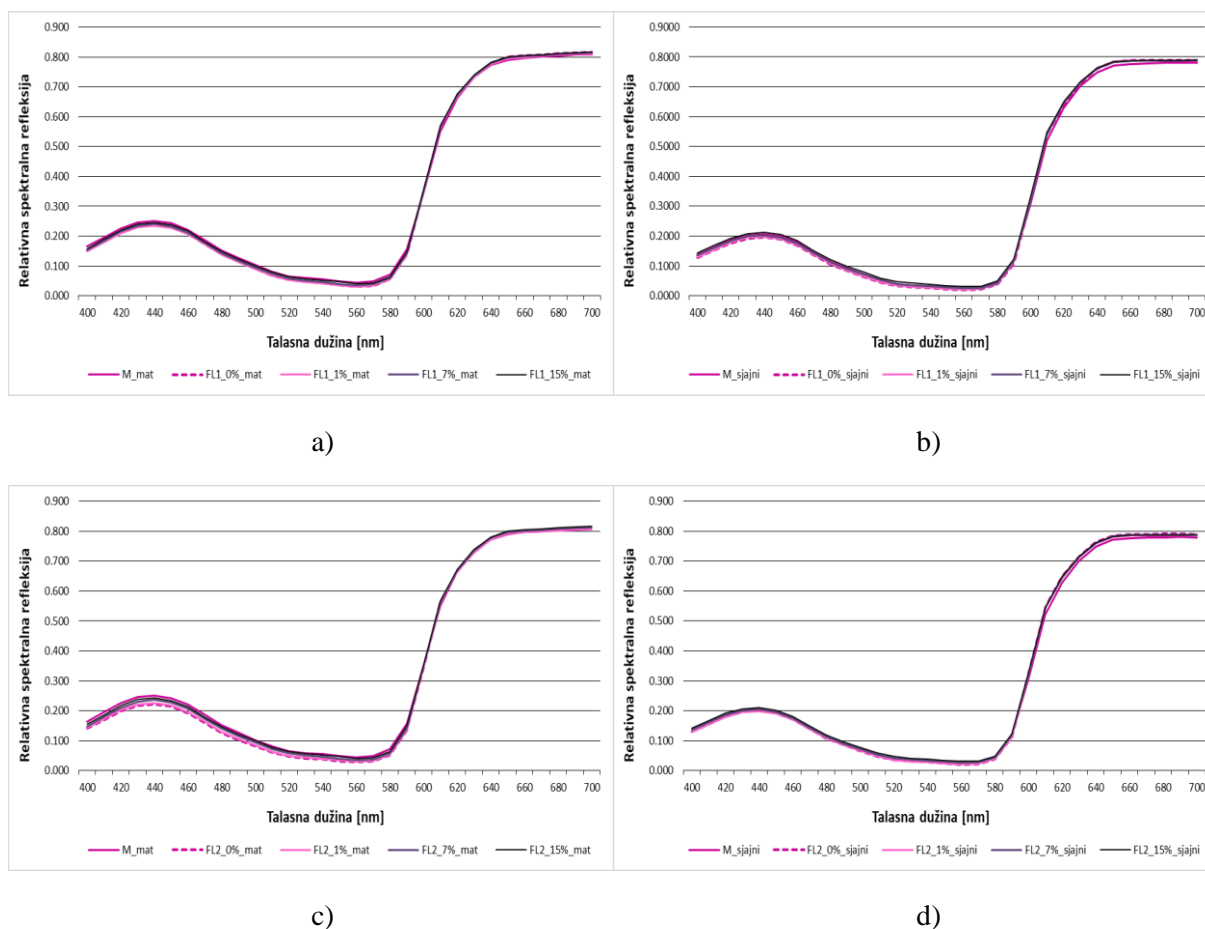
mirisnim mikrokapsulama u masenoj koncentraciji od 1% odnosno 0% (PL2_1%_mat, PL2_0%_mat), slika 6.49c.



Slika 6.49. Rezultati relativne spektralne refleksije štampanih uzoraka magenta bojom i oplemenjenih otisaka automatskom tehnikom premazivanja: a) mat premazni papir L₁ lak, b) sjajni premazni papir L₁ lak, c) mat premazni papir L₂ lak, d) sjajni premazni papir L₂ lak

Poredak uzoraka prema zabeleženim vrednostima intenziteta relativne spektralne refleksije kod otisaka štampanih na sjajnom premaznom papiru, oplemenjenih pomoću L₁ laka, je sledeći (od najviše do najniže vrednosti): PL1_15%_sjajni, PL1_7%_sjajni, PL1_1%_sjajni, PL1_0%_sjajni i M_sjajni. U slučaju otisaka štampanih na istom premaznom papiru, oplemenjenih pomoću L₂ laka, poredak zabeleženih vrednosti relativne spektralne refleksije je sledeći (od najviše do najniže vrednosti): PL2_15%_sjajni, PL2_1%_sjajni, PL2_0%_sjajni, PL2_7%_sjajni i M_sjajni. Na osnovu analiziranih rezultata relativne spektralne refleksije, utvrđeno je da je na oplemenjenim otiscima mat premaznog papira zabeležena nešto viša vrednost u odnosu na oplemenjene otiske na sjajnom premaznom papiru, kao i na otiscima oplemenjenim L₁ lakom u odnosu na one oplemenjene L₂ lakom.

Na slici 6.50 su predstavljeni rezultati srednjih vrednosti relativne spektralne refleksije izmereni na štampanim, neoplemenjenim uzorcima magenta boje (M_mat i M_sjajni), i na otiscima oplemenjenim flekso tehnikom štampe pomoću dve vrste laka i četiri različite masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u lakovima na dve različite podloge za štampu.



Slika 6.50. Rezultati relativne spektralne refleksije štampanih uzoraka magenta bojom i oplemenjenih otisaka flekso tehnikom štampe: a) mat premazni papir L₁ lak, b) sjajni premazni papir L₁ lak, c) mat premazni papir L₂ lak, d) sjajni premazni papir L₂ lak

Dobijene spektralne krive, kao i u slučaju prethodno analiziranih oplemenjenih otisaka, imaju veoma sličan oblik, slika 6.50. U slučaju otisaka na mat premaznom papiru, oplemenjenih L₁ lakom, najviša vrednost relativne spektralne refleksije je zabeležena kod uzorka FL1_15%_mat, zatim kod M_mat, FL1_7%_mat, FL1_0%_mat i FL1_1%_mat oplemenjenog otiska, slika 6.50a. Kod otisaka štampanih na istom premaznom papiru, oplemenjenih pomoću L₂ laka, poredak zabeleženih vrednosti relativne spektralne refleksije počevši od najviše ka najnižoj vrednosti je sledeći: M_mat, FL2_15%_mat, FL2_7%_mat, FL2_1%_mat, FL2_0%_mat.

U slučaju otisaka štampanih na sjajnom premaznom papiru, oplemenjenih pomoću L₁ laka, redosled uzoraka prema intenzitetu zabeleženih vrednosti relativne spektralne refleksije, od najviše do najniže vrednosti, je sledeći: FL1_15%_sjajni, FL1_7%_sjajni, FL1_1%_sjajni, FL1_0%_sjajni i M_sjajni. Što se tiče otisaka štampanih na istom premaznom papiru, oplemenjenih pomoću L₂ laka, redosled zabeleženih vrednosti relativne spektralne refleksije je nešto drugačiji (opadajući niz): FL2_15%_sjajni, FL2_7%_sjajni, FL2_0%_sjajni, M_sjajni, FL2_1%_sjajni.

Na otiscima oplemenjenim mirisnim mikrokapsulama u masenoj koncentraciji od 15%, je registrovana generalno najviša vrednost relativne spektralne refleksije, dok oplemenjeni otisci samo lakovima, bez

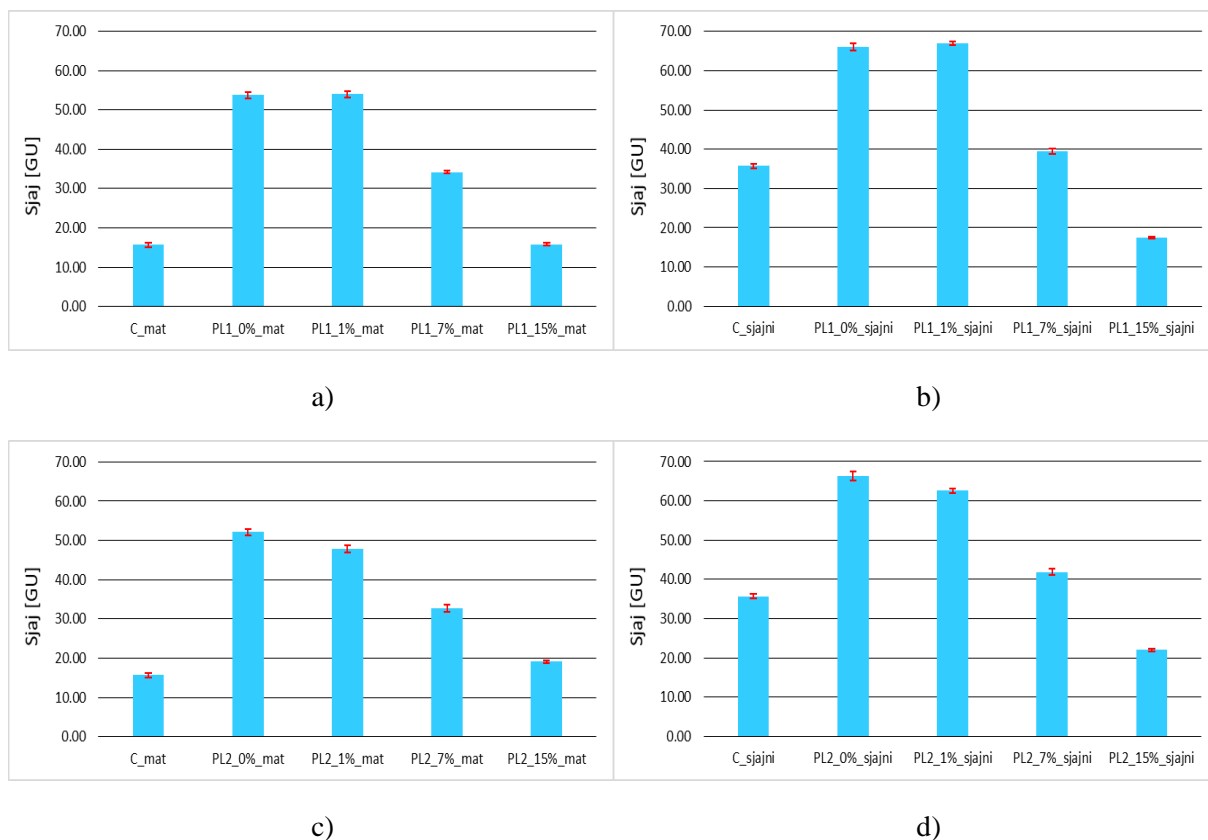
mikrokapsula, imaju generalno najnižu vrednost relativne spektralne refleksije, odnosno najtamniji su. Oplemenjeni otisci štampani magenta bojom na mat premaznom papiru imaju nešto više vrednosti relativne spektralne refleksije u odnosu na otiske sjajnog premaznog papira. U slučaju mat premaznog papira viša vrednost razmatranog parametra je registrovana na otiscima oplemenjenim L₁ lakom, dok je u slučaju sjajnog premaznog papira razlika zanemarljiva. Što se tiče razlike između izmerenih vrednosti relativne spektralne refleksije na otiscima oplemenjenim pomoću automatske tehnike premazivanja i onih oplemenjenih flekso tehnikom štampe, nisu zabeležena velika odstupanja.

6.2.3.5.1.4 Analiza rezultata sjaja oplemenjenih uzoraka

U ovom segmentu rada su analizirani rezultati sjaja štampanih, neoplemenjenih i oplemenjenih otisaka. ASTM D523 standardom je definisano merenje spekularnog sjaja pomoću tri različita merna ugla: 20°, 60° i 85°. Izbor mernog ugla zavisi od vrste materijala koji se meri, kao i od dobijenih vrednosti sjaja. Naime, ako je izmerena vrednost sjaja pri uglu merenja od 60° viša od 70 jedinica sjaja (*eng. Gloss Unit - GU*), trebalo bi uzeti dobijene vrednosti sjaja za merni ugao od 20°. Ukoliko je izmerena vrednost sjaja pomoću mernog ugla od 60° manja od 10 GU, tada bi trebalo uzeti dobijene vrednosti sjaja za merni ugao od 85° (ASTM D523, 1999). Prema preporukama ASTM D523 standarda, za analizu rezultata izmerenog sjaja korišćeni su dobijeni rezultati za merni ugao od 60°.

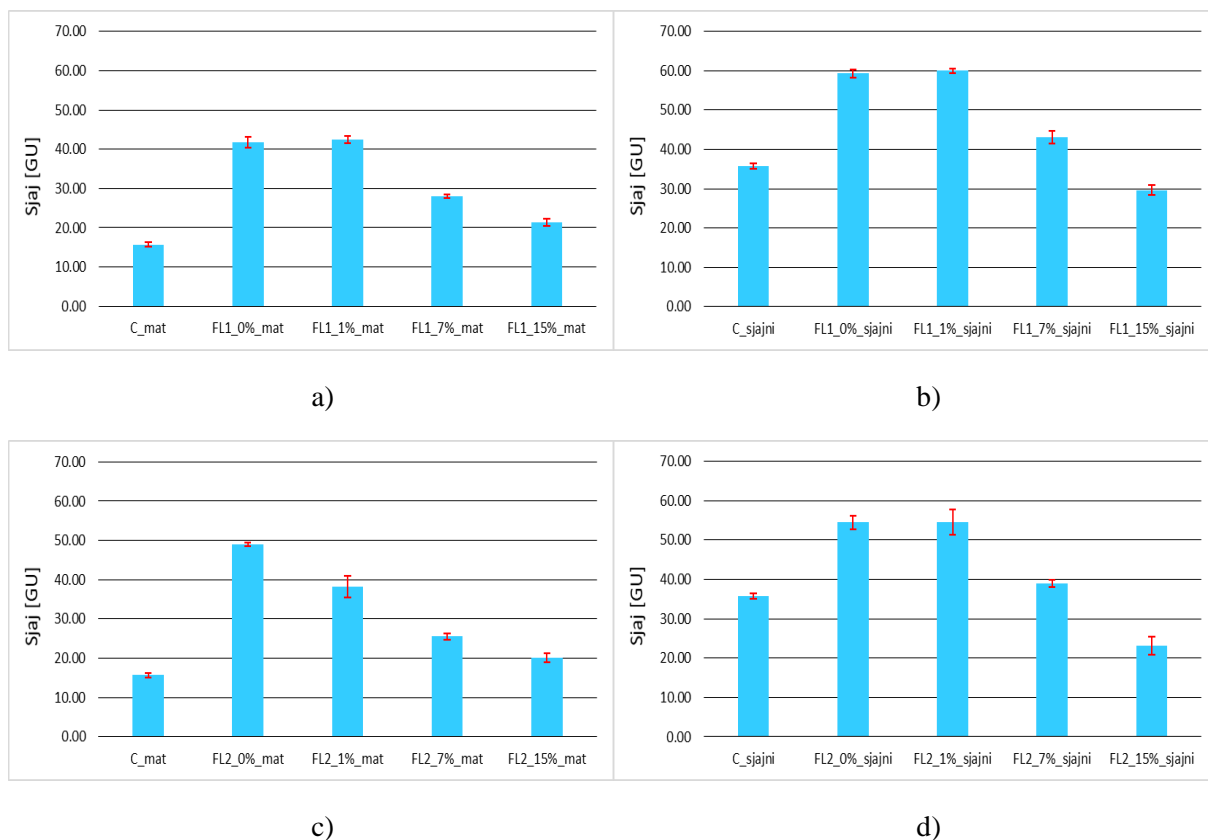
Na slici 6.51 su predstavljene srednje vrednosti rezultata sjaja i vrednosti standardne devijacije, dobijene merenjima na štampanim, neoplemenjenim uzorcima cijan boje, kao i merenjima na otiscima oplemenjenim automatskom tehnikom premazivanja korišćenjem dve vrste laka i četiri različite masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u lakovima, na dve različite podloge za štampu.

Sa grafika na slici 6.51 se vidi da oplemenjeni otisci samo lakovima, bez mikrokapsula (PL1_0%_mat, PL2_0%_mat, PL1_0%_sjajni, PL2_0%_sjajni), imaju značajno višu vrednost sjaja u odnosu na referentne, neoplemenjene otiske (C_mat i C_sjajni). Prisutan je jasan opadajući trend rezultata sjaja, a to je da povećavanjem masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u lakovima, dolazi do smanjivanja izmerenih vrednosti sjaja. Ovo je rezultat mirisnih mikrokapsula koje pri višim masenim koncentracijama u određenoj meri završavaju na površini oplemenjenog otiska i time površina oplemenjenog otiska postaje grublja, a spekularna refleksija znatno niža. Izuzetak su otisci mat i sjajnog premaznog papira oplemenjeni L₁ lakom i mirisnim mikrokapsulama u masenoj koncentraciji od 1% (PL1_1%_mat i PL1_1%_sjajni), kod kojih je zabeležen intenzitet sjaja nešto viši u odnosu na uzorke oplemenjene samo L₁ lakom, bez mikrokapsula (slika 6.51a, 6.51b). Razlog ovog rezultata bi mogao biti sastav L₁ laka koji sadrži određeni procenat voska, tako da je površinska struktura oplemenjenog uzorka bez mikrokapsula i uzorka sa ovom, veoma malom koncentracijom mirisnih mikrokapsula (1%) veoma slična. Kod otisaka na mat premaznom papiru zabeležena vrednost sjaja na uzorcima oplemenjenim mikrokapsulama u masenoj koncentraciji od 15% (PL1_15%_mat i PL2_15%_mat) je viša od referentnog, neoplemenjenog uzorka (C_mat), dok je obrnut slučaj kod otisaka na sjajnom premaznom papiru. Na mat premaznom papiru su zabeležene znatno niže vrednosti sjaja u odnosu na sjajni premazni papir, dok su odstupanja registrovanih vrednosti sjaja za oplemenjene otiske različitim tipom laka (L₁ i L₂) zanemarljive.



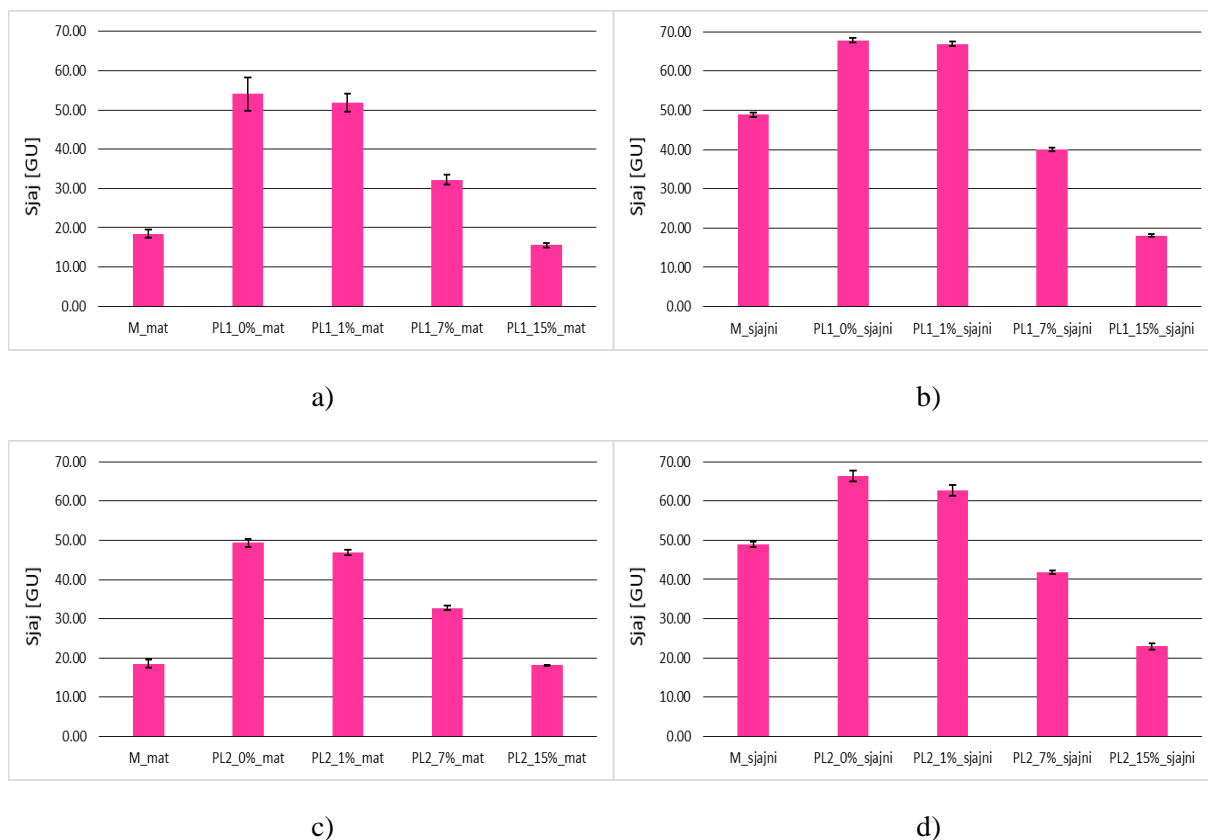
Slika 6.51. Rezultati sjaja štampanih uzoraka cijan bojom i oplemenjenih otisaka automatskom tehnikom premazivanja: a) mat premazni papir L₁ lak, b) sjajni premazni papir L₁ lak, c) mat premazni papir L₂ lak, d) sjajni premazni papir L₂ lak

Na slici 6.52 su prikazane srednje vrednosti rezultata sjaja i vrednosti standardne devijacije, dobijene merenjima na štampanim, neoplemenjenim uzorcima cijan boje, kao i merenjima na otiscima oplemenjenim flekso tehnikom štampe korišćenjem dve vrste laka i četiri različite masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u lakovima, na dve različite podloge za štampu. I otisci oplemenjeni ovom tehnikom (samo lakovima, bez mikrokapsula) (FL1_0%_mat, FL2_0%_mat, FL1_0%_sjajni, FL2_0%_sjajni), imaju znatno višu vrednost sjaja u odnosu na neoplemenjene otiske (C_mat i C_sjajni), slika 6.52. Takođe, prisutan je istovetan trend rezultata sjaja, gde povećavanjem masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u lakovima oplemenjene površine postaju grublje, a posledično se smanjuje vrednost sjaja. I ovde postoje dva izuzetka od opšteg trenda, a to su otisci mat i sjajnog papira oplemenjeni L₁ lakom i mirisnim mikrokapsulama u masenoj koncentraciji od 1% (FL1_1%_mat i FL1_1%_sjajni), gde je zabeležen intenzitet sjaja malo viši u odnosu na uzorke oplemenjene samo L₁ lakom, bez mikrokapsula (slika 6.52a, 6.52b). U slučaju otisaka mat premaznog papira, zabeležena vrednost sjaja na uzorcima oplemenjenim mirisnim mikrokapsulama u masenoj koncentraciji od 15% (FL1_15%_mat i FL2_15%_mat) je viša od neoplemenjenog otiska (C_mat), dok je suprotan slučaj registrovan kod otisaka sjajnog premaznog papira. Na mat premaznom papiru su zabeležene znatno niže vrednosti sjaja u odnosu na sjajni premazni papir, dok su razlike registrovanih vrednosti sjaja između oplemenjenih otisaka različitim tipom laka (L₁ i L₂) vrlo male. Takođe, više vrednosti sjaja su zabeležene na oplemenjenim otiscima automatskom tehnikom premazivanja, obzirom da se na taj način ostvaruje deblji sloj laka.



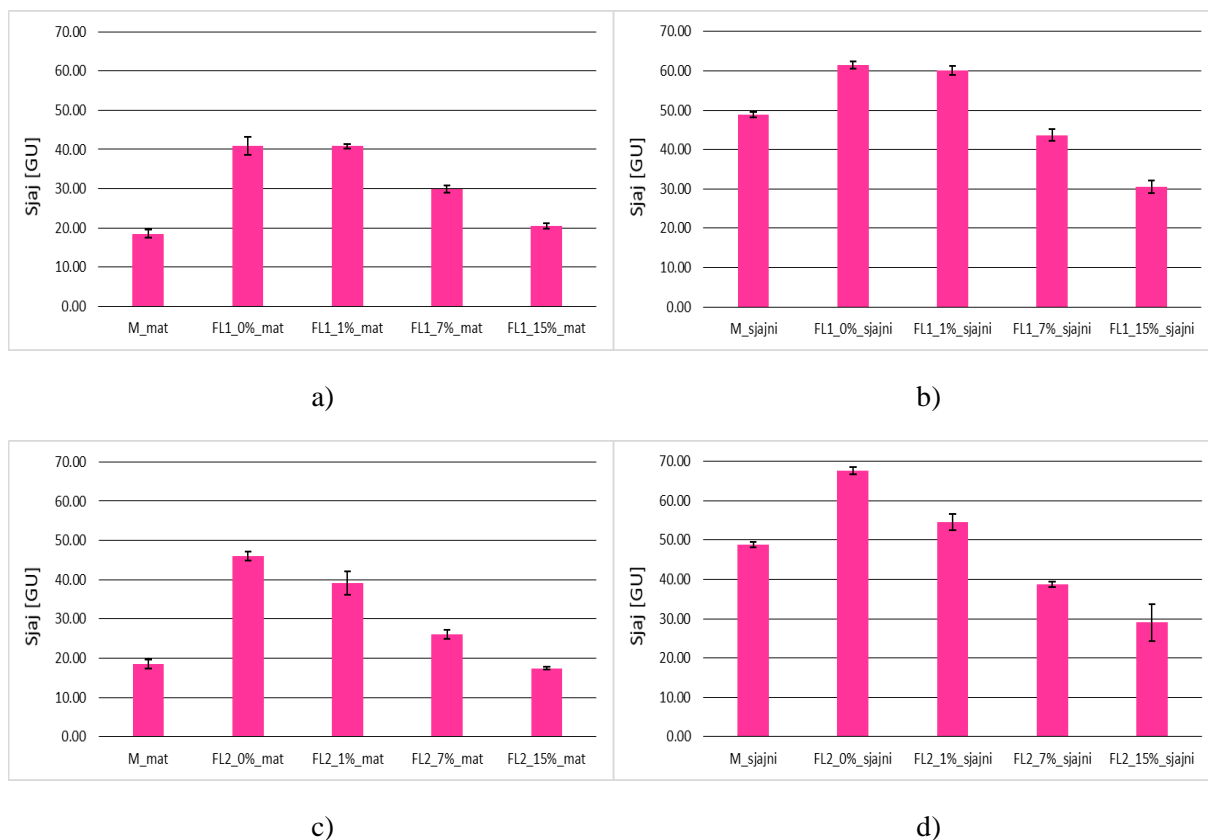
Slika 6.52. Rezultati sjaja štampanih uzoraka cijan bojom i oplemenjenih otisaka flekso tehnikom štampe: a) mat premazni papir L₁ lak, b) sjajni premazni papir L₁ lak, c) mat premazni papir L₂ lak, d) sjajni premazni papir L₂ lak

Na slici 6.53 su predstavljene srednje vrednosti rezultata sjaja i vrednosti standardne devijacije, dobijene merenjima na štampanim, neoplemenjenim uzorcima magenta boje, kao i merenjima na otiscima oplemenjenim automatskom tehnikom premazivanja korišćenjem dve vrste laka i četiri različite masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u lakovima, na dve različite podloge za štampu. Oplemenjivanje otisaka samo lakovima, bez mikrokapsula (PL1_0%_mat, PL2_0%_mat, PL1_0%_sjajni, PL2_0%_sjajni), dovelo je do značajnog porasta vrednosti sjaja u odnosu na neoplemenjene otiske (M_mat i M_sjajni), slika 6.53. Povećavanjem masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u lakovima dovodi do postepenog smanjivanja vrednosti sjaja oplemenjenih površina, nezavisno od upotrebjene podloge za štampu kao i tipa laka. Nezavisno od korišćenog premaznog papira, zabeležena vrednost sjaja na uzorcima oplemenjenim mikrokapsulama u masenoj koncentraciji od 15% (PL1_15%_mat, PL2_15%_mat, PL1_15%_sjajni i PL2_15%_sjajni) je niža od neoplemenjenog uzorka (M_mat i M_sjajni). Na mat premaznom papiru su, kao i u slučaju oplemenjenih otisaka štampanih cijan bojom, zabeležene znatno niže vrednosti sjaja u odnosu na sjajni premazni papir, dok su razlike u registrovanim vrednostima sjaja između oplemenjenih otisaka različitim tipom laka (L₁ i L₂) male.



Slika 6.53. Rezultati sjaja štampanih uzoraka magenta bojom i oplemenjenih otisaka automatskom tehnikom premazivanja: a) mat premazni papir L₁ lak, b) sjajni premazni papir L₁ lak, c) mat premazni papir L₂ lak, d) sjajni premazni papir L₂ lak

Na slici 6.54 su date srednje vrednosti rezultata sjaja i vrednosti standardne devijacije, dobijene merenjima na štampanim, neoplemenjenim uzorcima magenta boje, kao i merenjima na otiscima oplemenjenim flesko tehnikom štampe korišćenjem dve vrste laka i četiri različite masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u lakovima, na dve različite podloge za štampu. Oplemenjeni otisci samo lakovima (FL1_0%_mat, FL2_0%_mat, FL1_0%_sjajni, FL2_0%_sjajni), imaju značajno veću vrednost sjaja u odnosu na neoplemenjene otiske (M_mat i M_sjajni), slika 6.54. Rast masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u lakovima uzrokuje postepeno smanjivanje vrednosti sjaja oplemenjenih površina, bez obzira na tip laka i podloge za štampu. U slučaju otisaka mat premaznog papira, zabeležena vrednost sjaja na neoplemenjenim uzorcima (M_mat) i oplemenjenim uzorcima sa mikrokapsulama u masenoj koncentraciji od 15% (FL1_15%_mat, PL2_15%_mat) je približno ista, dok je kod sjajnog premaznog papira viša vrednost zabeležena na neoplemenjenim otiscima (M_sjajni). Na mat premaznom papiru su registrovane znatno niže vrednosti sjaja u odnosu na sjajni premazni papir, dok su razlike izmerenih vrednosti sjaja na otiscima oplemenjenim različitim tipovima lakova (L₁ i L₂) veoma male. Takođe, više vrednosti sjaja su zabeležene na otiscima oplemenjenim automatskom tehnikom premazivanja.



Slika 6.54. Rezultati sjaja štampanih uzoraka magenta bojom i oplemenjenih otisaka flekso tehnikom štampe: a) mat premazni papir L₁ lak, b) sjajni premazni papir L₁ lak, c) mat premazni papir L₂ lak, d) sjajni premazni papir L₂ lak

U tabelama 6.21 i 6.22 su predstavljene rezultati izvršene statističke analize dobijenih vrednosti sjaja oplemenjenih otisaka štampanih cijan bojom, bez i sa različitim masenim koncentracijama mirisnih mikrokapsula u lakovima, koristeći različite podloge za štampu kao i tehnike oplemenjivanja. Na osnovu različitih statističkih analiza koje su sprovedene, dobijeni su rezultati statističke značajnosti uticaja (p) svakog od variranih faktora u okviru procesa oplemenjivanja (tehnika oplemenjivanja, koncentracija mikrokapsula, tip laka i podloge za štampu), kao i rezultati eta kvadrata, pokazatelja veličine uticaja svakog od faktora na posmatranu izlaznu veličinu, tj. sjaj oplemenjenih otisaka.

Izvršena multifaktorska analiza varijanse je pokazala da na sjaj oplemenjenih otisaka statistički značajan uticaj ($p < 0,05$) imaju svi pojedinačni faktori, ali i sve njihove kombinacije (tabela 11.6, Prilog 1). Zbog toga su izvršene i dodatne dvofaktorske analize varijanse kako bi se dati uticaji detaljnije analizirali i obrazložili, tabele 6.21 i 6.22.

Statistička značajnost uticaja korišćenog tipa laka na vrednosti sjaja oplemenjenih otisaka je utvrđena samo prilikom dvofaktorske analize varijanse uticaja tipa laka i koncentracije mikrokapsula ($p = 0,050$), ali je uticaj ovog faktora bio vrlo mali, obzirom na dobijenu vrednost eta kvadrata od 0,012 (tabela 6.22). Uticaj tehnike oplemenjivanja na rezultujuće vrednosti sjaja oplemenjenih otisaka je statistički značajan, uz relativno mali uticaj na šta sugerišu dobijene vrednosti eta kvadrata. Nešto veći uticaj na sjaj oplemenjenih otisaka je utvrđen za tip korišćene podloge za štampu, uz umeren, odnosno veliki uticaj ovog faktora, što pokazuju vrednosti eta kvadrata (tabela 6.21). Dominantan uticaj na posmatranu

zavisnu promenljivu ima primena različitih koncentracija mirisnih mikrokapsula, nezavisno od korišćenog tipa laka, podloge za štampu i tehnike oplemenjivanja, a uticaj ovog faktora spada u red veoma velikih, shodno vrednostima eta kvadrata (tabele 6.21 i 6.22). Naknadne jednofaktorske analize varijanse i Tukijevi HSD testovi (3.1 – 3.4 i 6.1 – 6.4, tabele 6.21 i 6.22) su pokazali da je uticaj koncentracije mirisnih mikrokapsula na sjaj oplemenjenih otisaka bio najveći u slučaju otisaka oplemenjenih flekso tehnikom štampe ($p=0,000$, eta kvadrat=0,723) i oplemenjenih otisaka sjajnog premaznog papira ($p=0,000$, eta kvadrat=0,934).

Tabela 6.21. Rezultati statističke analize vrednosti sjaja oplemenjenih otisaka štampanih cijan bojom

Tip analize	Ispitivani faktori	p	Eta kvadrat	
1. Dvofaktorska analiza varijanse	tehnika*lak	0,511	0,001	
	tehnika	0,026	0,016	
	lak	0,372	0,003	
2. Dvofaktorska analiza varijanse	tehnika*podloga	0,384	0,002	
	tehnika	0,018	0,018	
	podloga	0,000	0,116	
3. Dvofaktorska analiza varijanse	tehnika*koncentracija	0,000	0,166	
	tehnika	0,000	0,089	
	koncentracija	0,000	0,833	
3.1 Jednofaktorska analiza varijanse	uticaj koncentracije kod aut. teh. prem.	0,000	0,457	
3.2 Tukijev HSD test	(I) Koncentracija	(J) Koncentracija		
	0%	1%	0,516	-
		7%	0,000	-
		15%	0,000	-
	1%	7%	0,000	-
		15%	0,000	-
	7%	15%	0,000	-
3.3 Jednofaktorska analiza varijanse	uticaj koncentracije kod flekso tehnike	0,000	0,723	
3.4 Tukijev HSD test	(I) Koncentracija	(J) Koncentracija		
	0%	1%	0,447	-
		7%	0,000	-
		15%	0,000	-
	1%	7%	0,000	-
		15%	0,000	-
	7%	15%	0,000	-
4. Dvofaktorska analiza varijanse	lak*podloga	0,666	0,001	
	lak	0,347	0,003	
	podloga	0,000	0,114	

Tabela 6.22. Rezultati statističke analize vrednosti sjaja oplemenjenih otisaka štampanih cijan bojom

Tip analize	Ispitivani faktori	p	Eta kvadrat	
5. Dvofaktorska analiza varijanse	lak*koncentracija	0,072	0,022	
	lak	0,050	0,012	
	koncentracija	0,000	0,799	
6. Dvofaktorska analiza varijanse	podloga*koncentracija	0,000	0,192	
	podloga	0,000	0,603	
	koncentracija	0,000	0,914	
6.1 Jednofaktorska analiza varijanse	uticaj koncentracije kod mat papira	0,000	0,885	
6.2 Tukijev HSD test	(I) Koncentracija	(J) Koncentracija		
	0%	1%	0,002	-
		7%	0,000	-
		15%	0,000	-
	1%	7%	0,000	-
		15%	0,000	-
	7%	15%	0,000	-
6.3 Jednofaktorska analiza varijanse	uticaj koncentracije kod sjajnog papira	0,000	0,934	
6.4 Tukijev HSD test	(I) Koncentracija	(J) Koncentracija		
	0%	1%	0,952	-
		7%	0,000	-
		15%	0,000	-
	1%	7%	0,000	-
		15%	0,000	-
	7%	15%	0,000	-

6.2.3.5.1.5 Analiza rezultata razlika u boji ΔE^*_{ab}

U okviru ovog segmenta doktorske disertacije, biće predstavljene rezultati CIE LAB vrednosti izmerenih na neoplemenjenim otiscima štampanim cijan i magenta bojom, kao na oplemenjenim otiscima različitim tehnikama oplemenjeivanja, lakovima i masenim koncentracijama mirisnih mikrokapsula u lakovima, na dve podloge za štampu različitih površinskih karakteristika. Takođe, biće predstavljene i srednje vrednosti izmerenih vrednosti beline i žutoće oplemenjenih premaznih papira korišćenjem različitih lakova, tehnika oplemenjivanja i masenih koncentracija mikrokapsula u lakovima. ISO standardom date CIE LAB vrednosti za štampane otiske cijan odnosno magenta bojom, tehnikom ofset tabačne štampe na premaznim papirima, korišćene su kao referentne vrednosti za proračun razlika u boji (ISO 12647-2, 2013), ΔE^*_{ab} , uz primenu formule (2.1).

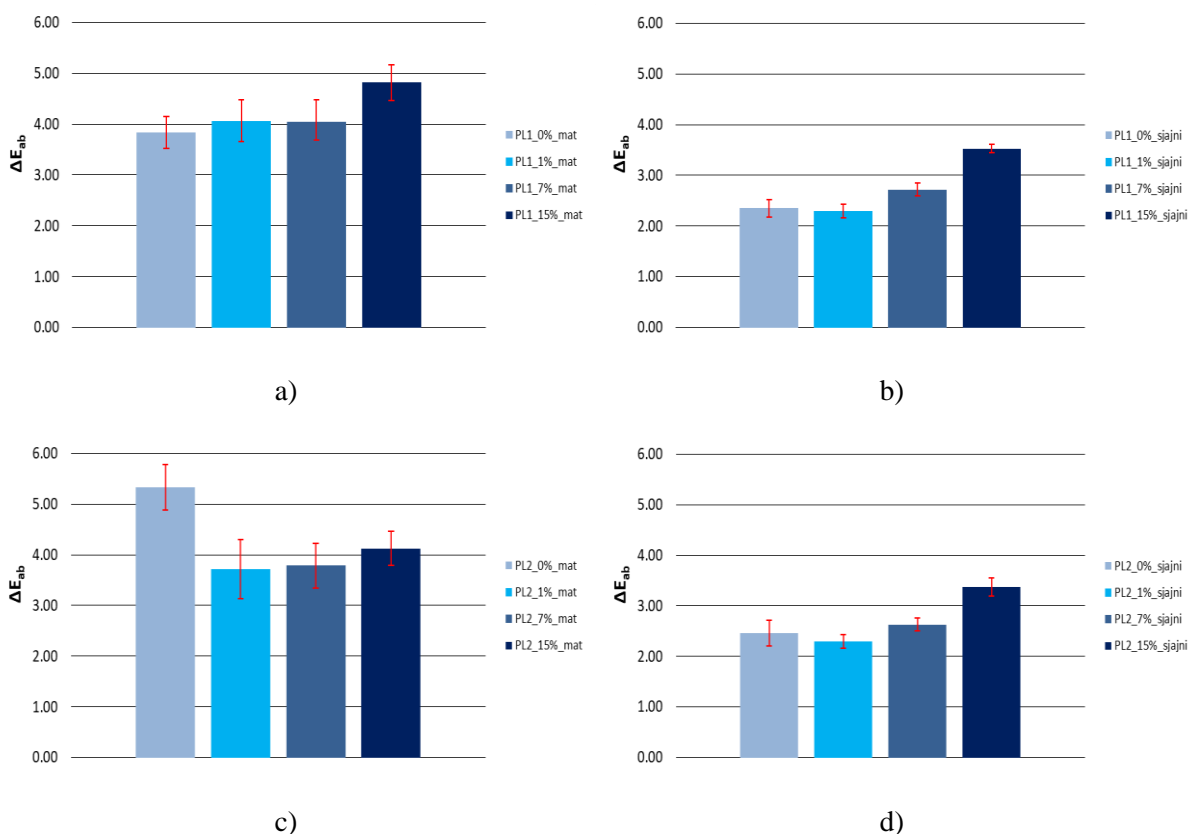
U tabeli 6.23 su predstavljene srednje vrednosti rezultata CIE LAB vrednosti neoplemenjenog otiska punog tona cijan boje i oplemenjenih otisaka pomoću različitih tehnika oplemenjivanja, različitih tipova lakova i podloga za štampu, primenom četiri masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u lakovima. Dobijene CIE LAB vrednosti su korišćene za proračun razlika u boji (ΔE^*_{ab}), tabela 6.23.

Tabela 6.23. Rezultati CIE LAB vrednosti neoplemenjenog i oplemenjenih otisaka štampanih cijan bojom

Uzorak	Mat premazni papir			Sjajni premazni papir		
	CIE LAB	L	a	b	L	a
ISO Standard	55,00	-35,00	-51,00	55,00	-35,00	-51,00
Neoplemenjen	53,85	-31,54	-49,92	54,15	-32,73	-49,92
PL1_0%	52,29	-32,28	-51,16	54,01	-33,07	-50,09
PL1_1%	52,04	-32,23	-51,33	53,88	-33,16	-50,22
PL1_7%	52,41	-31,90	-51,02	53,85	-32,66	-50,22
PL1_15%	52,63	-30,82	-50,63	54,38	-31,81	-49,63
PL2_0%	50,74	-31,92	-51,93	53,77	-33,17	-49,90
PL2_1%	52,30	-32,44	-50,85	53,77	-33,35	-49,99
PL2_7%	52,57	-32,13	-50,60	54,17	-32,97	-49,56
PL2_15%	52,79	-31,57	-50,39	54,79	-32,29	-49,01
FL1_0%	53,54	-32,21	-50,16	53,22	-32,96	-50,96
FL1_1%	53,29	-32,16	-50,40	53,77	-32,94	-50,37
FL1_7%	53,34	-31,60	-50,20	53,88	-32,64	-50,14
FL1_15%	54,11	-31,15	-49,52	54,22	-31,93	-49,81
FL2_0%	51,79	-31,91	-51,14	52,92	-33,01	-50,89
FL2_1%	52,62	-32,04	-50,44	53,29	-32,98	-50,40
FL2_7%	53,27	-31,45	-50,06	53,80	-32,45	-50,06
FL2_15%	53,17	-30,84	-50,10	54,42	-31,55	-49,52

Na slici 6.55 su predstavljene srednje vrednosti rezultata razlika u boji (ΔE^*_{ab}) i vrednosti standardne devijacije, dobijene na štampanim uzorcima cijan bojom, oplemenjenim automatskom tehnikom premazivanja pomoću dve vrste laka i četiri različite masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u lakovima na dva tipa podloge za štampu.

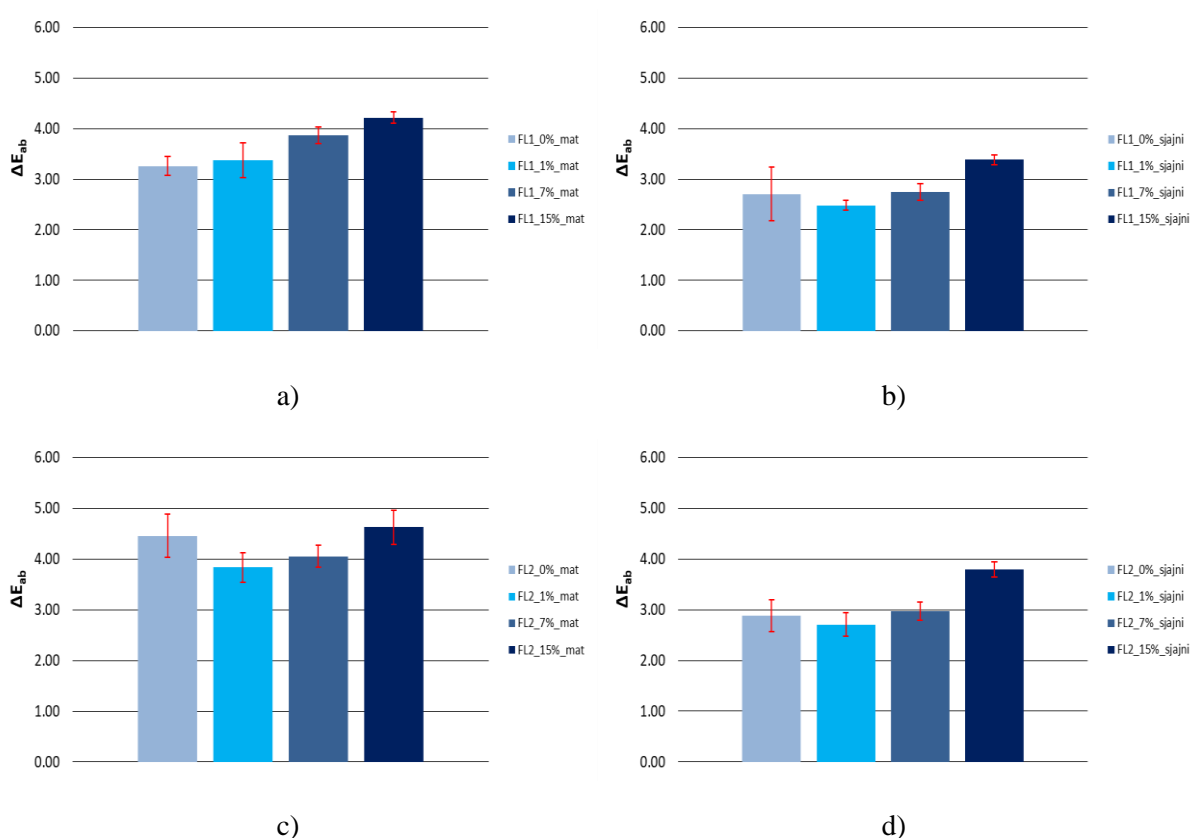
Sa prikazanih grafika na slici 6.55 se može uočiti generalno rastući trend vrednosti razlika u boji oplemenjenih otisaka sa povećanjem koncentracije mirisnih mikrokapsula u lakovima (slika 6.55a, 6.55b, 6.55d). Kod oplemenjenih otisaka samo L_1 i L_2 lakom (bez mikrokapsula) na sjajnom premaznom papiru, dobijene su inicijalno malo više vrednosti razlike u boji u odnosu na oplemenjene otiske lakovima i mirisnim mikrokapsulama u masenoj koncentraciji od 1%, međutim, svako naredno povećanje masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u lakovima (7% i 15%) uticalo je na povećanje ΔE^*_{ab} vrednosti (slika 6.55b, 6.55d). Uzorak koji odstupa od ustanovljenog trenda ponašanja vrednosti razlika u boji je otisak oplemenjen samo lakom L_2 bez mirisnih mikrokapsula na mat premaznom papiru, gde je zabeležena najveća vrednost razlike u boji, veća čak i od uzorka koji je oplemenjen masenom koncentracijom mikrokapsula od 15%, slika 6.55c. Na mat premaznom papiru su, nezavisno od korišćenog laka, zabeležene značajno veće razlike u boji u odnosu na oplemenjene otiske na sjajnom premaznom papiru. Razlike u boji zabeležene na oplemenjenim otiscima sjajnog premaznog papira korišćenjem obe vrste laka (L_1 i L_2) se mogu klasifikovati kao srednje razlike $2 < \Delta E^*_{ab} < 3,5$ (primetne i neiskusnom posmatraču), dok one zabeležene na oplemenjenim otiscima na mat premaznom papiru spadaju u višu kategoriju, grupu očiglednih razlika u boji $3,5 < \Delta E^*_{ab} < 5$. Registrovane razlike u boji otisaka oplemenjenih različitim tipom laka na istom tipu premaznog papira su male.



Slika 6.55. Rezultati razlika u boji štampanih otisaka cijan bojom, oplemenjenih automatskom tehnikom premazivanja: a) mat premazni papir L₁ lak, b) sjajni premazni papir L₁ lak, c) mat premazni papir L₂ lak, d) sjajni premazni papir L₂ lak

Na slici 6.56 su predstavljene srednje vrednosti rezultata razlika u boji (ΔE^*_{ab}) i vrednosti standardne devijacije, dobijene na štampanim uzorcima cijan bojom, oplemenjenim flekso tehnikom štampe pomoću dve vrste laka i četiri različite masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u lakovima na dva tipa podloge za štampu. I u slučaju otisaka oplemenjenih flekso tehnikom štampe, uočava se sličan, rastući trend vrednosti razlika u boji oplemenjenih otisaka sa porastom masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u lakovima (slika 6.56). U slučaju oplemenjenih otisaka L₂ lakom na mat premaznom papiru (bez mikrokapsula), kao i kod otisaka oplemenjenih samo L₁ i L₂ lakom (bez mikrokapsula) na sjajnom premaznom papiru, dobijene su malo više vrednosti razlike u boji u odnosu na oplemenjene otiske istim lakovima, mirisnim mikrokapsulama u masenoj koncentraciji od 1%. Nakon svakog narednog povećanja masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u lakovima (7% i 15%) ΔE^*_{ab} vrednosti su se povećavale (slika 6.56b, 6.56c, 6.56d). Kao i u prethodnom slučaju oplemenjenih otisaka automatskom tehnikom premazivanja, na mat premaznom papiru su, nezavisno od korišćenog tipa laka, zabeležene značajno veće razlike u boji u odnosu na oplemenjene otiske na sjajnom premaznom papiru. Razlike u boji koje su zabeležene na oplemenjenim otiscima na sjajnom premaznom papiru korišćenjem obe vrste laka (L₁ i L₂) se generalno mogu klasifikovati kao srednje razlike $2 < \Delta E^*_{ab} < 3,5$ (primetne i neiskusnom posmatraču), dok registrovana razlika u boji na oplemenjenom otisku L₂ lakom, masenom koncentracijom mikrokapsula u laku od 15%, spada u grupu očiglednih razlika u boji $3,5 < \Delta E^*_{ab} < 5$. Zabeležene razlike u boji na oplemenjenim otiscima mat premaznog papira, spadaju generalno u grupu

očiglednih razlika u boji $3,5 < \Delta E^*_{ab} < 5$, sa izuzetkom izračunatih razlika u boji u slučaju oplemenjenih otisaka L_1 lakom i masenim koncentracijama mikrokapsula u laku od 0% i 1%, koje pripadaju grupi srednjih razlika u boji $2 < \Delta E^*_{ab} < 3,5$ (primetne i neiskusnom posmatraču). Registrovane razlike u boji otisaka oplemenjenih L_1 lakom za isti tip premaznog papira, manje su u odnosu na zabeležene razlike u boji oplemenjenih otisaka L_2 lakom. Što se tiče razlika u boji između oplemenjenih otisaka različitim tehnikama oplemenjivanja (automatska tehnika premazivanja i fleksa tehnika štampe), u slučaju mat premaznog papira oplemenjenog L_2 lakom odstupanja su mala, dok su kod otisaka oplemenjenih L_1 lakom veće vrednosti razlike u boji zabeležene u slučaju otisaka oplemenjenih automatskom tehnikom premazivanja. Kod otisaka na sjajnom premaznom papiru, oplemenjenih fleksa tehnikom štampe, zabeležene su više vrednosti razlika u boji u slučaju oba korišćena laka, u odnosu na oplemenjene otiske automatskom tehnikom premazivanja.



Slika 6.56. Rezultati razlika u boji štampanih otisaka cijan bojom, oplemenjenih fleksa tehnikom štampe: a) mat premazni papir L_1 lak, b) sjajni premazni papir L_1 lak, c) mat premazni papir L_2 lak, d) sjajni premazni papir L_2 lak

U tabeli 6.24 su predstavljene srednje vrednosti rezultata CIE LAB vrednosti neoplemenjenog otiska punog tona magenta boje i oplemenjenih otisaka pomoću različitih tehnika oplemenjivanja, različitih tipova lakova i podloga za štampu, primenom četiri masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u lakovima. Dobijene CIE LAB vrednosti kao i ISO standardom su korišćene za proračun razlika u boji (ΔE^*_{ab}), tabela 6.24.

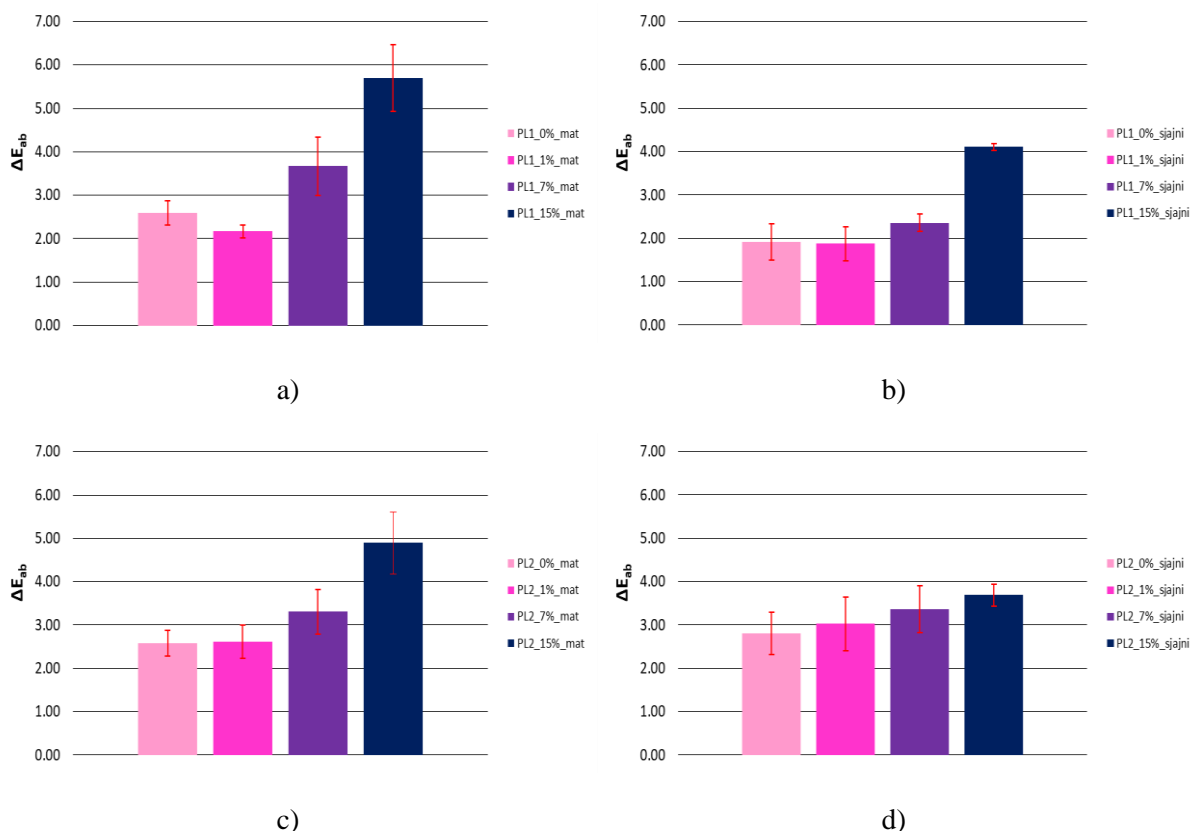
Na slici 6.57 su predstavljene srednje vrednosti rezultata razlika u boji (ΔE^*_{ab}) i vrednosti standardne devijacije, dobijene na štampanim uzorcima magenta bojom, oplemenjenim automatskom tehnikom premazivanja korišćenjem dve vrste laka, četiri različite masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u lakovima i dva tipa podloge za štampu. Sa prikazanih grafika na slici 6.57 se uočava rastući trend vrednosti razlika u boji oplemenjenih otisaka sa povećanjem koncentracije mirisnih mikrokapsula u lakovima. U slučaju oplemenjenih otisaka samo L₁ lakom (bez mikrokapsula) na mat i sjajnom premaznom papiru, dobijene su malo više vrednosti razlike u boji u odnosu na oplemenjene otiske lakom i mikrokapsulama u masenoj koncentraciji od 1%, međutim, svako naredno povećanje masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u laku (7% i 15%) rezultovalo je porastom ΔE^*_{ab} vrednosti (slika 6.57a, 6.57b).

Tabela 6.24. Rezultati CIE LAB vrednosti neoplemenjenog i oplemenjenih otisaka štampanih magenta bojom

Uzorak	Mat premazni papir			Sjajni premazni papir		
	L	a	b	L	a	b
ISO Standard	47,00	73,00	-4,00	47,00	73,00	-4,00
Neoplemenjen	48,95	66,70	-5,52	45,82	70,26	-3,77
PL1_0%	47,22	70,43	-3,70	45,89	72,11	-2,73
PL1_1%	47,08	70,92	-3,39	45,87	72,16	-2,76
PL1_7%	47,82	69,44	-4,31	46,26	71,15	-2,74
PL1_15%	48,96	67,65	-4,21	47,09	69,13	-2,65
PL2_0%	47,27	70,50	-3,41	45,66	72,14	-1,70
PL2_1%	47,27	70,53	-3,19	45,67	72,30	-1,37
PL2_7%	47,54	69,80	-3,38	45,78	71,47	-1,26
PL2_15%	48,41	68,31	-3,72	46,73	70,08	-1,76
FL1_0%	48,12	69,63	-5,68	45,20	72,49	-2,22
FL1_1%	48,09	69,72	-5,46	45,58	72,38	-2,30
FL1_7%	48,45	68,82	-5,21	46,00	71,19	-2,45
FL1_15%	49,13	67,41	-5,29	46,87	69,61	-3,00
FL2_0%	47,17	70,61	-3,63	45,67	72,32	-2,47
FL2_1%	47,57	69,87	-4,26	45,68	71,93	-2,50
FL2_7%	48,52	68,33	-5,05	46,22	70,74	-2,51
FL2_15%	49,11	67,17	-4,90	46,79	69,67	-2,74

Nezavisno od korišćenog tipa laka, na mat premaznom papiru su zabeležene značajno veće razlike u boji u odnosu na oplemenjene otiske na sjajnom premaznom papiru. Registrovane razlike u boji na oplemenjenim otiscima sjajnog premaznog papira se mogu klasifikovati kao: veoma male razlike $1 < \Delta E^*_{ab} < 2$, primetne samo iskusnom posmatraču (uzorci PL1_0%_sjajni i PL1_1%_sjajni); srednje razlike $2 < \Delta E^*_{ab} < 3,5$, primetne i neiskusnom posmatraču (uzorci PL1_7%_sjajni, PL2_0%_sjajni, PL2_1%_sjajni i PL2_7%_sjajni); očigledne razlike u boji $3,5 < \Delta E^*_{ab} < 5$ (uzorci PL1_15%_sjajni i PL2_15%_sjajni). Registrovane razlike u boji na oplemenjenim otiscima mat premaznog papira se mogu klasifikovati kao: srednje razlike $2 < \Delta E^*_{ab} < 3,5$, primetne i neiskusnom posmatraču (uzorci PL1_0%_mat, PL1_1%_mat, PL2_0%_mat, PL2_1%_mat, PL2_7%_mat); očigledne razlike u boji

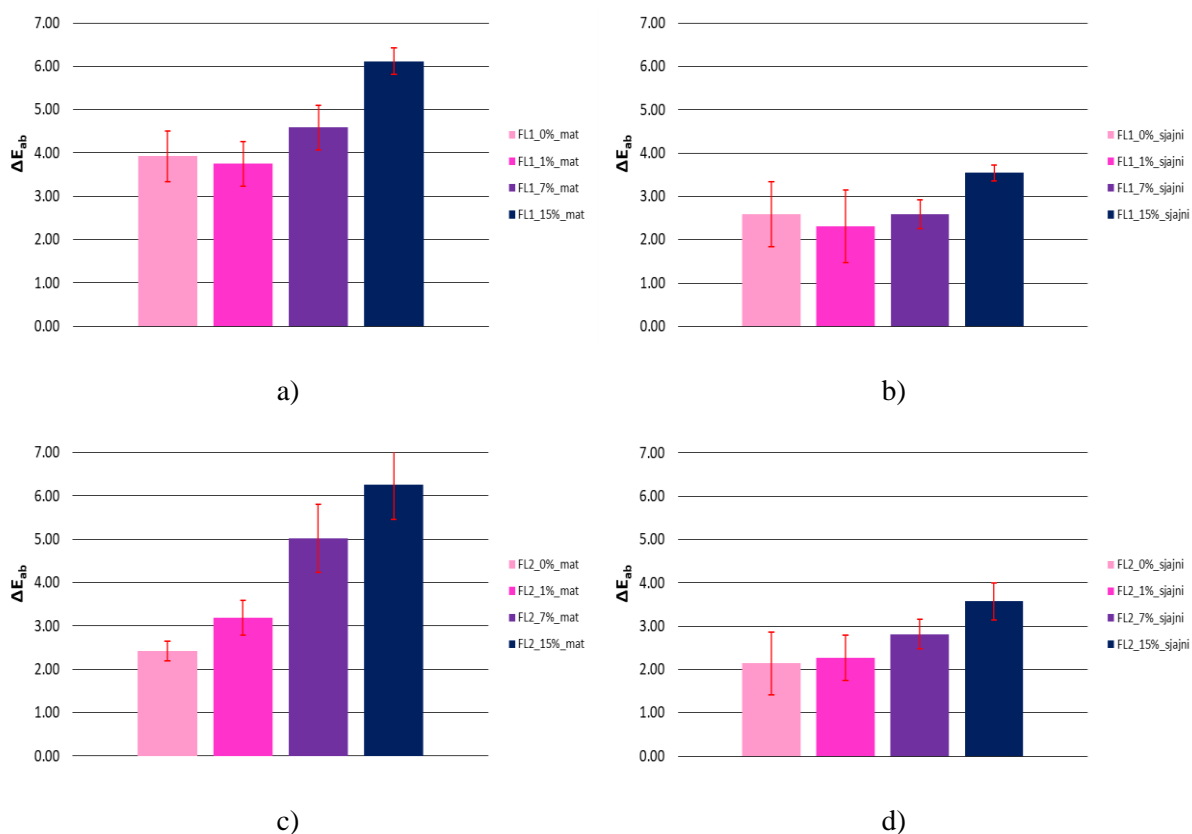
$3,5 < \Delta E^*_{ab} < 5$ (uzorci PL1_7%_mat i PL2_15%_mat); veoma primetne razlike $\Delta E^*_{ab} > 6$ (uzorak PL1_15%_mat). Kod otisaka mat premaznog papira oplemenjenih L₁ lakom su dobijene veće razlike u boji u odnosu na otiske oplemenjene L₂ lakom, dok je obrnut slučaj sa oplemenjenim otiscima na sjajnom premaznom papiru.



Slika 6.57. Rezultati razlika u boji štampanih otisaka magenta bojom, oplemenjenih automatskom tehnikom premazivanja: a) mat premazni papir L₁ lak, b) sjajni premazni papir L₁ lak, c) mat premazni papir L₂ lak, d) sjajni premazni papir L₂ lak

Na slici 6.58 su predstavljene srednje vrednosti rezultata razlika u boji (ΔE^*_{ab}) i vrednosti standardne devijacije, dobijene na štampanim uzorcima magenta bojom, oplemenjenim flekso tehnikom štampe korišćenjem dve vrste laka, četiri različite masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u lakovima i dva tipa podloge za štampu. I u slučaju otisaka oplemenjenih flekso tehnikom štampe prisutan je identičan, rastući trend vrednosti razlika u boji oplemenjenih otisaka sa porastom masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u lakovima, slika 6.58. Kod oplemenjenih otisaka samo sa L₁ lakom (bez mikrokapsula) na mat i sjajnom premaznom papiru, zabeležene su malo više vrednosti razlike u boji u odnosu na oplemenjene otiske lakom i mikrokapsulama u masenoj koncentraciji od 1%, ali svako naredno povećanje masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u laku (7% i 15%) uticalo je na porast ΔE^*_{ab} vrednosti. Na oplemenjenim otiscima mat premaznog papira su zabeležene značajno veće razlike u boji u odnosu na oplemenjene otiske na sjajnom premaznom papiru, bez obzira na tip korišćenog laka. Gotovo sve zabeležene razlike u boji na oplemenjenim otiscima sjajnog premaznog papira pripadaju grupi srednjih razlika ($2 < \Delta E^*_{ab} < 3,5$, primetne i neiskusnom posmatraču). Izuzetak su uzorci

oplemenjeni L₁ i L₂ lakom i masenom koncentracijom mikro kapsula od 15% (uzorci FL1_15%_sjajni i FL2_15%_sjajni), čije razlike u boji spadaju u grupu očiglednih razlika u boji $3,5 < \Delta E^*_{ab} < 5$. Registrovane razlike u boji na oplemenjenim otiscima mat premaznog papira se mogu klasifikovati kao: srednje razlike $2 < \Delta E^*_{ab} < 3,5$, primetne i neiskusnom posmatraču (uzorci FL2_0%_mat i FL2_1%_mat); očigledne razlike u boji $3,5 < \Delta E^*_{ab} < 5$ (uzorci FL1_0%_mat, FL1_1%_mat i FL1_7%_mat, FL2_7%_mat); i veoma primetne razlike u boji $\Delta E^*_{ab} > 6$ (uzorci FL1_15%_mat i FL2_15%_mat). Kod otisaka mat premaznog papira oplemenjenih L₁ lakom dobijene su nešto veće vrednosti razlika u boji u odnosu na otiske oplemenjene L₂ lakom, dok je ta razlika veoma mala u slučaju oplemenjenih otisaka na sjajnom premaznom papiru. Što se tiče registrovanih razlika u boji između oplemenjenih otisaka različitim tehnikama oplemenjivanja, u slučaju mat premaznog papira, veća odstupanja u boji od standardnog uzorka su zabeležena kod otisaka oplemenjenih flekso tehnikom štampe. Kod sjajnog premaznog papira oplemenjenog L₁ lakom veće razlike u boji su zabeležene kod otisaka oplemenjenih flekso tehnikom štampe, dok je kod otisaka oplemenjenih L₂ lakom veća razlika registrovana kod oplemenjenih otisaka automatskom tehnikom premazivanja.



Slika 6.58. Rezultati razlika u boji štampanih otisaka magenta bojom, oplemenjenih flekso tehnikom štampe: a) mat premazni papir L₁ lak, b) sjajni premazni papir L₁ lak, c) mat premazni papir L₂ lak, d) sjajni premazni papir L₂ lak

U tabelama 6.25 i 6.26 su predstavljeni rezultati statističke analize dobijenih vrednosti razlika u boji na štampanim otiscima cijan bojom, oplemenjenim različitim lakovima bez i sa različitim masenim koncentracijama mirisnih mikro kapsula u lakovima, na različitim podlogama za štampu pomoću

različitih tehnika oplemenjivanja. Na osnovu statističkih analiza koje su urađene, dobijeni su rezultati statističke značajnosti uticaja (p) svake od nezavisnih promenljivih u procesu oplemenjivanja (tehnika oplemenjivanja, koncentracija mikrokapsula, tip laka i podloge za štampu), kao i rezultati eta kvadrata, koji ukazuje na veličinu uticaja svakog od faktora na posmatranu izlaznu veličinu.

Tabela 6.25. Rezultati statističke analize vrednosti razlike u boji oplemenjenih otisaka cijan boje

Tip analize	Ispitivani faktori	p	Eta kvadrat
1. Dvofaktorska analiza varijanse	tehnika*lak	0,020	0,014
	tehnika	0,655	0,001
	lak	0,006	0,019
1.1 T-test nezavisnih uzoraka	uticaj tipa laka kod aut. teh. prem.	0,358	0,000
1.2 T-test nezavisnih uzoraka	uticaj tipa laka kod flekso tehnike	0,000	0,088
1.3 T-test nezavisnih uzoraka	uticaj tehnike kod ot. opl. L₁ lakom	0,034	0,024
1.4 T-test nezavisnih uzoraka	uticaj tehnike kod ot. opl. L₂ lakom	0,213	0,008
2. Dvofaktorska analiza varijanse	tehnika*podloga	0,000	0,042
	tehnika	0,500	0,001
	podloga	0,000	0,568
2.1 T-test nezavisnih uzoraka	uticaj tehnike kod opl. ot. mat pap.	0,003	0,047
2.2 T-test nezavisnih uzoraka	uticaj tehnike kod opl. ot. sjajnog pap.	0,555	0,039
2.3 T-test nezavisnih uzoraka	uticaj podloge kod aut. teh. prem.	0,000	0,623
2.4 T-test nezavisnih uzoraka	uticaj podloge kod flekso tehnike	0,515	0,001
3. Dvofaktorska analiza varijanse	tehnika*koncentracija	0,408	0,008
	tehnika	0,634	0,001
	koncentracija	0,000	0,151
4. Dvofaktorska analiza varijanse	lak*podloga	0,061	0,009
	lak	0,000	0,043
	podloga	0,000	0,570

Izvršena multifaktorska analiza varijanse je pokazala da na razlike u boji oplemenjenih otisaka statistički značajan uticaj ($p < 0,05$) nema samo tehnika oplemenjivanja ($p = 0,218$, eta kvadrat = 0,004) i interakcija sva četiri varirana faktora prilikom procesa oplemenjivanja (tehnika*lak*podloga*koncentracija: $p = 0,106$, eta kvadrat = 0,017), tabela 11.7 (Prilog 1). Takođe, dobijeni rezultati pokazuju da je zaseban uticaj svakog od faktora (osim tehnike oplemenjivanja), kao i uticaj interakcije svih parova faktora statistički značajan, zbog čega su izvršene i dodatne dvofaktorske analize varijanse kako bi se dati uticaji detaljnije analizirali i obrazložili, tabela 11.7 (Prilog 1).

Tabela 6.26. Rezultati statističke analize vrednosti razlike u boji oplemenjenih otisaka cijan boje

5. Dvofaktorska analiza varijanse	lak*koncentracija		0,003	0,036
	lak		0,003	0,023
	koncentracija		0,000	0,157
5.1 Jednofaktorska analiza varijanse	uticaj koncentracije kod ot. opl. L₁ lak.		0,000	0,249
5.2 Tukijev HSD test	(I) Koncentracija	(J) Koncentracija		
	0%	1%	1,000	-
		7%	0,122	-
		15%	0,000	-
	1%	7%	0,135	-
		15%	0,000	-
	7%	15%	0,000	-
5.3 Jednofaktorska analiza varijanse	uticaj koncentracije kod ot. opl. L₂ lak.		0,000	0,133
5.4 Tukijev HSD test	(I) Koncentracija	(J) Koncentracija		
	0%	1%	0,003	-
		7%	0,122	-
		15%	0,504	-
	1%	7%	0,575	-
		15%	0,000	-
	7%	15%	0,002	-
6. Dvofaktorska analiza varijanse	podloga*koncentracija		0,000	0,079
	podloga		0,000	0,673
	koncentracija		0,000	0,357
6.1 Jednofaktorska analiza varijanse	uticaj koncentracije kod mat pap.		0,000	0,185
6.2 Tukijev HSD test	(I) Koncentracija	(J) Koncentracija		
	0%	1%	0,000	-
		7%	0,088	-
		15%	0,174	-
	1%	7%	0,346	-
		15%	0,000	-
	7%	15%	0,000	-
6.3 Jednofaktorska analiza varijanse	uticaj koncentracije kod sjajnog pap.		0,000	0,723
6.4 Tukijev HSD test	(I) Koncentracija	(J) Koncentracija		
	0%	1%	0,085	-
		7%	0,001	-
		15%	0,000	-
	1%	7%	0,000	-
		15%	0,000	-
	7%	15%	0,000	-

Obzirom da su se za statističku analizu koristile samo zabeležene razlike u boji oplemenjenih otisaka prethodno štampanih cijan bojom, utvrđeno je da je uticaj tehnike oplemenjivanja na rezultujuće razlike u boji oplemenjenih otisaka, jedino bio statističku značajan u slučaju otisaka oplemenjenih L₁ lakom ($p=0,034$, eta kvadrat=0,024) kao i oplemenjenih otisaka na mat premaznom papiru ($p=0,003$, eta kvadrat=0,047), tabela 6.25. Iako je postojala statistička značajnost ovog faktora, njegov uticaj spada u red malih uticaja, što pokazuju dobijene vrednosti eta kvadrata. Faktor sa nešto većim uticajem na vrednosti razlika u boji je tip korišćenog laka. Dvofaktorskom analizom uticaja tipa laka i podloge, na dobijene vrednosti razlike u boji, utvrđen je statistički značajan uticaj tipa korišćenog laka ($p=0,000$, eta kvadrat=0,043). Takođe, uticaj ovog faktora je viši (srednjeg nivoa) kod otisaka oplemenjenih flekso tehnikom štampe ($p=0,000$, eta kvadrat=0,088), tabela 6.25. Tip podloge za štampu se pokazao kao statistički značajan faktor sa velikim uticajem na posmatranu zavisnu promenljivu, obzirom na dobijene vrednosti eta kvadrata, što potvrđuje svaka izvršena dvofaktorska analiza varijanse, tabele 6.25 i 6.26. Uticaj podloge za štampu je bio izrazitiji u slučaju otisaka oplemenjenih automatskom tehnikom premazivanja ($p=0,000$, eta kvadrat=0,623), tabela 6.25. Koncentracija mirisnih mikrokapsula u lakovima predstavlja dominantan, odnosno najuticajniji faktor na dobijene razlike u boji, bez obzira na tip korišćene podloge za štampu, laka i tehniku oplemenjivanja (tabele 6.25 i 6.26).

6.2.3.5.1.6 Analiza rezultata beline i žutoće neoplemenjenih i oplemenjenih premaznih papira

U tabeli 6.27 su predstavljene srednje vrednosti izmerene beline i žutoće (W_{CIE} i Y_{1925}) na neoplemenjenim mat i sjajnim premaznim papirima, kao i na oplemenjenim uzorcima ovih papira, korišćenjem različitih tipova lakova, masenih koncentracija mirisnih mikrokapsula u lakovima i tehnika oplemenjivanja. Na osnovu predstavljenih rezultata u priloženoj tabeli 6.27, vidi se da se postupkom oplemenjivanja dobijaju papiri manje beline, a veće žutoće, bez obzira na korišćeni premazni papir, lak, koncentraciju mikrokapsula, kao i primenjenu tehniku oplemenjivanja. Uočava se generalno rastući trend rezultata beline i opadajući trend vrednosti žutoće, sa povećanjem masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u lakovima. Ovo je posebno primetno kod uzoraka oplemenjenih najvišom masenom koncentracijom mirisnih mikrokapsula u lakovima, tabela 6.27. Oplemenjeni uzorci L₁ lakom pomoću automatske tehnike premazivanja i iste koncentracije mirisnih mikrokapsula u laku, imaju više vrednosti beline bez obzira na korišćeni premazni papir (izuzetak je PL1_7%_mat uzorak), tabela 6.27. Uzorci oplemenjeni flekso tehnikom štampe na mat premaznom papiru pokazuju slična svojstva, tj. veća belina je registrovana na uzorcima oplemenjenim L₁ lakom (osim u slučaju FL1_7% uzorka).

Kod uzoraka sjajnog premaznog papira (FL1_0%_sjajni i FL1_7%_sjajni), oplemenjenih tehnikom flekso štampe, L₁ lakom, zabeležene su više vrednosti beline u odnosu na uzorke oplemenjene L₂ lakom, dok je obrnut slučaj sa uzorcima FL1_1%_sjajni i FL1_15%_sjajni. Međutim, ako bismo posmatrali samo uzorke oplemenjene lakovima bez mikrokapsula, vidi se da L₁ lak omogućava uzorke veće beline i manje žutoće nezavisno od korišćenog premaznog papira i tehnike oplemenjivanja. Razlog je sastav L₁ laka koji poseduje čestice polietilenskog voska bele boje.

Obzirom da sjajni premazni papir poseduje superiornije optičke osobine u odnosu na mat premazni papir, i oplemenjeni uzorci ovog papira su pokazali bolje karakteristike beline i žutoće u odnosu na oplemenjene uzorke mat premaznog papira. Oplemenjivanjem uzoraka automatskom tehnikom premazivanja, generalno su dobijeni uzorci manje beline i veće žutoće u odnosu na uzorke oplemenjene flekso tehnikom štampe, za isti tip korišćenog papira, laka i masenu koncentraciju mirisnih mikrokapsula u laku. Izuzetak su oplemenjeni uzorci sjajnog premaznog papira PL1_1%_sjajni i

PL1_15%_sjajni, gde su zabeležene više vrednosti beline i manje vrednosti žutoće u odnosu na uzorke oplemenjene istim lakom i koncentracijom mikrokapsula u njemu, flekso tehnikom štampe. Obzirom na optičke karakteristike korišćenih lakova (transparencija i boja) kao i činjenice da se automatskom tehnikom premazivanja postiže deblji oplemenjeni sloj laka na površini papira.

Tabela 6.27. Belina i žutoća neoplemenjenih i oplemenjenih mat i sjajnih premaznih papira

Uzorak	W _{CIE}	Y ₁₉₂₅	Uzorak	W _{CIE}	Y ₁₉₂₅
Mat_papir	99,95	-6,86	Sjajni_papir	101,44	-8,00
PL1_0%_mat	96,57	-6,60	PL1_0%_sjajni	99,22	-7,91
PL1_1%_mat	96,75	-6,46	PL1_1%_sjajni	99,23	-7,87
PL1_7%_mat	96,28	-6,57	PL1_7%_sjajni	99,17	-7,92
PL1_15%_mat	97,20	-6,57	PL1_15%_sjajni	99,60	-8,09
PL2_0%_mat	96,03	-6,41	PL2_0%_sjajni	97,67	-7,51
PL2_1%_mat	96,47	-6,61	PL2_1%_sjajni	98,56	-7,67
PL2_7%_mat	96,37	-6,52	PL2_7%_sjajni	98,08	-7,61
PL2_15%_mat	97,11	-6,81	PL2_15%_sjajni	98,89	-7,74
FL1_0%_mat	97,99	-7,09	FL1_0%_sjajni	99,27	-8,15
FL1_1%_mat	97,53	-6,96	FL1_1%_sjajni	98,89	-7,78
FL1_7%_mat	97,75	-6,99	FL1_7%_sjajni	99,23	-7,90
FL1_15%_mat	98,27	-7,06	FL1_15%_sjajni	99,26	-7,98
FL2_0%_mat	96,95	-6,75	FL2_0%_sjajni	98,75	-7,81
FL2_1%_mat	96,98	-6,81	FL2_1%_sjajni	98,92	-7,91
FL2_7%_mat	98,13	-7,26	FL2_7%_sjajni	99,19	-7,98
FL2_15%_mat	98,20	-7,15	FL2_15%_sjajni	99,38	-8,07

6.2.3.6 Analiza distribucije mirisnih mikrokapsula u oplemenjenom sloju laka

Određivanje uniformnosti distribucije, odnosno pravilnosti rasporeda apliciranih mirisnih mikrokapsula na oplemenjenom sloju laka, trebalo bi da obezbedi informaciju o tome koja tehnika oplemenjivanja, tip laka i podloge za štampu omogućava najuniformniju distribuciju, čime bi se doprinelo boljoj funkcionalnosti i dugotrajnosti oplemenjenih otisaka.

Određivanje uniformnosti distribucije apliciranih mirisnih mikrokapsula je vršeno na otiscima punog tona cijan boje, oplemenjenim mirisnim mikrokapsulama u masenoj koncentraciji od 15% u lakovima (L₁ i L₂), primenom obe tehnike oplemenjivanja, koristeći dva tipa premaznih papira. Merenja su izvršena pomoću prethodno izrađenih SEM slika oplemenjenih površina sa uveličanjem od 500×, na prethodno opisan način u okviru poglavlja 5.2.6.6 *Određivanje distribucije mirisnih mikrokapsula u oplemenjenom sloju laka.*

Parametri koji su korišćeni za karakterizaciju uniformnosti distribucije apliciranih mirisnih mikrokapsula u oplemenjenom sloju laka su dati u nastavku:

n – broj registrovanih mikrokapsula,

n_{min} – minimalni broj/površina koju registrovane mikrokapsule pokrivaju po segmentu slike,

n_{max} – minimalni broj/površina koju registrovane mikrokapsule pokrivaju po segmentu slike,

A – površina [μ/m^2],

\bar{x}_s – srednja vrednost broja/površine mikrokapsula po segmentu slike,

\bar{x}_u – srednja vrednost broja/površine mikrokapsula po uzorku (slici),

σ – standardna devijacija broja registrovanih mikrokapsula po segmentu slike svih merenja,

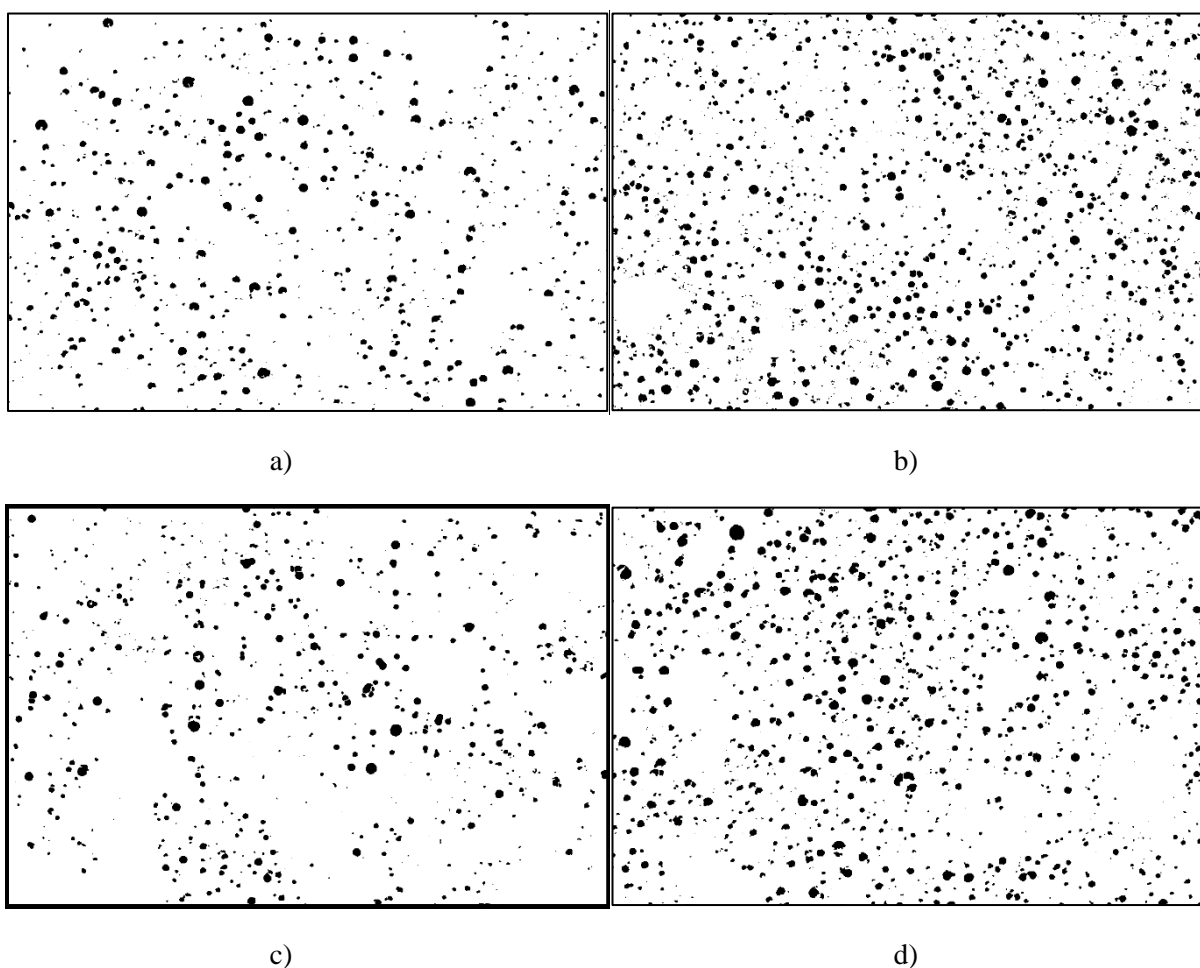
S_k – koeficijent asimetrije distribucije (indeks distribucije).

Nakon utvrđenog broja mikrokapsula i površine koje one zauzimaju na svakom podregionu slike, izračunava se vrednost indeksa distribucije, odnosno koeficijenta asimetrije distribucije (S_k) (jednačina 2.3), koji će biti korišćen kao primarni parametar za opis uniformnosti distribucije mikrokapsula na oplemenjenim otiscima. Velika odstupanja u broju registrovanih mikrokapsula u različitim podregionima slike je znak loše distribucije mikrokapsula (vrlo visoke ili vrlo niske vrednosti koeficijenta asimetrije), dok bi pri potpuno uniformnom rasporedu mikrokapsula (normalna distribucija), odnosno jednakom broju mikrokapsula u svakom od 25 podregiona slike, vrednost koeficijenta asimetrije distribucije trebalo da bude $S_k=0$.

U tabeli 6.28 su predstavljene vrednosti parametara pomoću kojih je izvršena analiza uniformnosti distribucije, odnosno uniformnosti rasporeda apliciranih mirisnih mikrokapsula u oplemenjenom sloju laka za otiske mat premaznog papira, oplemenjenih L_1 i L_2 lakom pomoću automatske tehnike premazivanja i flekso tehnike štampe. Iz predstavljenih rezultata u tabeli 6.28, vidi se da je na otiscima oplemenjenim automatskom tehnikom premazivanja registrovan znatno manji, kako ukupan broj mirisnih mikrokapsula, tako i broj mikrokapsula po analiziranom segmentu slike, u odnosu na oplemenjene otiske flekso tehnikom štampe, bez obzira na korišćeni tip laka. Ovo se može uočiti i na binarizovanim slikama oplemenjenih površina mat premaznog papira različitim tehnikama oplemenjivama pomoću dva laka, slika 6.59. Takođe, na otiscima oplemenjenim automatskom tehnikom premazivanja je zabeležena i manja površina koju detektovane mirisne mikrokapsule prekrivaju (kako ukupno tako i po segmentu analizirane slike). Kod otisaka oplemenjenih L_1 lakom (uzorci PL1_15%_mat i FL1_15%_mat), razlika između registrovanog broja mikrokapsula i površine koju one prekrivaju na otiscima oplemenjenim različitim tehnikama je nešto manja u odnosu na prisutnu razliku kod otiskaka oplemenjenih L_2 lakom (uzorci PL2_15%_mat i FL2_15%_mat). Korišćenjem L_1 laka je zabeležen veći broj mikrokapsula na površini oplemenjenog otiska automatskom tehnikom premazivanja u odnosu na oplemenjeni otisak istom tehnikom pomoću L_2 laka, dok je u slučaju oplemenjivanja flekso tehnikom štampe, veći broj mirisnih mikrokapsula detektovan na otisku oplemenjenom L_2 lakom.

Tabela 6.28. Rezultati distribucije mikrokapsula oplemenjenh otisaka mat premaznog papira

Uzorak	PL1_15%_mat		FL1_15%_mat		PL2_15%_mat		FL2_15%_mat	
Parametar	<i>n</i>	<i>A</i> [μm^2]	<i>n</i>	<i>A</i> [μm^2]	<i>n</i>	<i>A</i> [μm^2]	<i>n</i>	<i>A</i> [μm^2]
\bar{x}_s	38,55	80,52	46,56	88,62	29,01	57,26	50,32	100,46
\bar{x}_u	964	2.013	1.164	2.216	725	1.431	1.258	2.511
n_{min}	13	24,92	27	42,70	10	15,91	21	33,49
n_{max}	61	142,46	63	160,32	53	132,70	72	168,25
σ	9,34	27,27	7,23	23,76	10,01	28,24	13,52	34,67
S_k	0,008	0,315	-0,152	0,655	0,375	0,440	-0,274	-0,006



Slika 6.59. Izgled obrađenih SEM slika za analizu distribucije mikrokapsula oplemenjenih otisaka mat premaznog papira: a) PL1_15%_mat, b) FL1_15%_mat, c) PL2_15%_mat, d) FL2_15%_mat

Pored izračunatih vrednosti aritmetičke sredine odgovarajućih parametara, kao jedne od mera centralne tendencije, za karakterizaciju uniformnosti distribucije mikrokapsula u oplemenjenim otiscima, korišćene su i apsolutne mere varijabilnosti, raspon (razlika između maksimalne i minimalne vrednosti)

i standardna devijacija. Posmatrajući samo dobijene vrednosti standardne devijacije, reklo bi se da uniformniju distribuciju mikrokapsula, odnosno distribuciju koja je bliža normalnoj (Gausovoj), ima oplemenjeni uzorak FL1_15%_mat u odnosu na PL1_15%_mat, kako u pogledu registrovanog broja mikrokapsula, tako i u pogledu zabeležene površine koju one prekrivaju na oplemenjenom otisku. Međutim, informacije koje se dobijaju pomoću relativnih statističkih mera varijabilnosti, kao što je koeficijent asimetrije distribucije (S_k), omogućavaju bolje definisanje oblika distribucije dobijenih rezultata, odnosno distribucije mirisnih mikrokapsula. Obzirom da vrednost asimetrije distribucije $S_k=0$ odgovara uniformnoj, simetričnoj distribuciji, možemo konstatovati da je distribucija apliciranih mirisnih mikrokapsula na PL1_15%_mat uzorku najbliža normalnoj, Gausovoj raspodeli. Odnosno, da je u slučaju oplemenjenih otisaka L_1 lakom automatskom tehnikom premazivanja dobijen oplemenjeni sloj sa pravilnijim rasporedom mirisnih mikrokapsula (preciznije, distribucija je blago pozitivno asimetrična u slučaju oba razmatrana parametra kod ovog uzorka: n i A) u odnosu na oplemenjeni otisak istim lakom pomoću flekso tehnike štampe (FL1_15%_mat uzorak). Kod FL1_15%_mat oplemenjenog otiska, distribucija mirisnih mikrokapsula je u slučaju n parametra blago negativno asimetrična, dok je za A parametar ona umereno pozitivno asimetrična.

Što se tiče oplemenjenih otisaka L_2 lakom, uprkos višim vrednostima standardne devijacije (kako za n , tako i za A parametar) pravilniji raspored mirisnih mikrokapsula na površini je registrovan na otisku oplemenjenom flekso tehnikom štampe (FL2_15%_mat) u odnosu na oplemenjeni otisak automatskom tehnikom premazivanja (PL2_15%_mat), obzirom da su izračunate vrednosti indeksa distribucije, tj. koeficijenta asimetrije distribucije, S_k (za oba parametra: n i A) kod FL2_15%_mat uzorka bliže nuli (tabela 6.25). Distribucija mirisnih mikrokapsula je kod FL2_15%_mat uzorka u slučaju n i A parametra blago negativno asimetrična, dok je u slučaju PL2_15%_mat uzorka ona blago pozitivno asimetrična.

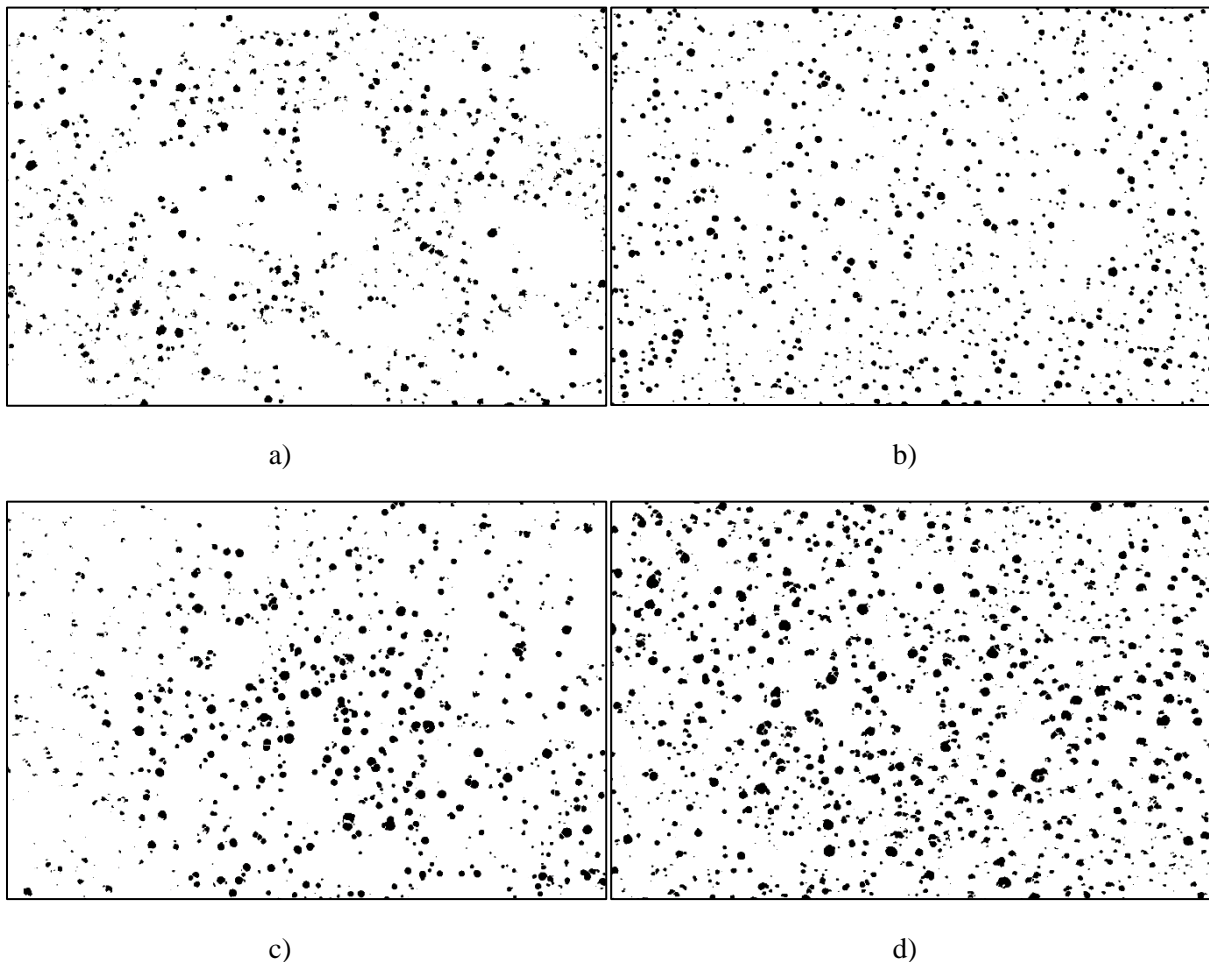
U tabeli 6.29 su predstavljene vrednosti parametara potrebnih za analizu uniformnosti distribucije mirisnih mikrokapsula u oplemenjenom sloju laka na sjajnom premaznom papiru, oplemenjenog L_1 i L_2 lakom korišćenjem automatske tehnike premazivanja i flekso tehnike štampe.

Tabela 6.29. Rezultati distribucije mikrokapsula oplemenjenih otisaka sjajnog premaznog papira

Uzorak	PL1_15%_sjajni		FL1_15%_sjajni		PL2_15%_sjajni		FL2_15%_sjajni	
Parametar	n	A [μm^2]	n	A [μm^2]	n	A [μm^2]	n	A [μm^2]
\bar{x}_s	26,53	60,04	37,21	82,44	28,77	72,68	36,20	84,11
\bar{x}_u	663	1.501	930	2.061	719	1.816	905	2.102
n_{min}	8	14,01	17	23,57	12	10,71	20	27,70
n_{max}	45	145,83	58	141,63	50	162,14	54	138,81
σ	8,45	28,42	7,52	24,51	7,81	33,69	7,98	27,42
S_k	-0,220	0,975	-0,017	0,330	0,303	0,134	0,187	-0,104

Na osnovu predstavljenih rezultata u tabeli 6.29, može se uočiti da je na otiscima oplemenjenim flekso tehnikom štampe u odnosu na oplemenjene otiske automatskom tehnikom premazivanja, kao i u slučaju oplemenjenih otisaka na mat premaznom papiru, detektovan znatno veći i ukupan broj mirisnih mikrokapsula po uzorku (slici), kao i ukupan broj mikrokapsula po analiziranom podregionu slike, bez

obzira na korišćeni tip laka. Veći broj mirisnih mikrokapsula se takođe može uočiti i na segmentisanim slikama (bitmapama) oplemenjenih površina sjajnog premaznog papira pomoću različitih lakova i tehnika oplemenjivanja, slika 6.60. Pored manjeg broja registrovanih mirisnih mikrokapsula, na otiscima oplemenjenim automatskom tehnikom premazivanja je zabeležena i manja površina koju detektovane mirisne mikrokapsule prekrivaju (i ukupno i po segmentu analizirane slike). U slučaju oplemenjenih otisaka sjajnog premaznog papira, razlika u ukupnom broju registrovanih mikrokapsula i površine koju one prekrivaju na oplemenjenim slojevima je manja između otisaka oplemenjenih različitim tehnikama i L₂ lakom (uzorci PL2_15%_mat i FL2_15%_mat) u odnosu na otiske oplemenjene različitim tehnikama L₁ lakom (uzorci PL1_15%_sjajni i FL1_15%_sjajni). Takođe, u okviru flekso tehnike štampe korišćenjem L₁ laka, dobijene su funkcionalne površine sa većim brojem mikrokapsula u odnosu na otiske oplemenjene L₂ lakom, dok je obrnuta situacija u slučaju oplemenjenih otisaka automatskom tehnikom premazivanja (na otiscima oplemenjenim L₂ lakom je zabeležen veći broj mikrokapsula).



Slika 6.60. Izgled obrađenih SEM slika za analizu distribucije mikrokapsula oplemenjenih otisaka sjajnog premaznog papira: a) PL1_15%_sjajni, b) FL1_15%_sjajni, c) PL2_15%_sjajni, d) FL2_15%_sjajni

U slučaju otisaka oplemenjenih L_1 lakom, i vrednosti standardne devijacije (σ) kao i vrednosti koeficijenta asimetrije distribucije (S_k) za oba posmatrana parametra (n – broj mikrokapsula i A – površina koju mikrokapsule prekrivaju) ukazuju na pravilniji raspored apliciranih mirisnih mikrokapsula na oplemenjenim otiscima flekso tehnikom štampe (FL1_15%_sjajni uzorak) u odnosu na otiske oplemenjene istim lakom pomoću automatske tehnike premazivanja (PL1_15%_sjajni uzorak). Distribucija apliciranih mirisnih mikrokapsula je kod otisaka oplemenjenih L_1 lakom u slučaju obe tehnike oplemenjivanja blago negativno asimetrična (za n parametar), odnosno za A parametar blago pozitivno asimetrična kod otisaka oplemenjenih flekso tehnikom štampe i umereno pozitivno asimetrična kod otisaka oplemenjenih automatskom tehnikom premazivanja. Iako je u slučaju oplemenjenog otiska L_2 lakom, automatskom tehnikom premazivanja (PL2_15%_sjajni uzorak) zabeležena manja vrednost standardne devijacije n parametra u odnosu na otisak oplemenjen flekso tehnikom štampe, istim lakom, vrednosti koeficijenta asimetrije distribucije daju indicaciju uniformnije distribucije (i za parametar registrovanog broja mikrokapsula i za parametar površine koju one zauzimaju) otiska oplemenjenog flekso tehnikom štampe (FL2_15%_sjajni uzorak). Distribucija mirisnih mikrokapsula je kod PL2_15%_sjajnog uzorka u slučaju oba razmatrana parametra (n i A) blago pozitivno asimetrična, dok je u slučaju FL2_15%_sjajnog uzorka, za n parametar distribucija mirisnih mikrokapsula blago pozitivno asimetrična, a u slučaju A parametra blago negativno asimetrična.

U nastavku je izvršeno poređenje broja registrovanih mirisnih mikrokapsula, površine koju one zauzimaju, kao i uniformnosti njihove distribucije na oplemenjenim otiscima različitih premaznih papira. Veći broj mirisnih mikrokapsula kao i veća površina koju one prekrivaju je generalno zabeležena kod mat premaznog papira u odnosu na sjajni premazni papir u slučaju otisaka oplemenjenih L_1 lakom korišćenjem obe tehnike oplemenjivanja. Otisci mat premaznog papira oplemenjeni automatskom tehnikom premazivanja L_1 lakom su za oba parametra (n i A) pokazala ravnomerniju distribuciju apliciranih mikrokapsula u odnosu na otiske sjajnog premaznog papira koji su na isti način oplemenjeni. Obrnuta je situacija sa oplemenjenim otiscima flekso tehnikom štampe, L_1 lakom, gde je bolja distribucija mirisnih mikrokapsula (za oba razmatrana parametra) zabeležena na oplemenjenim otiscima sjajnog premaznog papira (tabela 6.28 i 6.29).

Kod otisaka oplemenjenih automatskom tehnikom premazivanja L_2 lakom, vrlo sličan broj mirisnih mikrokapsula je registrovan na oba premazna papira, ali je veća površina koju prekrivaju zabeležena na sjajnom premaznom papiru. Takođe, na otiscima sjajnog premaznog papira oplemenjenih ovom tehnikom, L_2 lakom, ustanovljena je bolja, ravnomernija distribucija mirisnih mikrokapsula (za oba razmatrana parametra). Kod oplemenjenih otisaka L_2 lakom, korišćenjem flekso tehnike štampe, znatno veći broj mikrokapsula, kao i veća površina koju one prekrivaju je zabeležena u slučaju oplemenjenih otisaka na mat premaznom papiru. Kod ovih otisaka, ako posmatramo koeficijent asimetrije distribucije za registrovani broj mikrokapsula u svakom segmentu analizirane slike (n parametar), uniformniju distribuciju mikrokapsula ima oplemenjeni otisak na sjajnom premaznom papiru. Međutim, ukoliko obratimo pažnju na koeficijent asimetrije distribucije za površinu koju zauzimaju registrovane mikrokapsule u svakom segmentu analizirane slike (A parametar), uniformniji raspored, odnosno pravilniju distribuju na površini oplemenjenog otiska imaju oplemenjeni otisci mat premaznog papira (tabela 6.28 i 6.29).

U tabeli 6.30 su predstavljene dobijene vrednosti statističke analize rezultata distribucije mirisnih mikrokapsula na oplemenjenim otiscima, odnosno analize rezultata broja registrovanih mikrokapsula u svakom podregionu analiziranih SEM slika. Na osnovu sprovedenih statističkih analiza (multifaktorske

i dvofaktorskih analiza varijanse, kao i T-testova nezavisnih uzoraka), dobijeni su rezultati statističke značajnosti uticaja (p) svakog od variranih faktora u procesu oplemenjivanja, odnosno nezavisnih promenljivih (tehnika oplemenjivanja, tip laka i podloge za štampu). Takođe, dobijeni su i rezultati eta kvadrata, pokazatelja veličine uticaja svakog od faktora na distribuciju mirisnih mikrokapsula, odnosno na broj registrovanih mirisnih mikrokapsula u svakom podregionu analiziranih SEM slika.

Izvršena multifaktorska analiza varijanse je pokazala da na distribuciju mirisnih mikrokapsula na površini apliciranih funkcionalnih premaza, odnosno na broj registrovanih mikrokapsula po podregionu SEM slika, statistički značajan uticaj ($p < 0,05$) imaju svi pojedinačni faktori (osim tipa korišćenog laka, $p = 0,130$). Takođe i interakcija sva tri faktora (tehnika*lak*podloga: $p = 0,000$), kao i interakcija svih kombinacija parova faktora (tehnika*lak: $p = 0,000$; tehnika*podloga: $p = 0,000$; lak*podloga: $p = 0,020$), imaju statistički značajan uticaj na posmatranu zavisnu promenljivu, tabela 11.8 (Prilog 1). Zbog toga su izvršene dodatne dvofaktorske analize varijanse, kao i T-testovi nezavisnih uzoraka, kako bi se ovi uticaji detaljnije analizirali (tabela 6.30).

Tabela 6.30. Rezultati statističke analize distribucije oplemenjenih otisaka

Tip analize	Ispitivani faktori	p	Eta kvadrat
1. Dvofaktorska analiza varijanse	tehnika*lak	0,004	0,014
	tehnika	0,000	0,242
	lak	0,187	0,003
1.1 T-test nezavisnih uzoraka	uticaj tipa laka kod aut. teh. prem.	0,119	0,033
1.2 T-test nezavisnih uzoraka	uticaj tipa laka kod flekso tehnike	0,287	0,004
1.3 T-test nezavisnih uzoraka	uticaj tehnike opl. kod otis. opl. L₁ lakom	0,000	0,187
1.4 T-test nezavisnih uzoraka	uticaj tehnike opl. kod otis. opl. L₂ lakom	0,000	0,291
2. Dvofaktorska analiza varijanse	tehnika*podloga	0,000	0,021
	tehnika	0,000	0,280
	podloga	0,000	0,181
2.1 T-test nezavisnih uzoraka	uticaj tipa podloge kod aut. teh. prem.	0,000	0,094
2.2 T-test nezavisnih uzoraka	uticaj tipa podloge kod flekso tehnike	0,000	0,278
2.3 T-test nezavisnih uzoraka	uticaj tehnike opl. kod otis. mat p. p.	0,953	0,341
2.4 T-test nezavisnih uzoraka	uticaj tehnike opl. kod otis. sjanog p. p.	0,463	0,245
3. Dvofaktorska analiza varijanse	lak*podloga	0,058	0,006
	lak	0,217	0,003
	podloga	0,000	0,136

Dvofaktorskim analizama varijanse kao i T-testovima nezavisnih uzoraka je utvrđeno da tip korišćenog laka nema signifikantan uticaj ($p > 0,05$) na distribuciju mirisnih mikrokapsula na površini oplemenjenih otisaka, tabela 6.30. Uticaj tehnike oplemenjivanja na distribuciju mikrokapsula jeste statistički značajan, i to bez obzira na primenjeni tip laka, a uticaj ovog faktora je izraženiji kod otisaka oplemenjenih **L₂** lakom, obzirom na dobijene vrednosti eta kvadrata (**L₂**: $p = 0,000$, eta kvadrat=0,291; **L₁**: $p = 0,000$, eta kvadrat=0,187), tabela 6.30. Međutim, na osnovu izvršenih T-testova, pomoću kojih je

ispitan uticaj tipa podloge na distribuciju mirisnih mikrokapsula u okviru svake od tehnika oplemenjivanja, kao i uticaj tehnike oplemenjivanja na distribuciju mikrokapsula na oplemenjenim otiscima od istog premaznog papira, nije zabeležen statistički značajan uticaj tehnike oplemenjivanja (tabela 6.30). Takođe, postoji i statistički značajan uticaj korišćenih podloga za štampu na posmatranu zavisnu promenljivu, bez obzira na primenjeni tip laka i tehniku oplemenjivanja, dok je veći uticaj zabeležen na otiscima oplemenjenim flekso tehnikom štampe (flekso tehnika: $p=0,000$, eta kvadrat= $0,278$; automatska tehnika premazivanja: $p=0,000$, eta kvadrat= $0,094$).

6.2.3.7 Analiza prisustva i intenziteta prisutnog mirisa u oplemenjenim otiscima

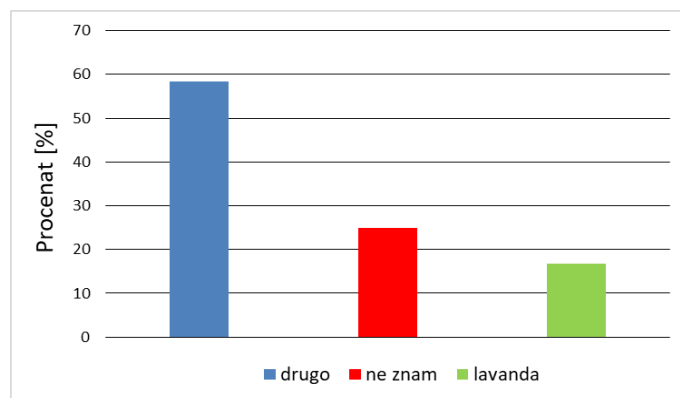
Cilj ovog segmenta doktorata je pored ispitivanja funkcionalnih karakteristika oplemenjenih površina i dužine trajanja njihovih funkcionalnih osobina tokom simuliranog perioda eksploatacije od deset nedelja, da se utvrdi i koja tehnika oplemenjivanja daje bolje rezultate u pogledu ove, najbitnije osobine svih funkcionalnih površina sa mirisima.

Za test prisustva i intenziteta prisutnog mirisa su, kao što je već navedeno u metodama, korišćeni otisci mat premaznog papira štampani ofset tehnikom (pun ton cijan boje), oplemenjeni mirisnim mikrokapsulama (kombinacija esencijalnih ulja sa mirisom žalfije, ruzmarina i lavande; Melamin, Slovenija) u masenoj koncentraciji u L₁ laku od 15%, koristeći za postupak oplemenjivanja automatsku tehniku premazivanja i flekso tehniku štampe.

Ispitivanje je obavljeno subjektivnom metodom pomoću ispitanika koji su ocenjivali intenzitet prisutnog mirisa uzoraka i na osnovu toga ih rangirali. U testu ispitivanja intenziteta mirisa je učestvovalo ukupno 12 ispitanika (5 žena i 7 muškaraca) životne dobi između 26 i 66 godina, a testiranje je trajalo ukupno 10 nedelja (6 test termina). Za svakog ispitanika su pripremljena dva seta po šest uzoraka (6 uzoraka oplemenjenih flekso tehnikom štampe obeleženih F1 – F6 i 6 uzoraka oplemenjenih automatskom tehnikom premazivanja obeleženih P1 – P6). Za svakog ispitanika su uzorci čuvani u posebnoj kutiji za odlaganje uzoraka, kako bi se eliminisali uticaji svetlosti i vlage.

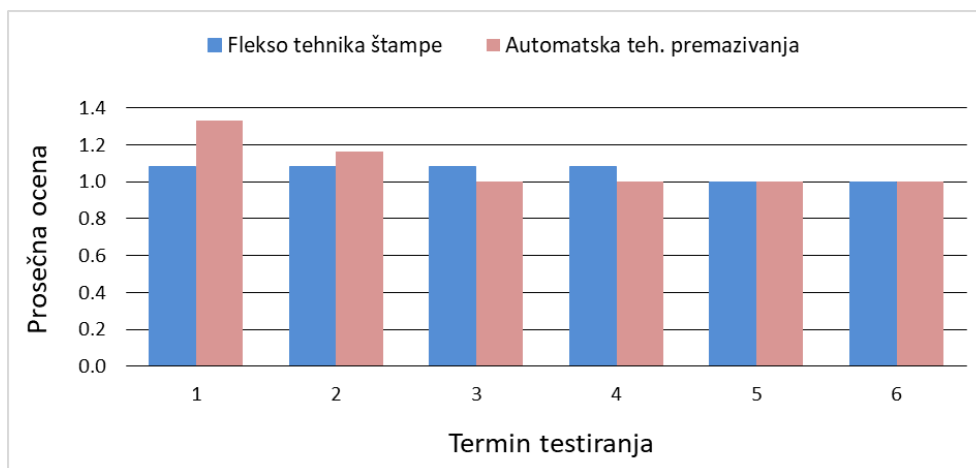
Na slici 6.61 su prikazani rezultati prepoznavanja mirisa koji su ispitanici osetili tokom prvog testiranja. Možemo primetiti da su samo dva ispitanika od ukupno dvanaest uspeli da prepoznaju enkapsulirani miris (16,67%). Razlog zbog koga je zabeležen ovako mali procenat tačnih odgovora, je to što se enkapsulirano eterično ulje sastoji od kombinacije tri različita mirisa (žalfija, ruzmarin i lavanda), pa su zbog mešanja specifičnih mirisnih nota svakog mirisa ponaosob one donekle bile neutralisane od strane preostala dva mirisa u formulaciji, što je otežalo njihovo prepoznavanje. Zato je kao tačan odgovor prilikom prepoznavanja mirisa prihvaćen onaj koji je sadržao bilo koji od tri enkapsulirana mirisa.

Nakon testa prepoznavanja mirisa, ispitanici su definisali percipirani miris kao prijatan, neprijatan ili interesantan miris, a sa ocenama od 1 do 5 (1 – uopšte se ne slažem, 5 – veoma se slažem) su odredili stepen prijatnosti/neprijatnosti/zanimljivosti mirisa koji su osetili u okviru prethodno odabrane kategorije. Većina ispitanika smatra da je miris koji su osetili prijatan (75% ukupnog broja ispitanika), a 50% od ukupnog broja ispitanika smatra da je percipirani miris vrlo, odnosno veoma prijatan. Jedan ispitanik smatra da je miris blago neprijatan (8,33% ukupnog broja ispitanika), dok su dva ispitanika obeležila percipirani miris kao vrlo zanimljiv (16,67% ukupnog broja ispitanika).



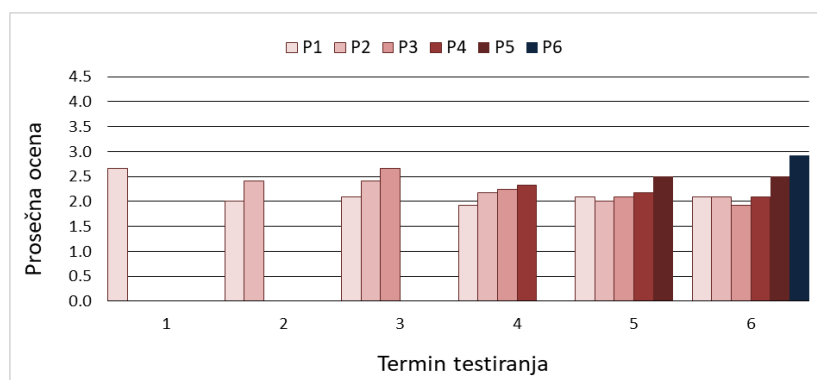
Slika 6.61. Procenat uspešnosti prepoznavanja percipiranog mirisa

Na slici 6.62 su predstavljeni rezultati srednjih vrednosti intenziteta percipiranog mirisa netrljanih uzoraka, oplemenjenih automatskom tehnikom premazivanja i flekso tehnikom štampe. Iz predstavljenih rezultata na slici 6.62 se vidi da su vrednosti intenziteta percipiranog mirisa netrljanih uzoraka za oba seta uzoraka oplemenjenih različitim tehnikama veoma male i najbliže su kategoriji „bez mirisa“ (ocena 1), tokom svih deset nedelja testiranja (6 test termina). Kod uzoraka oplemenjenih automatskom tehnikom premazivanja je registrovan nešto veći intenzitet mirisa u prva dva testiranja u odnosu na uzorke oplemenjene flekso tehnikom štampe. Dobijeni rezultati ukazuju na opadajući trend intenziteta mirisa sa vremenom, kao i na to da je enkapsulirani miris u određenoj meri isparavao iz apliciranih mikrokapsula. Međutim, kada su nakon 10 nedelja, u okviru poslednjeg, šestog testiranja ispitanici protljali uzorke P6 i F6, intenzitet mirisa koji su osetili kod njih su ocenili kao najintenzivniji u okviru pripadajuće tehnike oplemenjivanja (slika 6.63a i 6.63b). Ovo bi moglo da ukaže na to da miris iz mirisnih mikrokapsula ne isparava tokom vremena (vremenskog perioda trajanja testa), već da je na ovakav rezultat uticaj mogao da ima jedan psihološki efekat koji je primećen kod pojedinih ispitanika. Naime, uprkos uputstvu koje je jasno prezentovano svakom ispitaniku da treba da zanemare miris papira, kartona i laka (koji se u određenoj meri osećao na uzorcima) i da isključivo obrate pažnju na drugi, specifičan miris koji je eventualno prisutan ili nije prisutan u uzorcima, pojedini ispitanici su na vrlo agresivan način mirisali uzorke ne bi li osetili „traženi“ miris, smatrajući da je neophodno da bar nešto osete, dajući im najverovatnije više ocene od realnih. Takođe, ispitanici su prilikom inicijalnog testiranja prvo pomirisali (bez trljanja) svaki od dva pripremljena seta uzoraka (12 uzoraka: P1 – P6, F1 - F6) tako da nisu bili upoznati sa referentnim mirisom koji je bilo potrebno registrovati, tako da je i ovo moglo da utiče dobijeni rezultat. Nakon prva dva testa, kada su ispitanici privikli na način testiranja i ono šta se od njih očekuje, vidimo da su se rezultati intenziteta mirisa stabilizovali, odnosno smanjili (slika 6.62).

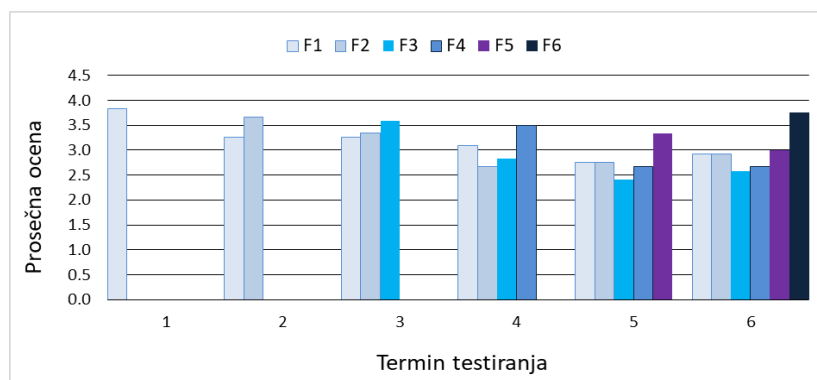


Slika 6.62. Intenzitet mirisa netrljanih otisaka oplemenjenih automatskom tehnikom premazivanja (P) i flekso tehnikom štampe (F)

Na slici 6.63 su predstavljeni rezultati intenziteta percipiranog mirisa trljanih otisaka, oplemenjenih automatskom tehnikom premazivanja i flekso tehnikom štampe.



a)

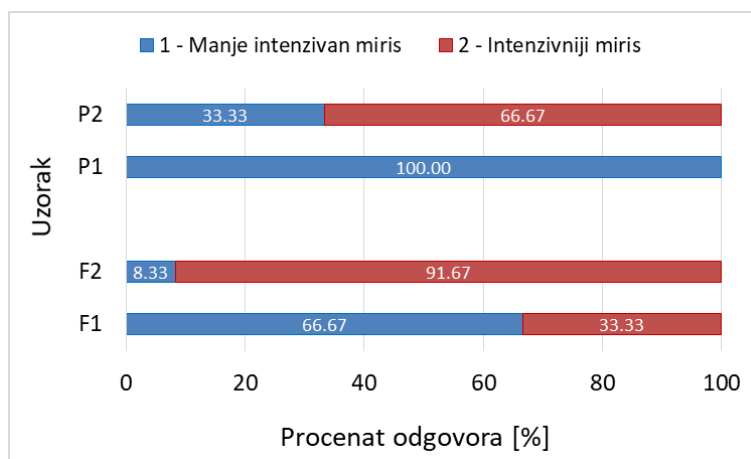


b)

Slika 6.63. Rezultati intenziteta mirisa trljanih otisaka oplemenjenih: a) automatskom tehnikom premazivanja i b) flekso tehnikom štampe

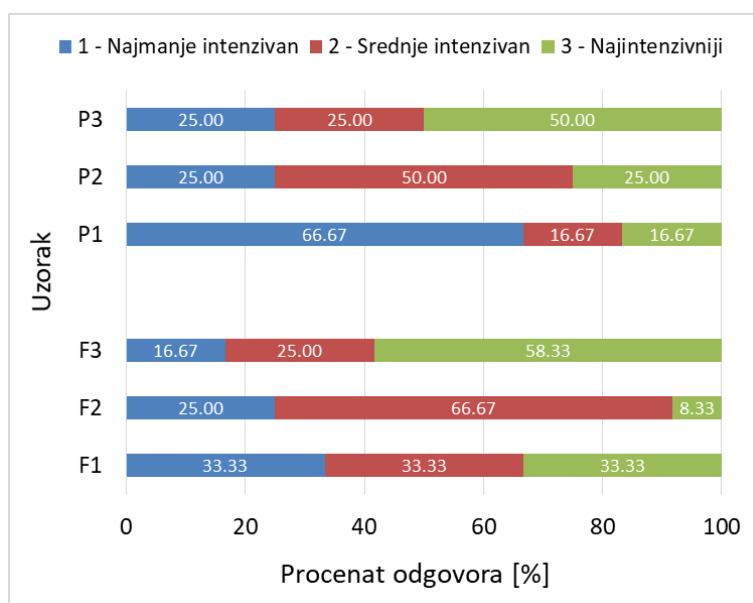
Rezultati intenziteta percipiranog mirisa su predstavljeni u vidu srednjih vrednosti dodeljenih ocena za svaki trljani uzorak tokom šest testiranja (deset nedelja). Sa grafika na slici 6.63 se vidi da su otisci oplemenjeni flekso tehnikom štampe imali mnogo intenzivniji miris (najveća prosečna ocena 3,83, F1 uzorak) u odnosu na otiske oplemenjene automatskom tehnikom premazivanja (najveća prosečna ocena 2,92, P6 uzorak). Takođe, primećuje se da se trljanjem uzoraka, tokom vremena postepeno smanjuje intenzitet percipiranog mirisa kod praktično svih uzoraka, oplemenjenih pomoću obe tehnike. Trljanje dovodi do pucanja omotača mikrokapsula, čime se oslobađa miris iz njih, smanjujući količinu preostalog mirisa na oplemenjenim uzorcima. U pojedinim situacijama je registrovan jači miris na otiscima koji su trljani veći broj puta u odnosu na zabeleženi miris na istom oplemenjenom uzorku na prethodnom testiranju (npr. F1 uzorak, termin testiranja 5. i 6; F2 uzorak, termini testiranja 4, 5, 6.). U slučaju oplemenjenih uzoraka automatskom tehnikom premazivanja (P1 uzorak), intenzitet mirisa se tokom 10 nedelja smanjio za 21,88%, dok se intenzitet mirisa na uzorcima oplemenjenim flekso tehnikom štampe smanjio za 23,91%.

Na svakom od šest testiranja, uzorci su trljani, međusobno upoređeni, nakon čega su rangirani na osnovu intenziteta percipiranog mirisa. Rezultati su prikazani na slikama 6.64 – 6.68, izračunavanjem ocene rangiranih uzoraka (izraz 5.2), odnosno u vidu procentualnog udela dodeljenog ranga od strane ispitanika (1 – najmanje intenzivan miris, dok najveći broj označava najveći intenzitet mirisa). Na drugom terminu testiranja, ispitanici su uporedili intenzitet percipiranog mirisa između P1 i P2, i F1 i F2 uzoraka. Registrovani intenzitet mirisa je bio veći na uzorcima koji su tada prvi put bili protrljani (P2 i F2) u odnosu na već trljane uzorke (P1 i F1).



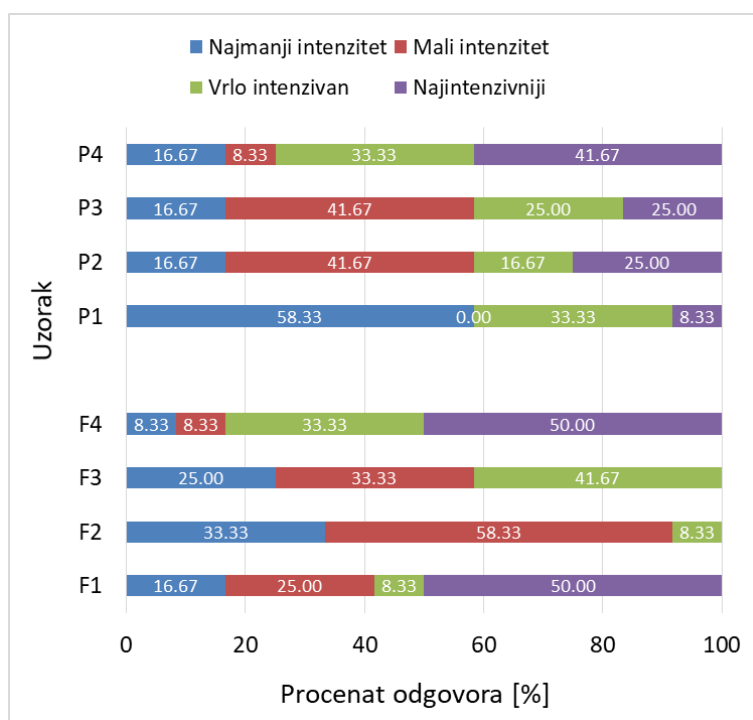
Slika 6.64. Rezultati rangiranja uzoraka: P1, P2 i F1, F2 na osnovu percipiranog intenziteta mirisa

U okviru trećeg termina testiranja uzoraka, ispitanici su poredili i rangirali uzorke P1, P2 i P3 s jedne strane, i uzorke F1, F2 i F3 u okviru druge grupe uzoraka, odnosno tehnike oplemenjivanja. U slučaju uzoraka oplemenjenih automatskom tehnikom premazivanja, na uzorku P1 je zabeležen najmanji, dok je na P3 uzorku zabeležen najjači miris, što je u skladu sa prethodno dobijenim rezultatom. U slučaju oplemenjenih otisaka flekso tehnikom štampe, najintenzivniji miris je zabeležen na F3 uzorku (do tada netrljanom), dok je F1 uzorak koji je tada treći put trljan, ocenjen kao uzorak sa intenzivnijim mirisom u odnosu na F2 uzorak koji je u prethodnom testu (prvom) imao intenzivniji miris (slika 6.65).



Slika 6.65. Rezultati rangiranja uzoraka: P1, P2, P3 i F1, F2, F3 na osnovu percipiranog intenziteta mirisa

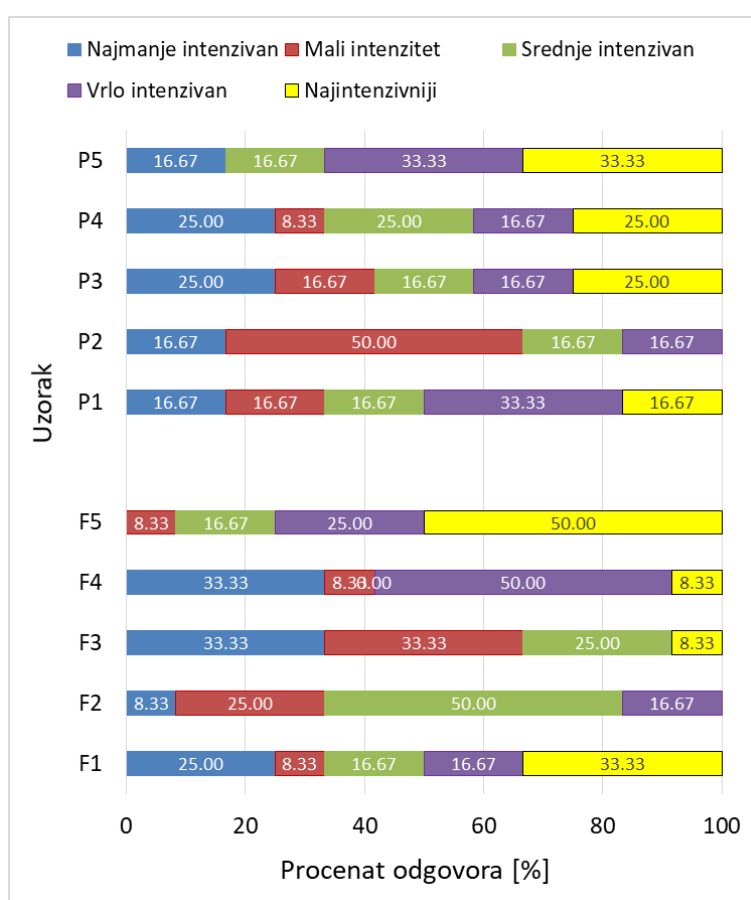
Na slici 6.66 su predstavljeni rezultati rangiranja uzoraka prema percipiranom intenzitetu mirisa u okviru četvrtog termina testiranja, gde su ispitanici upoređivali i rangirali uzorke P1 – P4, odnosno F1 – F4.



Slika 6.66. Rezultati rangiranja uzoraka: P1, P2, P3, P4 i F1, F2, F3, F4 na osnovu percipiranog intenziteta mirisa

Dobijeni rezultati pokazuju da je u okviru grupe uzoraka oplemenjenih automatskom tehnikom premazivanja najintenzivniji miris registrovan na P4 uzorku, dok je najmanji zabeležen na P1 uzorku. Što se tiče uzoraka oplemenjenih flekso tehnikom štampe, najintenzivniji miris su ispitanici registrovali na F4 uzorku, međutim najmanji intenzitet je zabeležen na F2 uzorku, dok je F1 uzorak rangiran kao drugi.

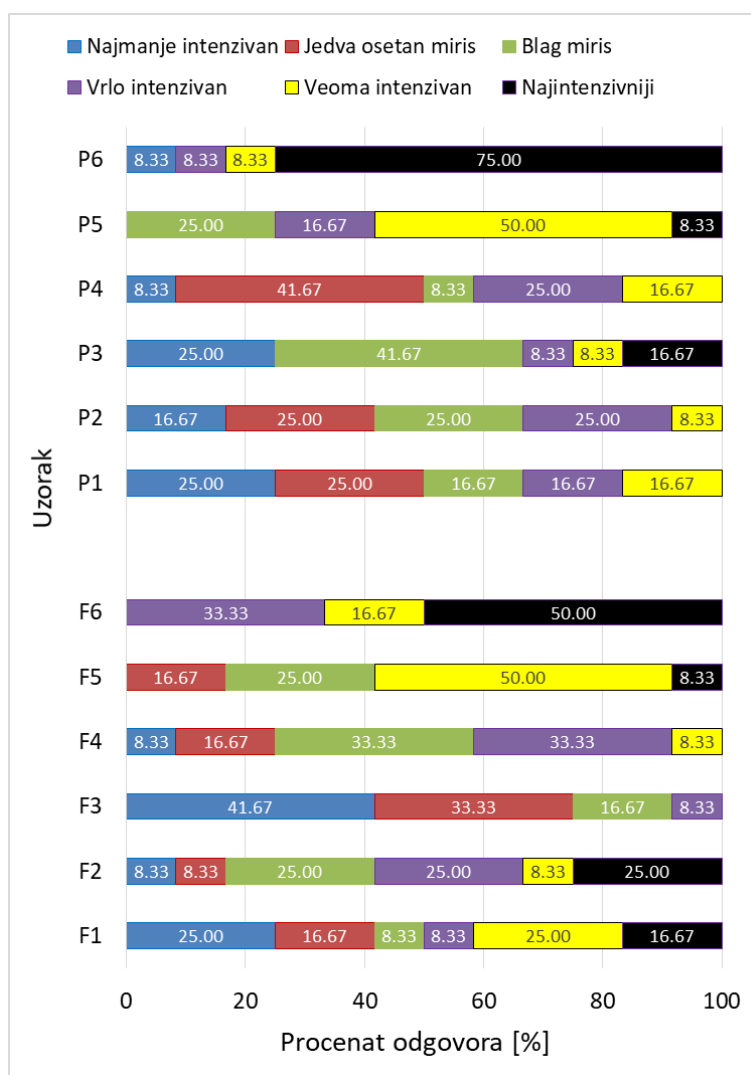
Na slici 6.67 su prikazani rezultati rangiranja uzoraka prema percipiranom intenzitetu mirisa dobijeni na petom terminu testiranja, u okviru kog su ispitanici poredili i nakon toga rangirali uzorke P1 – P5, odnosno F1 – F5. Najintenzivniji miris, kod uzoraka oplemenjenih automatskom tehnikom premazivanja, je registrovan na P5 uzorku, dok je najmanji intenzitet mirisa zabeležen na P2 oplemenjenom uzorku. Kod otisaka oplemenjenih flekso tehnikom štampe, najintenzivniji miris su ispitanici registrovali na F5 oplemenjenom uzorku, drugi uzorak prema zabeleženom intenzitetu mirisa je bio F1 uzorak, dok je najmanji intenzitet mirisa zabeležen ponovo na F2 uzorku.



Slika 6.67. Rezultati rangiranja uzoraka: P1, P2, P3, P4, P5 i F1, F2, F3, F4, F5 na osnovu percipiranog intenziteta mirisa

Na slici 6.68 su predstavljeni rezultati rangiranja uzoraka na osnovu percipiranog intenzitetu mirisa u okviru šestog termina testiranja, u kom su ispitanici poredili uzorke oplemenjene automatskom tehnikom premazivanja P1 – P6, odnosno uzorke oplemenjene flekso tehnikom štampe F1 – F6. Najintenzivniji miris, u slučaju uzoraka oplemenjenih automatskom tehnikom premazivanja je zabeležen na P6 uzorku, dok je najmanji intenzitet mirisa zabeležen opet na P2 oplemenjenom uzorku.

Kod otisaka oplemenjenih flekso tehnikom štampe, najintenzivniji miris je registrovan na F6 uzorku, dok je najmanji intenzitet mirisa zabeležen na F3 uzorku.



Slika 6.68. Rezultati rangiranja uzoraka: P1, P2, P3, P4, P5, P6 i F1, F2, F3, F4, F5, F6 na osnovu percipiranog intenziteta mirisa

Kombinovanom analizom varijanse je ocenjen uticaj tehnike oplemenjivanja (automatska tehnika premazivanja) i vremena, odnosno termina testiranja (ukupno šest tesmina) na percipirani intenzitet mirisa koji je bio prisutan kod oplemenjenih otisaka sa L_1 lakom i masenom koncentracijom mirisnih mikrokapsula u njemu od 15%. Statistička analiza je pokazala da nema statistički značajnog uticaja interakcije između tehnike oplemenjivanja i termina testiranja (Vilksov $\lambda=0,694$, $p=0,213$, eta kvadrat=0,306). Međutim, utvrđen je znatan osnovni (zasebni) uticaj termina testiranja (Vilksov $\lambda=0,190$, $p=0,000$, eta kvadrat=0,810), kao i zasebni uticaj tehnike oplemenjivanja na prisutan intenzitet mirisa ($p=0,000$, eta kvadrat=0,609). Oba faktora su imala veoma velik uticaj na percipirani intenzitet mirisa, uz dominantniji uticaj termina testiranja, što pokazuju dobijene vrednosti eta kvadrata (tabela 6.31). Statistički značajan i veliki uticaj primenjene tehnike oplemenjivanja na intenzitet mirisa, ukazuje na velike razlike percipiranog intenziteta mirisa na otiscima oplemenjenim pomoću dve različite

tehnike, odnosno na bolje ponašanje otisaka oplemenjenih flekso tehnikom štampe, slika 6.67. Iz predstavljenih rezultata u tabeli 6.31, vidi se da je jedino razlika između zabeleženog intenziteta mirisa na prvom terminu i svih ostalih termina statistički značajna ($p=0,000$). To daje indicaciju značajnog smanjenja intenziteta mirisa posle prvog termina testiranja.

Tabela 6.31. Rezultati statističke analize vrednosti intenziteta mirisa oplemenjenih otisaka

Tip analize	Ispitivani faktori	Vilksov lambda	p	Eta kvadrat
1. Kombinovana analiza varijanse	termin*tehnika	0,694	0,213	0,306
	termin	0,190	0,000	0,810
	tehnika	-	0,000	0,609
	uticaj test termina na intenzitet mirisa		0,000	0,333
	(I) Termin	(J) Termin		
	1	2	0,000	-
		3	0,000	-
		4	0,000	-
		5	0,000	-
		6	0,000	-
	2	3	1,000	-
		4	1,000	-
		5	1,000	-
		6	1,000	-
	3	4	1,000	-
		5	0,263	-
		6	1,000	-
	4	5	1,000	-
		6	1,000	-
	5	6	1,000	-

7 Diskusija rezultata istraživanja

U cilju jednostavnijeg praćenja, diskusija rezultata dobijenih analizama različitih ispitivanih parametara biće podeljena i predstavljena tematskim celinama, kao i u slučaju predstavljanja rezultata u glavi 6 Rezultati istraživanja.

7.1 Diskusija rezultata karakterizacije mirisnih mikrokapsula

Analizom SEM slika korišćenih mirisnih mikrokapsula za postupak oplemenjivanja, utvrđeno je da one imaju pravilan, sferni oblik i glatku površinu omotača. Veličine mirisnih mikrokapsula su ujednačene, što pokazuje i relativno uska, pozitivno asimetrična distribucija veličina mikrokapsula, gde 92,08% ukupnog broja uzorkovanih mikrokapsula ima prečnik između 1 μm i 3 μm (min. i maks. registrovana veličina mikrokapsula je 1,06 μm , 4,60 μm respektivno; prosečna veličina 2,08 μm , st. dev. 0,63 μm). Bolje mehaničke karakteristike imaju mikrokapsule malih veličina što im omogućava dobru funkcionalnost, odnosno da duži vremenski period traje aplicirani miris. Takođe veću dugotrajnost mirisa, odnosno oplemenjenih površina omogućavaju i raznovrsnost veličina korišćenih mirisnih mikrokapsula, jer pod uticaj trljanja najpre popucaju veće, a tek kasnije manje mirisne mikrokapsule koje su inicijalno „zaštićene“ od strane većih mikrokapsula.

Zapreminska distribucija korišćenih mirisnih mikrokapsula daje indikaciju normalne raspodele, gde 17,62% uzorkovanih mirisnih mikrokapsula (veličine između 2,5 μm i 3 μm) čini 30,36% ukupne zapremine svih uzorkovanih mikrokapsula. Obzirom da su upotrebljene mirisne mikrokapsule relativno malih i ujednačenih veličina, trebalo bi da pod dejstvom sila pritiska i smicanja ove mikrokapsule pokažu bolja mehanička svojstva u odnosu na velike mikrokapsule, što će im omogućiti ispoljavanje funkcionalnosti tokom dužeg vremenskog perioda. Takođe, aglomerati mikrokapsula, koji su karakteristični za mikrokapsule u praškastom obliku, nisu primećeni.

Na osnovu rezultata sprovedenog ispitivanja karakteristika propustljivosti omotača mirisnih mikrokapsula, odnosno oslobađanja mirisa iz mikrokapsula (Šumiga, 2013), ispitano je da li i koja količina enkapsulirane aktivne materije se difuzno oslobađa kroz omotač mirisnih mikrokapsula. Rezultati testa ukazuju na to da dolazi do difuznog oslobađanja enkapsuliranog mirisa kroz omotač mikrokapsula, s tim što prvi zabeleženi pad vrednosti mase mirisnih mikrokapsula od 54,3%, (nakon 30 minuta provedenih u sušnici na 135 °C), odgovara isparenoj vodi iz vodene suspenzije u kojoj se nalaze mirisne mikrokapsule, dok naredni registrovani gubitak mase mikrokapsula od 6,2%, nakon još 150 minuta provedenih u sušnici, odgovara difuziji enkapsuliranog mirisa kroz omotač mikrokapsula.

7.2 Diskusija rezultata karakterizacije lakova

Nakon karakterizacije mirisnih mikrokapsula, urađena je i analiza karakteristika korišćenih lakova (L_1 , L_2), kojom je utvrđeno da L_2 lak ima veću gustinu i viskozitet u odnosu na L_1 lak, što je primećeno i tokom procesa oplemenjivanja L_1 lakom automatskom tehnikom premazivanja (L_1 lak se prebrzo

razlivaao po površini papira, onemogućavajući glavi za premazivanje da ga ravnomerno nanese, zbog čega su otisci oplemenjeni korišćenjem više brzine, 8 m/min).

Dobijene vrednosti površinskog napona lakova (metodom „viseće kapi“) su relativno visoke, zbog visokog površinskog napona vode (72 mN/m) koja se nalazi u sastavu korišćenih lakova. Utvrđeno je da je površinski napon L₂ lak značajno niži (46,91 mN/m) u odnosu na zabeleženi površinski napon L₁ laka (61,33 mN/m), što mu omogućava bolje kvašenje podloge za štampu.

Obzirom da pH vrednost vodene suspenzije mirisnih mikrokapsula ukazuje na njihovu kiselu prirodu (pH 5,637), dodavanje mirisnih mikrokapsula u lakove, koji su baznog karaktera, rezultovalo je smanjenjem pH vrednosti mešavine mirisnih mikrokapsula i lakova. pH vrednost je bitna karakteristika korišćenih materijala jer utiče na viskozitet, stabilnost i brzinu sušenja boja na bazi vode, a nepravilna pH vrednost može da ima negativan uticaj na kvalitet štampe, obzirom da pigmenti koji se nalaze u boji za štampu mogu reagovati i menjati ton zbog nekompatibilnosti sopstvene i pH vrednosti primenjenog laka na vodenoj bazi (Galić, i drugi, 2015; American Inks and Coatings, n.d.). Uticaj pH vrednosti sredstva za oplemenjivanje (lakova i mešavine lakova i mirisnih mikrokapsula) na odštampanu boju i korišćene podloge za štampu nije primećen.

Što se tiče izmerenih karakteristika viskoznosti, vodena suspenzija mirisnih mikrokapsula ima najveći viskozitet, zatim L₂ lak i na kraju L₁ lak. Dodavanjem mirisnih mikrokapsula u lak L₂ postepeno raste vrednost viskoziteta mešavine ovog laka i mirisnih mikrokapsula, dok je u slučaju L₁ laka povećavanjem masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u laku postepeno opadala vrednost viskoziteta mešavine laka i mikrokapsula.

7.3 Diskusija rezultata karakterizacije podloge za štampu i oplemenjenih otisaka

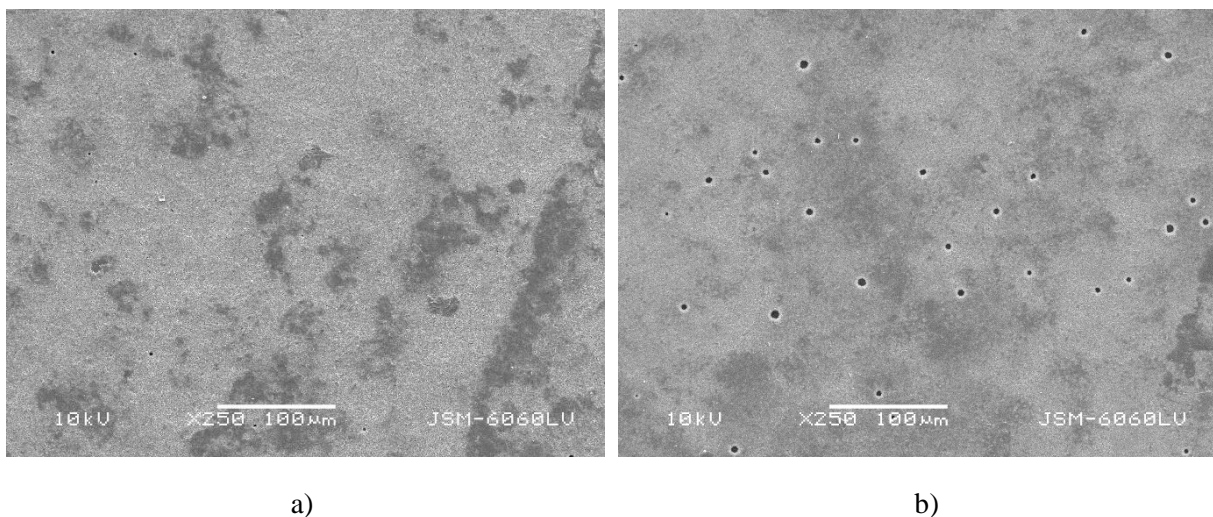
Karakterizacija podloge za štampu i oplemenjenih otisaka je uključivalo merenje i analizu njihovih fizičkih, morfoloških, mehaničkih, optičkih i funkcionalnih svojstava, čime se stekao preduslov za utvrđivanje efekata različitih tipova lakova, podloga za štampu, koncentracija mirisnih mikrokapsula u lakovima kao i primenjenih tehnika za oplemenjivanje, na kvalitet finalnog štampanog, oplemenjenog otiska.

7.3.1 Diskusija rezultata fizičkih karakteristika podloge za štampu i oplemenjenih otisaka

Kao najbitnije fizičke karakteristike podloga za štampu i oplemenjenih otisaka, koje su merene, bile su debljina i gramatura. Analizom dobijenih rezultata debljine i procentualnog povećanja debljine oplemenjenih uzoraka, uočava se njihov rastući trend sa porastom masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u lakovima, nezavisno od njegovog tipa, korišćenog tipa podloge za štampu kao i tehnike oplemenjivanja. Oplemenjivanjem otisaka tehnikom flekso štampe su dobijene znatno manje debljine oplemenjenih slojeva u slučaju oba korišćena premazna papira u odnosu na otiske oplemenjene automatskom tehnikom premazivanja, što pokazuje i manje procentualno povećanje debljine oplemenjenih slojeva ovom tehnikom. Takođe, i statistička analiza rezultata debljine oplemenjenih otisaka je pokazala da je uticaj tehnike oplemenjivanja na debljinu oplemenjenog sloja laka statistički značajan i veoma velik (shodno dobijenim vrednostima eta kvadrata), bez obzira na tip primenjenog laka, podloge za štampu i koncentracije mirisnih mikrokapsula u lakovima. Takođe, utvrđeno je da i

koncentracija mirisnih mikrokapsula u lakovima ima veoma velik uticaj na debljinu oplemenjenog sloja, nezavisno od korišćenog tipa laka, podloge za štampu i tehnike oplemenjivanja. Izraženiji uticaj ovog faktora je zabeležen u slučaju otisaka oplemenjenih automatskom tehnikom premazivanja.

Na mat premaznom papiru su postignute veće debljine oplemenjenog sloja u odnosu na uzorke sjajnog premaznog papira, nezavisno od korišćenog laka i tehnike oplemenjivanja. Iako debljina osušenog sloja boje ili laka nanešenog na površinu papira zavisi od velikog broja faktora, kao što su npr. površinska struktura i upojnost korišćene podloge za štampu, viskozitet, brzina i način sušenja korišćenog premaza, razlike između dobijenih debljina oplemenjenih slojeva na mat i sjajnom premaznom papiru bi mogla da bude karakteristika površine sjajnog premaznog papira koja je prekrivena veoma velikim brojem šupljina (slika 7.1) u koje je tokom oplemenjivanja i naknadnog sušenja morala dospeti određena količina laka čime se redukovala finalna debljina oplemenjenih slojeva. Statističkom analizom rezultata debljine oplemenjenih otisaka je utvrđeno da je tip laka statistički insignifikantan faktor na rezultujuću debljinu oplemenjenog sloja. Iako je na osnovu statističke analize utvrđeno da je uticaj tipa podloge za štampu na debljinu oplemenjenog sloja statistički značajan, uticaj ovog faktora je mnogo manji u odnosu na uticaj primenjene tehnike oplemenjivanja i koncentracije mirisnih mikrokapsula.



Slika 7.1. Izgled neštampane, neoplemenjene površine: a) mat premaznog papira i b) sjajnog premaznog papira (SEM, 500× uvećanje)

Gramatura oplemenjenih uzoraka mat i sjajnog premaznog papira, kao i u slučaju debljine, raste sa povećanjem masene koncentracije dodatih mirisnih mikrokapsula u lakove, bez obzira na njegov tip i primenjenu tehniku oplemenjivanja. Obzirom da su izmerene debljine oplemenjenih slojeva tehnikom flekso štampe znatno niže u odnosu na debljine oplemenjenih slojeva automatskom tehnikom premazivanja i registrovane vrednosti gramature oplemenjenih otisaka tehnikom flekso štampe su znatno niže. Ovaj veliki, statistički značajan uticaj tehnike oplemenjivanja na gramaturu oplemenjenih otisaka, prisutan je nezavisno od korišćenog tipa podloge za štampu, tipa laka, kao i koncentracije mirisnih mikrokapsula u laku. U slučaju otisaka mat premaznog papira, oplemenjenih automatskom tehnikom premazivanja, višu vrednost gramature imaju oplemenjeni otisci L_2 lakom u odnosu na oplemenjene otiske sa L_1 lakom, dok su kod otisaka sjajnog premaznog papira oplemenjenih istom tehnikom, zabeležene više vrednosti gramature korišćenjem L_1 u odnosu na L_2 lak. Dobijeni rezultati

gramature su u saglasnosti sa prethodno analiziranim rezultatima debljine (veća debljina oplemenjenog sloja, veća gramatura). Na otiscima oba korišćena premazna papira, koji su oplemenjeni flekso tehnikom štampe je registrovana viša vrednost gramature otisaka oplemenjenih L₂ lakom u odnosu na oplemenjene otiske dobijene L₁ lakom, što odgovara dobijenim rezultatima debljine (viša prosečna vrednost debljine je registrovana na oplemenjenim uzorcima L₂ lakom). Uticaj tipa laka na gramaturu oplemenjenog otiska je insignifikantan, što je potvrđeno statističkom analizom kako zasebnog, tako i zajedničkog uticaja interakcije ovog faktora i preostale tri nezavisne promenljive (tehnike oplemenjivanja, podloge za štampu i koncentracije mirisnih mikrokapsula). Nezavisno od korišćenog tipa laka i primenjene tehnike oplemenjivanja, na oplemenjeni slojevi na mat premaznom papiru imaju višu prosečnu vrednost gramature u odnosu na oplemenjene slojeve na sjajnom premaznom papiru. Ovo je u saglasnosti sa rezultatima izmerene debljine, jer su na oplemenjenim otiscima mat premaznog papira postignute više vrednosti debljine oplemenjenih slojeva u odnosu na oplemenjene otiske sjajnog premaznog papira. Takođe, na osnovu statističke analize, i uticaj tipa podloge za štampu se pokazao kao statistički značajan faktor na gramaturu oplemenjenih otisaka, međutim uticaj ovog faktora je bio vrlo mali obzirom na dobijenu vrednost eta kvadrata. Najveći uticaj na posmatranu zavisnu promenljivu (shodno vrednosti eta kvadrata) ima koncentracija mirisnih mikrokapsula u lakovima, i to bez obzira na korišćeni tip laka, podloge za štampu i tehniku oplemenjivanja, uz izrazitiji uticaj na otiske oplemenjene automatskom tehnikom premazivanja.

7.3.2 Diskusija rezultata morfoloških karakteristika podloge za štampu i oplemenjenih otisaka

Za određivanje morfoloških karakteristika neodštampanih, štampanih i oplemenjenih površina korišćenih podloga za štampu, kao i osobina i stanja prenetih mirisnih mikrokapsula u oplemenjenom sloju laka, korišćena je SEM mikroskopija i naknadna vizuelna analiza dobijenih SEM slika.

Na osnovu predstavljenih SEM slika, uočeno je da površina mat premaznog papira ima grublju, hrapaviju površinsku strukturu u odnosu na sjajni premazni papir, ali i značajno manji broj šupljina na površini koje su i manjih veličina u odnosu na sjajni premazni papir. Ni kod jednog ni kod drugog premaznog papira odštampani sloj cijan boje nije u potpunosti ravnomeran zbog neuniformne površinske strukture korišćenih podloga za štampu.

Otisci oplemenjeni samo lakovima bez mikrokapsula, imaju najpravilniju površinsku strukturu (ravniju, uniformniju i glađu) u odnosu na otiske oplemenjene bilo kojom drugom masenom koncentracijom mirisnih mikrokapsula u lakovima. Povećavanjem masene koncentracije mikrokapsula u lakovima dobijaju se otisci grublje i nepravilnije površinske strukture, jer su prenete mirisne mikrokapsule pozicionirane kako unutar oplemenjenog sloja laka, tako i delimično iznad njega što utiče na povećanje broja nepravilnosti na površini oplemenjenih otisaka. Takođe, veća masena koncentracija mikrokapsula u laku omogućava i veći broj mirisnih mikrokapsula u samom sloju laka, a time i bolju i dužu funkcionalnost oplemenjenih površina mirisnim mikrokapsulama. Oplemenjeni otisci mirisnim mikrokapsulama u masenoj koncentraciji od 1%, nezavisno od primenjenog tipa laka, podloge i tehnike oplemenjivanja, imaju veoma mali broj mirisnih mikrokapsula na svojoj površini, međutim nanešene mirisne mikrokapsule su vrlo lako uočljive zbog svog veoma pravilnog, sfernog oblika. Takođe, na površini otisaka oplemenjenih L₂ lakom i mikrokapsulama u masenoj koncentraciji od 1%, je primećen veći broj apliciranih mirisnih mikrokapsula u odnosu na otiske oplemenjene L₁ lakom, nezavisno od korišćenog premaznog papira i tehnike oplemenjivanja.

Specifičnost oplemenjenih otisaka L_1 lakom, u slučaju korišćenja obe tehnike oplemenjivanja, su vrlo uočljive izbočine i druge nepravilnosti nastale kao posledica prisustva čestica polietilenskog voska, koje se nalaze u sastavu ovog laka. Zbog toga, bez obzira na korišćenu tehniku oplemenjivanja i podlogu za štampu, otisci oplemenjeni L_2 lakom imaju pravilniju i finiju površinsku strukturu u odnosu na otiske oplemenjene L_1 lakom. Takođe, na oplemenjenim slojevima L_2 lakom primećen je određen broj malih pukotina, što ukazuje na veću podložnost oštećenjima i veću krtost ovakvih premaza u odnosu na oplemenjene slojeve L_1 lakom, što je primećeno i prilikom pripreme (sečenja) uzoraka za SEM analizu.

Iako je analizom SEM slika uočeno da se uniformnija i finija površinska struktura dobija oplemenjivanjem tehnikom flekso štampe (nezavisno od korišćenog tipa laka) u odnosu na primenu automatske tehnike premazivanja, naknadna analiza rezultata površinske hrapavosti oplemenjenih otisaka sugerišu suprotno. Veći broj prisutnih mirisnih mikrokapsula na površini otisaka oplemenjenih flekso tehnikom štampe u odnosu na otiske oplemenjene automatskom tehnikom premazivanja je doprineo ovakvom rezultatu. Oplemenjivanje flekso tehnikom štampe se dobija tanji sloj mešavine laka i mirisnih mikrokapsula, zbog toga su i aplicirane mirisne mikrokapsule u slučaju otisaka oplemenjenih ovom tehnikom pozicionirane bliže površini uzorka što posledično omogućava lakšu aktivaciju, odnosno lakše pucanje omotača mikrokapsula i ispoljavanja osnovne funkcionalnosti ovih mikrokapsula. Ovo potvrđuju rezultati debljine oplemenjenih uzoraka, odnosno veličine mirisnih mikrokapsula, kao i rezultati testa prisustva mirisa i njegovog intenziteta u oplemenjenim otiscima. Sama pozicija mikrokapsula, kao i manja količina laka koja ih prekriva, u slučaju otisaka oplemenjenih flekso tehnikom štampe, rezultovala je nešto većom prosečnom vrednošću površinske hrapavosti iako ove razlike nisu bile statistički značajne.

Na površini otisaka oplemenjenih L_1 lakom, korišćenjem flekso tehnike štampe, primećen je manji broj čestica voska u odnosu na uzorke oplemenjene istim lakom i automatskom tehnikom premazivanja. Razlog pojave manjeg broja čestica polietilenskog voska u slučaju otisaka oplemenjenih flekso tehnikom štampe je način aplikacije sredstva za oplemenjivanje, odnosno način funkcionisanja ovog uređaja za test štampu. Naime, IGT F1 Basic High uređaj koji je korišćen (IGT Testing Systems, Holandija) se sastoji od raster valjka koji je sve vreme trajanja procesa oplemenjivanja u kontaktu sa rakel nožem koji zadržava, tj. skida višak laka sa neštampajućih površina (delova između raster čašica) i na taj način u određenoj meri zadržava krupnije čestice polietilenskog voska iz L_1 laka. Tek nakon toga se lak iz raster čašica raster valjka prenosi na fleksografsku štamparsku formu (sada sa manjom količinom čestica voska u sebi), a potom i na podlogu za štampu, a kao rezultat su dobijeni oplemenjeni otisci sa приметно manjim brojem nepravilnosti koje su nastale zbog prisustva polietilenskog voska u laku L_1 .

Utvrđeno je da odabrane tehnike za oplemenjivanje omogućavaju aplikaciju mirisnih mikrokapsula bez oštećenja, što daje indiciju da se automatska tehnika premazivanja kao i flekso tehnika štampe mogu uspešno koristiti za proces oplemenjivanja mirisnim mikrokapsulama. Aglomeracija, odnosno grupisanje mirisnih mikrokapsula nije primećeno kod otisaka oplemenjenih L_1 lakom, međutim u slučaju korišćenja L_2 laka, primećena je blaga pojava aglomerata kod otisaka oplemenjenih automatskom tehnikom premazivanja masenom koncentracijom mirisnih mikrokapsula od 15%. Što se tiče kvaliteta površinske strukture oplemenjenih otisaka na isti način, korišćenjem dva različita tipa premaznog papira, nije primećena značajna razlika.

7.3.3 Diskusija rezultata površinske hrapavosti podloge za štampu i oplemenjenih otisaka

Na osnovu rezultata analize površinske hrapavosti neodštampanih i štampanih, neoplemenjenih otisaka, utvrđeno je da se procesom ofset tabačne štampe, u kom se primenjuje štamparski pritisak određenog intenziteta, kao i nov materijal (boja za štampu), dobija površina drugačijih površinskih karakteristika u odnosu na površinu neodštampanog premaznog papira. U slučaju mat premaznog papira nakon ofset štampe je dobijena glađa površina, a u slučaju sjajnog premaznog papira je dobijena hrapavija površina u odnosu na neodštampani premazni papir (S_a i S_q parametri).

Nezavisno od korišćene tehnike oplemenjivanja, tipa laka i podloge za štampu, oplemenjivanjem otisaka samo lakovima, bez mikrokapsula se dobija relativno ravna i uniformna površinska struktura, finija u odnosu na oplemenjene otiske lakovima i određenom koncentracijom mirisnih mikrokapsula. Površinske nepravilnosti štampanog, neoplemenjenog otiska su postupcima oplemenjivanja ublažene, čak i pri koncentraciji mirisnih mikrokapsula u lakovima od 7% kod mat premaznog papira, odnosno 1% kod sjajnog premaznog papira. Na taj način je dobijena finija i glađa površinska struktura, što pokazuje znatno manje vrednosti S_a i S_q parametara. Bez obzira na tip korišćenog laka, podloge za štampu i tehnike oplemenjivanja, prisutan je dominantan trend porasta vrednosti površinske hrapavosti (S_a i S_q parametri) oplemenjenih otisaka sa povećanjem masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u oplemenjenom sloju laka, tako da su najviše vrednosti površinske hrapavosti dobijene oplemenjivanjem otisaka masenom koncentracijom mikrokapsula od 15%. Takođe, na ovim otiscima, kao i otiscima oplemenjenim mirisnim mikrokapsulama u masenoj koncentraciji od 7% zabeležene su veoma visoke vrednosti standardne devijacije S_a i S_q parametara, što daje indikaciju vrlo nehomogene površinske strukture. Oplemenjivanjem otisaka mirisnim mikrokapsulama u masenoj koncentraciji od 1% u lakovima, dobijene su površinske strukture sa većim brojem nepravilnosti u odnosu na oplemenjene otiske samo lakovima, dok su više masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u lakovima (7% i 15%) dovele do pojave još većeg broja nepravilnosti na površini, tj. grublje površine, što je uticalo na rast vrednosti parametara površinske hrapavosti (S_a , S_q). Na oplemenjenim otiscima su zabeležene pozitivne vrednosti koeficijenta oštine površine (S_{ku}) i generalno pozitivne vrednosti koeficijenta asimetrije površine (S_{sk}), što daje indikaciju površinske strukture sa dominantnim vrhovima. Nakon oplemenjivanja otisaka mikrokapsulama u koncentraciji od 1%, došlo je do formiranja malog broja izolovanih vrhova na oplemenjenim površinama, što je uticalo na povećanje vrednosti S_{sk} parametra (u slučaju oplemenjenih otisaka mat premaznog papira) u odnosu na oplemenjene otiske samo lakovima. Na ovim otiscima su generalno zabeležene najviše vrednosti S_{sk} parametra. Naredno povećanje koncentracije mirisnih mikrokapsula u lakovima (7%), je generalno dovelo do pada vrednosti S_{sk} i S_{ku} parametara u odnosu na otiske oplemenjene mikrokapsulama u koncentraciji od 1%. Opadajući trend vrednosti S_{sk} parametra se generalno nastavio i narednim povećanjem koncentracije mikrokapsula u lakovima (15%). Kod oplemenjenih otisaka na sjajnom premaznom papiru je takođe uočljiv opadajući trend vrednosti S_{sk} i S_{ku} parametara sa porastom masene koncentracije mikrokapsula u lakovima. Razlog pada vrednosti S_{sk} i S_{ku} parametara sa povećanjem masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u lakovima je to što se karakteristična površinska struktura sa relativno malim brojem visokih izolovanih vrhova postepeno menjala, pa je uz pojavu novih vrhova (što je posledica dodatih mirisnih mikrokapsula), došlo i do formiranja novih udubljenja (između novonastalih vrhova), što je omogućilo da površinska struktura oplemenjenih otisaka postane izbalansirana.

Za statističku analizu uticaja korišćenih tipova lakova, podloga za štampu, tehnika oplemenjivanja i koncentracija mirisnih mikrokapsula u lakovima, korišćeni su rezultati srednjeg kvadratnog odstupanja (S_q parametar), kao mere površinske hrapavosti oplemenjenih površina. Iako su na otiscima

oplemenjenim flekso tehnikom štampe generalno zabeležene više vrednosti parametara površinske hrapavosti u odnosu na otiske oplemenjene automatskom tehnikom premazivanja, ove razlike nisu bile statistički značajne. Oplemenjivanje L_1 lakom dobijene su oplemenjene površine veće površinske hrapavosti (S_a i S_q parametar), nezavisno od korišćene tehnike oplemenjivanja i podloge za štampu. Ovo je rezultat sastava L_1 laka koji sadrži čestice polietilenskog voska. Statističkom analizom je ovo i dokazano, odnosno da tip laka ima statistički značajan uticaj na vrednosti S_q parametra. Statističkom analizom je utvrđeno da tip podloge za štampu i tehnika oplemenjivanja nemaju statistički značajan uticaj na dobijene vrednosti srednjeg kvadratnog odstupanja (S_q), kao parametra površinske hrapavosti, dok najveći uticaj, značajno veći u odnosu na upotrebu različitih tipova lakova, ima upotreba različitih koncentracija mirisnih mikrokapsula, na čega ukazuju znatno više vrednosti eta kvadrata.

7.3.4 Diskusija rezultata mikromehaničkih osobina podloge za štampu i oplemenjenih otisaka

Obzirom da se aktivacija apliciranih mirisnih mikrokapsula ostvaruje trljanjem, odnosno primenom odgovarajuće sile pritiska, pod čijim uticajem omotač mikrokapsula puca i oslobađa enkapsulirani miris, izvršena je i analiza mikromehaničkih karakteristika oplemenjenih otisaka sa ciljem da se utvrdi koji tip laka i podloge za štampu, koja masena koncentracija mirisnih mikrokapsula u lakovima, kao i koja tehnika aplikacije mikrokapsula omogućava postojanije oplemenjene površine, a time i potencijalno duže dejstvo apliciranih mirisnih mikrokapsula. Kako bi se odredile mikromehaničke karakteristike (Jangov modul elastičnosti, tvrdoća, maksimalna deformacija, maksimalni primenjeni napon, krive napon–deformacija) mirisnih mikrokapsula u vodenoj suspenziji, neodštampanih i štampanih premaznih papira, kao i oplemenjenih otisaka lakovima pomoću automatske tehnike premazivanja i flekso tehnike štampe, korišćenjem četiri masene koncentracije mikrokapsula u lakovima, upotrebljen je metod nanoindentacije.

Mirisne mikrokapsule u vodenoj suspenziji su imale najvišu vrednost modula elastičnosti i tvrdoće, a najmanju plastičnu deformaciju, dok je mat premazni papir, kako neodštampan, tako i odštampan, pokazao bolja mehanička svojstva (veća vrednost modula elastičnosti i tvrdoće, kao i manja deformacija) u odnosu na uzorke sjajnog premaznog papira.

U slučaju oba korišćena premazna papira, štampa pune tonske površine je unapredila mehaničke karakteristike premaznih papira, što je posledica dodavanja novih materijala na površinu papira u vidu pigmenta i veziva kao činioca boje za štampu. Rezultati nanoindentacije u okviru preliminarnog dela istraživanja (oplemenjeni uzorci ručnom tehnikom premazivanja, L_1 lakom i mirisnim mikrokapsulama na transparentnoj foliji), ukazuju na to da se povećanjem masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u oplemenjenom sloju laka unapređuju tvrdoća i elastična svojstva oplemenjenih otisaka, uz smanjivanje nastale plastične deformacije. Međutim, kod odštampanih i oplemenjenih premaznih papira nije registrovan ponovljiv trend vrednosti ni jednog analiziranog mehaničkog parametra, pa su tek u pojedinim slučajevima oplemenjenih uzoraka dobijeni ovi, pretpostavljeni odnosi iz preliminarnih istraživanja. Očekivani trend rezultata je ipak u većem broju slučajeva zabeležen na oplemenjenim otiscima mat premaznog papira u odnosu na oplemenjene otiske na sjajnom premaznom papiru (PL₁_0%_mat, PL₁_7%_mat; PL₂_0%_mat, PL₂_15%_mat; FL₁_0%_mat, FL₁_1%_mat, FL₁_7%_mat; PL₂_0%_sjajni, PL₂_1%_sjajni i PL₂_7%_sjajni).

Objašnjenje dobijenih rezultata mikromehaničkih karakteristika oplemenjenih otisaka na papirnim podlogama za štampu, koji se u velikoj meri razlikuju od rezultata i trenda vrednosti dobijenih u preliminarnim istraživanjima, leži u činjenici da je pored toga što je papir tanak materijal, on i svojim

drugim karakteristikama postavlja određene limitacije za sam postupak merenja metodom nanoindentacije. Naime, papir je u poređenju sa transparentnom folijom koja je korišćena u preliminarnom delu istraživanja, neelastičan, nehomogen, anizotropan i higroskopan materijal (podložan uticaju vlage iz okruženja), pa ga je zbog toga vrlo teško ravnomerno pričvrstiti čitavom površinom na postolje nanoindentera (West, i drugi, 2008). Takođe, utvrđeno je da postoji velika nehomogenost strukture oplemenjenih slojeva lakova sa mikrokapsulama velikog broja uzoraka kao i nekonzistentnost njihovih mehaničkih karakteristika, na čega su ukazale veoma visoke vrednosti standardne devijacije analiziranih mehaničkih parametara velikog broja oplemenjenih uzoraka. Na rezultate merenja može da utiče i površinska hrapavost uzoraka (Bull, 2005). Takođe, na dobijene rezultate ispitivanja mikromehaničkih karakteristika oplemenjenih otisaka mogli su uticati zarobljeni vazdušni mehurići u oplemenjenim slojevima nastali tokom procesa oplemenjivanja, zatim neuniformna, nehomogena površina oplemenjenih otisaka (pogotovo onih oplemenjenih višim masenim koncentracijama mirisnih mikrokapsula) kao i različite nepravilnosti na oplemenjenim površinama u vidu udubljenja, čestica voska (u sastavu L_1 laka), čestice pigmenta. Takođe, bitno je i pitanje samog rasporeda odnosno distribucije apliciranih mirisnih mikrokapsula na testiranim oplemenjenim površinama, kao i mogućnosti preciznog podešavanja glave za nanoindentaciju na ciljne, specifične pozicije sa mirisnim mikrokapsulama. Zato je preporuka da se u narednim eksperimentima nanoindentacije uradi višestruko testiranje pojedinačnih lokacija na uzorku, zatim korišćenje mernih glava za nanoindentaciju drugačije geometrije sa većom kontaktnom površinom (sa sfernom geometrijom vrha) u odnosu na korišćenu Berkovič geometriju (West, i drugi, 2008), iako se korišćena geometrija vrha pokazala kao adekvatna prilikom drugih istraživanja za ispitivanja tankih filmova različitih materijala. Međutim, postupak zamene vrha za utiskivanje i kalibracija uređaja za nanoindentaciju traje relativno dugo (nekoliko nedelja), što je predstavljalo još jedan ograničavajući faktor.

U odnosu na štampane, ali neoplemenjene premazne papire, većina oplemenjenih otisaka ima bolje mehaničke osobine. Zabeležene vrednosti razmatranih mehaničkih parametara ukazuju na to da uzorci oba korišćena tipa premaznih papira oplemenjena automatskom tehnikom premazivanja poseduju generalno bolje mehaničke osobine u odnosu na otiske oplemenjene flekso tehnikom štampe za isti tip laka i masenu koncentraciju mirisnih mikrokapsula u njemu. U okviru analize fizičkih karakteristika oplemenjenih otisaka, odnosno analizom rezultata debljine oplemenjenih otisaka je utvrđeno da se automatskom tehnikom premazivanja dobija deblji oplemenjeni sloj, što je i omogućilo bolja mehanička svojstva otisaka oplemenjenih korišćenjem ove tehnike oplemenjivanja. Statističkom analizom rezultata indukovane maksimalne deformacije nanoindentacijom, je takođe utvrđeno da tehnika oplemenjivanja ima statistički značajan uticaj na vrednosti deformacije nezavisno od korišćene podloge za štampu. Na osnovu dobijenih rezultata nanoindentacije teško je izvući precizne zaključke o tome koji tip laka omogućava bolja mehanička svojstva oplemenjenih otisaka i eventualno postojanije oplemenjene slojeve, ali se uticaj tipa laka pokazao kao statistički značajan na veličinu deformacije oplemenjenog sloja bez obzira na korišćeni tip podloge za štampu kao i primenjenu tehniku oplemenjivanja. Uticaj ovog faktora na posmatranu zavisnu promenljivu je mali, što pokazuju dobijene vrednosti eta kvadrata. Iako su oplemenjeni otisci L_2 lakom na mat premaznom papiru pomoću automatske tehnike premazivanja generalno pokazali bolje mehaničke karakteristike u odnosu na uzorke sjajnog premaznog papira oplemenjene na isti način, dobijeni rezultati su ipak inkonzistentni u pogledu odabira tipa premaznog papira koji bi omogućio bolja mehanička svojstva oplemenjenih otisaka. Međutim, statistička analiza je pokazala da je uticaj tipa podloge za štampu takođe statistički značajan, i velik, na nastalu deformaciju oplemenjenog sloja, ali samo u slučaju otisaka oplemenjenih automatskom

tehnikom premazivanja, kao i u slučaju otisaka oplemenjenih L₂ lakom. Koncentracija mirisnih mikrokapsula u lakovima, odnosno u oplemenjenom sloju, ima statistički značajan uticaj na nastalu deformaciju oplemenjenog sloja, bez obzira na primenjenu tehniku oplemenjivanja, tip laka i podloge za štampu. Uticaj ovog faktora spada u red srednjih do velikih, na osnovu dobijenih vrednosti eta kvadrata.

7.3.5 Diskusija rezultata optičkih osobina oplemenjenih otisaka

7.3.5.1 Diskusija rezultata optičke gustine oplemenjenih otisaka

Na osnovu predstavljenih rezultata optičke gustine punih tonskih površina neoplemenjenih i oplemenjenih otisaka, utvrđeno je da postupak oplemenjivanja samo lakovima, bez mirisnih mikrokapsula dovodi do porasta vrednosti optičke gustine, nezavisno od boje prethodno štampanog otiska (cijan, magenta), korišćenog tipa laka, podloge za štampu kao i tehnike oplemenjivanja. Oplemenjivanjem samo lakovima, dobijeni su najtamniji oplemenjeni otisci sa najvećom vrednošću optičke gustine, što je rezultat karakteristika korišćenih lakova, odnosno njihovih osobina transparentije i boje. Nakon inicijalnog skoka vrednosti optičke gustine oplemenjenih otisaka samo lakovima, dodavanje mirisnih mikrokapsula, odnosno oplemenjivanje otisaka kombinacijom lakova i mirisnih mikrokapsula je generalno uslovilo pad vrednosti optičke gustine. Opadajući trend vrednosti optičke gustine se nastavio povećavanjem masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u lakovima (7% i 15%) bez obzira na boju štampanog otiska, tip podloge za štampu i laka, kao i primenjenu tehniku oplemenjivanja. Opadajući trend vrednosti optičke gustine oplemenjenih otisaka je rezultat bele boje omotača nanešenih mirisnih mikrokapsula u sloju laka.

Predstavljeni rezultati optičke gustine, ne ukazuju na velike razlike između oplemenjenih otisaka različitim tipom laka, odnosno uticaj korišćenog tipa laka na posmatrani parametar kvaliteta štampe nije bio statistički značajan, što je potvrđeno naknadnom statističkom analizom rezultata optičke gustine oplemenjenih otisaka štampanih cijan bojom. Oplemenjeni otisci štampani cijan bojom, su generalno imali više vrednosti optičke gustine u odnosu na oplemenjene otiske sjajnog premaznog papira, uz nešto manje razlike u slučaju otisaka oplemenjenih flekso tehnikom štampe. Veliki uticaj tipa podloge za štampu je potvrđen i statističkom analizom, određivanjem statističke značajnosti njegovog uticaja na dobijene vrednosti optičke gustine, uz prisustvo značajnijeg uticaja ovog faktora na vrednosti optičke gustine otisaka oplemenjenih automatskom tehnikom premazivanja. Za razliku od otisaka štampanih cijan bojom, na neoplemenjenim i oplemenjenim otiscima štampanim magenta bojom na sjajnom premaznom papiru su zabeležene znatno više vrednosti optičke gustine od oplemenjenih otisaka na mat premaznom papiru nezavisno od primenjene tehnike oplemenjivanja. Otisci oplemenjeni automatskom tehnikom premazivanja na mat premaznom papiru, nezavisno od štampane procesne boje (cijan, magenta), imaju više vrednosti optičke gustine u odnosu na otiske oplemenjene flekso tehnikom štampe, dok su kod sjajnog premaznog papira registrovane vrednosti ovog parametra na oplemenjenim otiscima različitim tehnikama oplemenjivanja vrlo ujednačene. Tehnika oplemenjivanja se takođe pokazala kao statistički značajan faktor, i to sa velikim uticajem na dobijene vrednosti optičke gustine, bez obzira na primenjeni tip laka i koncentraciju mirisnih mikrokapsula u lakovima, a veći uticaj ovog faktora je registrovan kod otisaka oplemenjenih na sjajnom premaznom papiru. Statistički najznačajniji uticaj na dobijene vrednosti optičke gustine je utvrđen i za faktor koncentracije mirisnih mikrokapsula u lakovima, koji je prisutan nezavisno od korišćenog tipa podloge za štampu, tehnike oplemenjivanja kao i tipa laka, jer se dodatkom mirisnih mikrokapsula, a pogotovo njihovim višim masenim

koncentracijama dobija veća debljina oplemenjenog sloja uz veću količinu mirisnih mikrokapsula, što posledično utiče na dobijene vrednosti optičke gustine, odnosno njihov pad.

7.3.5.2 Diskusija rezultata porasta tonskih vrednosti oplemenjenih otisaka

Pored optičke gustine, još jedan veoma bitan parametar kvaliteta štampanih otisaka je i porast tonskih vrednosti (PTV), koji predstavlja meru kvaliteta štampe i prati se ne samo prilikom procesne kontrole gotovih otisaka, već i prilikom pripreme za štampu, odnosno izrade štamparskih formi koje će naknadno biti korišćene u procesu štampe.

Dobijene krive porasta tonskih vrednosti neoplemenjenih otisaka, štampanih pomoću obe procesne boje (cijan i magenta), gotovo da se u potpunosti poklapaju sa krivom referentnog tonskog opsega definisanim ISO 12647-2:2004 standardom (ISO12647-2, 2004), što daje indicaciju dobre reprodukcije tonskih vrednosti, odnosno dobrog kvaliteta ofset štampe. Oplemenjivanje otisaka je uzrokovalo značajan PTV u čitavom tonskom opsegu u odnosu na štampane, neoplemenjene otiske, nezavisno od prethodno odštampane boje, tipa laka, podloge za štampu, tehnike oplemenjivanja, kao i koncentracije mirisnih mikrokapsula u lakovima. Registrovani PTV na oplemenjenim otiscima (štamptom obe procesne boje) je generalno manji u slučaju oplemenjenih otisaka L₂ lakom u odnosu na otiske oplemenjene L₁ lakom u okviru iste tehnike oplemenjivanja. Moguć razlog višeg PTV oplemenjenih otisaka ovim lakom je sastav L₁ laka, u kom se nalaze čestice polietilenskog voska. Takođe, izmereni PTV na otiscima oplemenjenim flekso tehnikom štampe znatno je manji u odnosu na PTV otisaka oplemenjenih automatskom tehnikom premazivanja, na čega je uticala veća debljina nanešenog sloja laka korišćenjem ove tehnike oplemenjivanja. Veća debljina sloja laka na otiscima oplemenjenim automatskom tehnikom premazivanja je prouzrokovala više vrednosti optičke gustine, a obzirom da se tonske vrednosti u samom mernom uređaju preračunavaju na osnovu dobijenih vrednosti optičke gustine i vrednosti PTV su nužno bile veće. U slučaju ovog parametra kvaliteta štampe (PTV) nije uočen dominantan trend u zavisnosti od primenjene masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u lakovima, zato se ne može sa sigurnošću reći koja koncentracija mirisnih mikrokapsula omogućava najkvalitetniji otisak, odnosno otisak sa PTV koji je najbliži štampanom, neoplemenjenom otisku. Na oplemenjenim otiscima štampanim cijan bojom, veći PTV je zabeležen na mat premaznom papiru, dok je kod oplemenjenih otisaka štampanih magenta bojom veći PTV zabeležen na sjajnom premaznom papiru. Dobijeni rezultati su posledica viših vrednosti optičke gustine oplemenjenih otisaka štampanih cijan bojom na mat premaznom papiru i viših vrednosti optičke gustine oplemenjenih otisaka magenta bojom na sjajnom premaznom papiru, obzirom da se TV izračunava (u samom mernom uređaju) na osnovu optičke gustine punog tona i optičke gustine rasterskih polja.

7.3.5.3 Diskusija rezultata relativne spektralne refleksije oplemenjenih otisaka

Sve dobijene krive relativne spektralne refleksije oplemenjenih otisaka imaju gotovo identičan oblik, koji definiše ton boje izmerenog polja punog tona štampanog cijan, odnosno magenta bojom, što znači da je i rezultujuća boja oplemenjenih otisaka relativno biska boji neoplemenjenog otiska. Oplemenjeni otisci mirisnim mikrokapsulama u masenoj koncentraciji od 15%, generalno imaju najvišu vrednost relativne spektralne refleksije, što je uslovlila bela boja omotača nanešenih mirisnih mikrokapsula, koja je omogućila veću reflektivnost ovih otiska u odnosu na otiske oplemenjene manjim koncentracijama mirisnih mikrokapsula u lakovima. Nasuprot otiscima oplemenjenim mirisnim mikrokapsulama, otisci oplemenjeni samo lakovima, bez mikrokapsula, imaju generalno najmanju vrednost relativne spektralne

refleksije, što je posledica karakteristika boje i transparentije korišćenih lakova. Generalno više vrednosti relativne spektralne refleksije su zabeležene na oplemenjenim otiscima L_1 lakom u odnosu na otiske oplemenjene L_2 lako, što je posledica sadržaja čestica polietilenskog voska koji je bele boje, pa je i intenzitet refleksije na ovim oplemenjenim otiscima bio veći. Što se tiče razlike između registrovanih vrednosti relativne spektralne refleksije na otiscima oplemenjenim pomoću automatske tehnike premazivanja i onih oplemenjenih flekso tehnikom štampe, iako nisu zabeležena značajna odstupanja, generalno više vrednosti imaju oplemenjeni otisci flekso tehnikom. Obzirom da je određivanjem distribucije mirisnih mikrokapsula u oplemenjenom sloju laka utvrđeno da je veći broj mirisnih mikrokapsula prisutan na površinama oplemenjenim flekso tehnikom štampe u odnosu na površine oplemenjivanje automatskom tehnikom premazivanja i da se nanešene mikrokapsule nalaze bliže površini otiska (obzirom na manju debljinu oplemenjenog sloja koju ova tehnika omogućava), kao i to da su mikrokapsule bele boje, i dobijene vrednosti relativne spektralne refleksije su veće u slučaju oplemenjenih otisaka flekso tehnikom štampe. U slučaju oplemenjenih otisaka štampanih cijan bojom, na sjajnom premaznom papiru zabeležena je viša vrednost relativne spektralne refleksije u odnosu na oplemenjene otiske na mat premaznom papiru, dok je obrnut slučaj sa otiscima štampanim magenta bojom (oplemenjeni otisci na mat premaznom papiru imaju nešto više vrednosti relativne spektralne refleksije u odnosu na otiske sjajnog premaznog papira). Dobijeni rezultati su, kao i u slučaju TV oplemenjenih otisaka, posledica viših vrednosti optičke gustine oplemenjenih otisaka štampanih cijan bojom na mat premaznom papiru u odnosu na sjajni, kao i viših vrednosti optičke gustine oplemenjenih otisaka magenta bojom na sjajnom premaznom papiru u odnosu na mat premazni papir.

7.3.5.4 Diskusija rezultata sjaja oplemenjenih otisaka

Nezavisno od boje štampanog otiska, kao i tehnike oplemenjivanja, otisci oplemenjeni samo lakovima bez mirisnih mikrokapsula, imaju značajno veće vrednosti sjaja od neoplemenjenih otisaka, ali i više vrednosti od svih ostalih otisaka oplemenjenih različitim koncentracijama mirisnih mikrokapsula. Na svim analiziranim grupama štampanih otisaka na različitim tipovima premaznih papira korišćenjem obe procesne boje, oplemenjenih različitim tipovima lakova i tehnikama oplemenjivanja, uočen je opadajući trend vrednosti sjaja sa povećanjem masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u apliciranom sloju laka. Uključivanje mirisnih mikrokapsula u proces oplemenjivanja, a naročito viših masenih koncentracija (7% i 15%), uzrokovalo je pojavu velikog broja površinskih nepravilnosti, čime se povećala površinska hrapavost oplemenjenih otisaka, obzirom da se prenešene mirisne mikrokapsule pored unutrašnjosti apliciranog sloja laka nalaze delom i na njegovoj površini, što je značajno uticalo na smanjenje spekularne refleksije oplemenjenih površina. Ovaj dominantan uticaj primene različitih koncentracija mirisnih mikrokapsula na vrednosti sjaja oplemenjenih otisaka, je utvrđen i statističkom analizom, a njegov uticaj nezavisno od korišćenog tipa laka, podloge za štampu i tehnike oplemenjivanja, shodno dobijenim vrednostima eta kvadrata, spada u red veoma velikih. Uticaj koncentracije mirisnih mikrokapsula na sjaj oplemenjenih otisaka bio najizrazitiji u slučaju otisaka oplemenjenih flekso tehnikom štampe i oplemenjenih otisaka na sjajnom premaznom papiru. Na mat premaznom papiru su zabeležene znatno niže vrednosti sjaja u odnosu na sjajni premazni papir, nezavisno od korišćene tehnike oplemenjivanja i štampane boje, što je posledica površinskih karakteristika premaznog sloja ovog papira, odnosno njegove veće površinske hrapavosti u odnosu na premazni sloj sjajnog papira. Statistička značajnost uticaja tipa korišćene podloge za štampu na vrednosti sjaja oplemenjenih otisaka je i naknadno utvrđena statističkom analizom, a uticaj ovog faktora je umeren do velik, što pokazuju vrednosti izračunatog eta kvadrata. Odstupanja registrovanih vrednosti

sjaja na oplemenjenim otiscima korišćenjem različitih tipova laka u okviru iste tehnike oplemenjivanja su vrlo male, što je pokazala i statistička analiza značajnosti uticaja ovog faktora. Automatska tehnika premazivanja je omogućila oplemenjene otiske sa većim sjajem, obzirom da ona omogućava deblji nanos laka koji u većoj meri prekriva nanešene mirisne mikrokapsule a time i finiju površinu, sa manjom površinskom hrapavosti (S_a i S_q parametar). Uticaj tehnike oplemenjivanja na rezultujuće vrednosti sjaja oplemenjenih otisaka je statistički značajan, uz relativno mali uticaj na šta sugerišu dobijene vrednosti eta kvadrata.

7.3.5.5 Diskusija rezultata razlika u boji (ΔE^*_{ab}) oplemenjenih otisaka

Na analiziranim, oplemenjenim otiscima, zabeležen je generalno rastući trend vrednosti ahromatske L^* (svetlina) i hromatske b^* koordinate CIELAB prostora boja (kod otisaka štampanih cijan bojom, a pad vrednosti hromatske b^* koordinate kod otisaka štampanih magenta bojom), kao i pad vrednosti hromatske a^* koordinate sa povećanjem masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u lakovima, odnosno u oplemenjenim slojevima. Ove promene CIE $L^*a^*b^*$ vrednosti, odnosno promene u svetlini i hromatičnosti oplemenjenih otisaka su posledica dodavanja mirisnih mikrokapsula čiji omotač je bele boje, što je rezultovalo i većim razlikama u boji u odnosu na standardom date vrednosti (ISO 12647-2, 2013), pogotovo u slučaju otisaka oplemenjenih masenom koncentracijom mirisnih mikrokapsula u lakovima od 15%.

Na mat premaznom papiru su, nezavisno od korišćenog tipa laka i tehnike oplemenjivanja, zabeležene značajno veće razlike u boji u odnosu na oplemenjene otiske na sjajnom premaznom papiru. Izračunate razlike u boji za oplemenjene otiske na sjajnom premaznom papiru generalno spadaju u grupu srednjih razlika $2 < \Delta E^*_{ab} < 3,5$ (primetne i neiskusnom posmatraču), dok razlike u boji prisutne na oplemenjenim otiscima na mat premaznom papiru u najvećem broju slučajeva spadaju u grupu očiglednih razlika u boji $3,5 < \Delta E^*_{ab} < 5$. Statistička značajnost uticaja tipa podloge za štampu je utvrđena i statističkom analizom, uz veliki uticaj na posmatranu zavisnu promenljivu, sa izrazitim uticajem na otiske oplemenjene automatskom tehnikom premazivanja. Na otiscima štampanim cijan bojom, oplemenjenim L_1 lakom su generalno zabeležene manje razlike u boji u odnosu na oplemenjene otiske L_2 lakom, dok je obrnut slučaj sa oplemenjenim otiscima, štampanim magenta bojom. Otisci štampani magenta bojom su tamniji, na čega ukazuju i manje vrednosti L^* koordinate CIE LAB prostora boja u odnosu na oplemenjene otiske štampane cijan bojom, zato je primena L_1 laka (u odnosu na primenu L_2 laka), koji sadrži bele čestice polietilenskog voska, rezultovala većim promenama L^* vrednosti ovih otisaka u odnosu na oplemenjene otiske štampane cijan bojom, a time i većim razlikama u boji u slučaju primene L_1 laka. Statistička značajnost uticaja korišćenog tipa laka je utvrđena i za ovaj faktor, uz viši uticaj na otiske oplemenjene flekso tehnikom štampe. Što se tiče registrovanih razlika u boji na otiscima oplemenjenim različitim tehnikama oplemenjivanja, prisutne razlike u boji su generalno veće na otiscima oplemenjenim flekso tehnikom štampe. Manja količina laka, odnosno manja debljina oplemenjenog sloja koji se postiže ovom tehnikom oplemenjivanja je omogućila da aplicirane mirisne mikrokapsule ne budu u potpunosti prekrivene lakom, čime je njihova bela boja u većoj meri uticala na dobijanje viših ΔE^*_{ab} vrednosti. Iako je statističkom analizom utvrđena statistička značajnost uticaja korišćene tehnike oplemenjivanja, njegov uticaj spada u red malih uticaja, što su pokazale dobijene vrednosti eta kvadrata. Koncentracija mirisnih mikrokapsula u lakovima predstavlja najuticajniji faktor na dobijene razlike u boji, bez obzira na tip korišćene podloge za štampu, laka i tehniku oplemenjivanja.

7.3.5.6 Diskusija rezultata beline i žutoće oplemenjenih premaznih papira

Postupkom oplemenjivanja dobijaju papiri manje beline, a veće žutoće u odnosu na neoplemenjene papire, bez obzira na korišćeni premazni papir, lak, koncentraciju mikrokapsula, kao i primenjenu tehniku oplemenjivanja. Prisutan je generalno rastući trend vrednosti beline (W_{cie}) uz opadajući trend vrednosti žutoće (Y_{1926}), sa povećanjem masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u lakovima, što je posebno primetno kod uzoraka oplemenjenih najvišom masenom koncentracijom (15%) mirisnih mikrokapsula u lakovima.

Oplemenjivanje L_1 lakom je nezavisno od primenjene tehnike oplemenjivanja i tipa premaznog papira omogućilo više vrednosti beline oplemenjenih premaznih papira, što se najbolje uočava kod uzoraka oplemenjenih samo lakovima bez mikrokapsula. Korišćeni L_1 lak omogućava veću belinu i manju žutoću oplemenjenih uzoraka zbog sastava u kom se nalazi određena količina polietilenskog voska koji je bele boje. Obzirom da sjajni premazni papir poseduje bolje optičke karakteristike u odnosu na mat premazni papir (veću belinu i manju žutoću), i oplemenjeni uzorci ovog premaznog papira su pokazali bolje karakteristike beline i žutoće. Oplemenjivanjem uzoraka automatskom tehnikom premazivanja, je generalno dobijena manja belina i veća žutoća u odnosu na oplemenjivanje flekso tehnikom štampe, a razlog su optičke karakteristike korišćenih lakova (transparencija i boja) kao i činjenica da se automatskom tehnikom premazivanja postiže deblji sloj laka u odnosu na debljinu sloja koju omogućava tehnika flekso štampe.

7.3.6 Diskusija rezultata distribucije mirisnih mikrokapsula u oplemenjenom sloju laka

Bez obzira na korišćeni tip laka i podloge za štampu, na površini otisaka oplemenjenih automatskom tehnikom premazivanja je registrovan znatno manji broj mirisnih mikrokapsula u odnosu na površinu oplemenjenih otisaka flekso tehnikom štampe. Pored manjeg broja registrovanih mirisnih mikrokapsula, na otiscima oplemenjenim automatskom tehnikom premazivanja je zabeležena i manja površina koju detektovane mirisne mikrokapsule prekrivaju. Razlog manjeg broja registrovanih mirisnih mikrokapsula na oplemenjenim površinama automatskom tehnikom premazivanja je taj što ova tehnika omogućava nanos debljeg sloja laka koji u većoj meri prekriva aplicirane mirisne mikrokapsule, koje se zbog toga nalaze u središnjem, unutrašnjem delu oplemenjenog sloja laka, a ne bliže površini ili na samoj površini, kao što je to slučaj sa oplemenjenim otiscima tehnikom flekso štampe. Takođe, generalno uniformnija distribucija (koeficijent asimetrije distribucije S_k bliži vrednosti 0) mirisnih mikrokapsula je registrovana na otiscima oplemenjenim flekso tehnikom štampe kako za parametar registrovanog broja mikrokapsula (n), tako i za parametar površine koju one zauzimaju (A). Statističkom analizom je utvrđeno da uticaj tehnike oplemenjivanja na distribuciju mirisnih mikrokapsula na oplemenjenoj površini jeste statistički značajan i to bez obzira na primenjeni tip laka, a uticaj ovog faktora je izraženiji kod otisaka oplemenjenih L_2 lakom, obzirom na dobijene vrednosti eta kvadrata. Veći broj mirisnih mikrokapsula kao i veća površina koju one prekrivaju je generalno zabeležena kod mat premaznog papira u odnosu na sjajni premazni papir u slučaju otisaka oplemenjenih L_1 lakom nezavisno od primenjene tehnike oplemenjivanja. Automatska tehnika premazivanja L_1 lakom na mat premaznom papiru je omogućila ravnomerniju distribuciju apliciranih mikrokapsula (parametri n i A) u odnosu na oplemenjene otiske sjajnog premaznog papira, dok je obrnut slučaj sa otiscima oplemenjenim flekso tehnikom štampe, L_1 lakom (bolja distribucija mikrokapsula na oplemenjenim otiscima sjajnog premaznog papira). Kod otisaka oplemenjenih automatskom tehnikom premazivanja L_2 lakom, vrlo sličan broj mirisnih mikrokapsula je registrovan na oba premazna papira, ali je veća površina koju prekrivaju, kao i ravnomernija distribucija mirisnih mikrokapsula zabeležena na sjajnom premaznom

papiru. Kod oplemenjenih otisaka L₂ lakom, korišćenjem flekso tehnike štampe, znatno veći broj mikrokapsula, kao i veća površina koju one prekrivaju je zabeležena u slučaju oplemenjenih otisaka na mat premaznom papiru. Prema koeficijentu asimetrije distribucije za registrovani broj mikrokapsula u svakom segmentu analizirane slike (n parametar), uniformniju distribuciju mikrokapsula ima oplemenjeni otisak na sjajnom premaznom papiru, dok prema koeficijentu asimetrije distribucije za površinu koju zauzimaju registrovane mikrokapsule u svakom segmentu analizirane slike (A parametar), pravilniju distribuju na površini oplemenjenog otiska imaju oplemenjeni otisci mat premaznog papira. Na osnovu predstavljenih rezultata distribucije mirisnih mikrokapsula kao i na osnovu nakanadne statističke analize utvrđeno je da je na oplemenjenim otiscima sjajnog premaznog papira postignuta generalno bolja distribucija nanešenih mirisnih mikrokapsula (n parametar), odnosno da je uticaj korišćenih podloga za štampu na posmatranu zavisnu promenljivu, bez obzira na primenjeni tip laka i tehnike oplemenjivanja statistički značajan. Statističkom analizom je utvrđeno da uticaj tipa laka na detektovani broj mirisnih mikrokapsula na površini oplemenjenih otisaka nije statistički značajan.

7.3.7 Diskusija rezultata prisustva i intenziteta prisutnog mirisa u oplemenjenim otiscima

Funkcionalna svojstva oplemenjenih otisaka mirisnim mikrokapsulama predstavljaju njihovu najbitniju karakteristiku, zato je pored prethodno izvršenih analiza fizičkih, mehaničkih i optičkih karakteristika, izvršeno i testiranje prisustva i intenziteta prisutnog mirisa u oplemenjenim otiscima, subjektivnom metodom pomoću ispitanika (dvanaest). Pored informacije o funkcionalnim karakteristikama oplemenjenih otisaka lakom i mirisnim mikrokapsulama tokom perioda eksploatacije od deset nedelja, rezultati ovog testa su omogućili i informaciju o tome koja tehnika oplemenjivanja (automatska tehnika premazivanja ili flekso tehnika štampe), omogućava bolju funkcionalnost, odnosno oplemenjene otiske sa intenzivnijim mirisom. Kao što je navedeno u metodama, za testiranje su korišćeni otisci mat premaznog papira štampani cijan bojom, oplemenjeni mirisnim mikrokapsulama (kombinacija esencijalnih ulja sa mirisom žalfije, ruzmarina i lavande; Melamin, Slovenija) u masenoj koncentraciji u L1 laku od 15%, pomoću automatske tehnike premazivanja i flekso tehnike štampe.

Obzirom da se enkapsulirano eterično ulje sastoji od kombinacije tri različita mirisa (žalfija, ruzmarin i lavanda), mali broj ispitanika (dva od dvanaest – 16,67%) je uspeo da prepozna enkapsulirani miris. Većina ispitanika smatra da je miris koji su osetili prijatan (75% ukupnog broja ispitanika), a 50% ispitanika smatra da je percipirani miris veoma prijatan, 8,33% ispitanika smatra da je miris blago neprijatan, dok 16,67% ispitanika percipirani miris smatra vrlo zanimljivim.

Na osnovu rezultata testiranja prisustva i intenziteta prisutnog mirisa netrljanih oplemenjenih otisaka, utvrđeno je da je intenzitet percipiranog mirisa veoma mali (najbliži kategoriji „bez mirisa“ – ocena 1), i to za oba seta uzoraka oplemenjenih različitim tehnikama, tokom svih deset nedelja testiranja (6 test termina). Iako dobijeni rezultati ukazuju na opadajući trend percipiranog intenziteta mirisa sa vremenom, odnosno na isparavanje enkapsuliranog mirisa iz apliciranih mikrokapsula, intenzitet mirisa koji su ispitanici osetili kod do tada prvi put trljanih uzoraka (nakon deset nedelja; 6. test termin) su ocenili kao najintenzivniji u okviru pripadajuće tehnike oplemenjivanja. Ovo ukazuje na to da na sobnoj temperaturi miris iz mikrokapsula ne isparava tokom vremena, tj. tokom vremenskog perioda trajanja testa od deset nedelja, već da se jedino, kako je prethodno utvrđeno prema testu Šumige (2013), miris difuzno oslobađa kroz omotač mikrokapsula tek nakon određenog vremenskog perioda (180 minuta) provedenog na povišenoj temperaturi (135 °C).

Rezultati intenziteta percipiranog mirisa trljanih otisaka, oplemenjenih automatskom tehnikom premazivanja i fleksno tehnikom štampe su pokazali da tehnika fleksno štampe omogućava oplemenjene otiske značajno većeg intenziteta mirisa u odnosu na oplemenjene otiske automatskom tehnikom premazivanja. Statistička analiza je pokazala da uticaj primenjene tehnike oplemenjivanja ima veliki uticaj na percipirani intenzitet mirisa oplemenjenih otisaka, što ukazuje na velike razlike registrovanog intenziteta mirisa otisaka oplemenjenim različitim tehnikama oplemenjivanja. Kao što je utvrđeno prethodnim analizama dobijenih rezultata različitih eksperimenata u okviru rezultata glavnog dela istraživanja ove doktorske disertacije, na bolju funkcionalnost otisaka oplemenjenih fleksno tehnikom štampe su uticala dva faktora. Prvi je manja debljina oplemenjenog sloja laka koji se dobija oplemenjivanjem fleksno tehnikom štampe, što je omogućilo veću izloženost nanešenih mirisnih mikrokapsula, kao i veći broj prisutnih mirisnih mikrokapsula na površini oplemenjenih otisaka ovom tehnikom oplemenjivanja, a time i lakšu aktivaciju, tj. pucanje mikrokapsula trljanjem (rezultati debljine i morfologije oplemenjenih otisaka). Drugi faktor je generalno bolja distribucija, odnosno raspored nanešenih mirisnih mikrokapsula na oplemenjenim površinama pomoću fleksno tehnike štampe (rezultati distribucije mirisnih mikrokapsula na površini oplemenjenih otisaka).

Trljanjem uzoraka, tokom vremena, postepeno se smanjuje intenzitet mirisa oplemenjenih otisaka, nezavisno od primenjene tehnike oplemenjivanja, jer trljanjem oplemenjenih otisaka omotač nanešenih mirisnih mikrokapsula puca i dolazi do oslobađanja enkapsuliranog mirisa, što posledično utiče na smanjenje preostale količine mirisa u mirisnim mikrokapsulama, odnosno u apliciranim funkcionalnim premazima. U slučaju oplemenjenih otisaka automatskom tehnikom premazivanja, intenzitet mirisa se nakon deset nedelja, odnosno šest termina testiranja ($6 \times 4 = 24$ trljanja) smanjio za 21,88%, dok je u slučaju oplemenjenih otisaka fleksno tehnikom štampe percipirani intenzitet mirisa bio manji na poslednjem, šestom testiranju za 23,91% u odnosu na registrovani intenzitet mirisa na prvom terminu testiranja. Obzirom da u odnosu na tehniku fleksno štampe automatska tehnika premazivanja omogućava deblji sloj laka na podlozi za štampu, nanešene mirisne mikrokapsule su na ovaj način samim oplemenjenim slojem laka bile zaštićenije od spoljnih uticaja (trljanja) u odnosu na mikrokapsule nanešene fleksno tehnikom štampe, pa su dobijene vrednosti procentualnog pada intenziteta mirisa oplemenjenih otisaka različitim tehnikama nakon šestog test termina oplemenjivanja bile očekivane. Takođe, na osnovu rezultata izračunatog procentualnog udela dodeljenog ranga trljanih uzoraka, na svakom od šest test termina je utvrđeno da je najintenzivniji miris uvek bio prisutan na uzorcima koji su tada prvi put bili protrljani nezavisno od primenjene tehnike oplemenjivanja. Statističkom analizom rezultata percipiranog intenziteta mirisa oplemenjenih otisaka je utvrđeno da oba faktora (tehnika i termin testiranja) imaju veoma velik uticaj na dobijene vrednosti percipiranog intenziteta mirisa, uz dominantniji uticaj termina testiranja, što su pokazale i dobijene vrednosti eta kvadrata. Statistička analiza je pokazala da je jedino razlika između registrovanog intenziteta mirisa na prvom terminu testiranja i svih ostalih termina statistički značajna, što daje indikaciju značajnog pada intenziteta mirisa već nakon prvog termina testiranja, odnosno prvog trljanja.

8 Zaključci istraživanja

Oplemenjivanjem štampanih otisaka mikrokapsulama se dodaje vrednost štampanom proizvodu, što mu omogućava određenu funkcionalnost, ali mu se nužno menjaju i osnovne fizičke, mehaničke i optičke karakteristike. Zato je u ovoj doktorskoj disertaciji sprovedena detaljna karakterizacija najbitnijih fizičkih, mehaničkih, optičkih i funkcionalnih svojstava otisaka oplemenjenih različitim masenim koncentracijama mirisnih mikrokapsula, različitim tipovima lakova, različitim tehnikama oplemenjivanja na različitim tipovima podloga za štampu. Ova detaljna karakterizacija je omogućila veliki broj informacija kako o najbitnijim parametrima kvaliteta otisaka, tako i o stanju i ponašanju mirisnih mikrokapsula u toku procesa oplemenjivanja kao i u oplemenjenom sloju laka, čime se dobila kvalitetnija i potpunija analiza u odnosu na do sada korišćene metode za karakterizaciju oplemenjenih otisaka mirisnim mikrokapsulama. Na osnovu dobijenih rezultata analize najbitnijih fizičkih, mehaničkih, optičkih i funkcionalnih karakteristika oplemenjenih otisaka mirisnim mikrokapsulama, moguće je da se uticajem na pojedine aspekte pripreme i aplikacije mirisnih mikrokapsula, odnosno izborom adekvatnih parametara procesa oplemenjivanja unapredi kvalitet otiska oplemenjenih na ovaj način.

Na osnovu prezentovane metode karakterizacije oplemenjenih otisaka mirisnim mikrokapsulama, dobijenih eksperimentalnih rezultata i naknadnih statističkih analiza, može se zaključiti da je hipoteza H1 potvrđena, odnosno da je moguće razviti metod za karakterizaciju otisaka oplemenjenih mirisnim mikrokapsulama, koji omogućava njihovu kvalitetniju i sveobuhvatniju analizu što je obezbedilo bolji uvid u stanje mirisnih mikrokapsula u prenetom sloju laka, ponašanje mikrokapsula tokom procesa oplemenjivanja, kao i na koji način i u kojoj meri oplemenjivanje podloge mirisnim mikrokapsulama utiče na najbitnije karakteristike oplemenjenih materijala i otisaka.

Obzirom da su karakteristike korišćenih materijala u procesu oplemenjivanja (podloga za štampu, lak i mirisne mikrokapsule), zatim specifičnosti korišćenih tehnika za oplemenjivanje (automatska tehnika premazivanja i flekso tehnika štampe), kao i različite koncentracije mirisnih mikrokapsula u lakovima, u velikoj meri uticale na površinska svojstva oplemenjenih otisaka, a time i na najbitnije optičke karakteristike oplemenjenih otisaka mirisnim mikrokapsulama, hipoteza H2 je potvrđena.

Takođe, definisana i korišćena merna metoda za određivanje distribucije mirisnih mikrokapsula u oplemenjenom sloju laka, oplemenjenih otisaka, dala je dobru procenu kvaliteta otisaka oplemenjenih flekso tehnikom štampe (test mirisa) i otisaka oplemenjenih na sjajnom premaznom papiru na osnovu utvrđene distribucije mirisnih mikrokapsula, tako da je na ovaj način i hipoteza H3 potvrđena.

Analizirane mirisne mikrokapsule, koje su korišćene u postupku oplemenjivanja, su relativno malih ali vrlo ujednačenih veličina (relativno uska distribucija veličina), glatke površine omotača, veoma pravilnog, sfernog oblika, što je razlog lakog uočavanja na oplemenjenim površinama čak i kod otisaka oplemenjenih samo sa masenom koncentracijom mirisnih mikrokapsula u lakovima od 1%. Bitna stvar je da ne aglomeriraju, što je prevashodno karakteristika mikrokapsula u praškastom obliku. Pregledom literature zaključeno je da bolje mehaničke karakteristike imaju mikrokapsule malih veličina, ova karakteristika bi trebalo da im omogući dobru funkcionalnost, odnosno da duži vremenski period traje

aplicirani miris. Takođe, enkapsulirani miris će početi difuzno da se oslobađa kroz omotač ovih mirisnih mikrokapsula, ali tek nakon 30 minuta provedenih u sušnici na 135 °C.

Na osnovu eksperimentalnih rezultata i naknadnih statističkih analiza izvedeni su sledeći zaključci o uticaju svih variranih faktora prilikom procesa oplemenjivanja otisaka (tip laka i podloge za štampu, upotreba različitih tehnika oplemenjivanja i masenih koncentracija mirisnih mikrokapsula) i date su preporuke za izbor najpogodnije tehnike oplemenjivanja, tipa laka i tipa podloge za štampu:

Uticaj tehnike oplemenjivanja na karakteristike oplemenjenih otisaka

Izvršenim statističkim analizama je ustanovljeno postojanje velikog uticaja tehnike oplemenjivanja, kao statistički značajnog faktora, na gotovo sve merene parametre u okviru karakterizacije oplemenjenih otisaka mirisnim mikrokapsulama (debljina oplemenjenog sloja, gramatura oplemenjenih otisaka, mehaničke karakteristike, optička gustina, distribucija mikrokapsula, intenzitet mirisa), dok je uticaj ovog faktora na sjaj i dobijene razlike u boji relativno mali. Takođe, iako su otisci oplemenjeni flekso tehnikom štampe generalno imali veću površinsku hrapavost, statistička analiza uticaja ovog faktora na površinsku hrapavost oplemenjenih otisaka je pokazala da je on statistički insignifikantan.

Na osnovu rezultata SEM analize, zaključuje se da se i automatska tehnika premazivanja i flekso tehnika štampe mogu uspešno koristiti za postupak oplemenjivanja otisaka mirisnim mikrokapsulama, obzirom da aplicirane mirisne mikrokapsule nisu imale nikakva oštećenja. Međutim, rezultati testa prisustva mirisa su pokazali da otisci oplemenjeni automatskom tehnikom premazivanja ne ispunjavaju u potpunosti svoju osnovnu funkciju, obzirom da prisutan miris oplemenjenih otisaka ovom tehnikom, nije bio dovoljnog intenziteta.

Oplemenjivanjem tehnikom flekso štampe dobija se znatno manja debljina oplemenjenog sloja, a time i manja gramatura oplemenjenih otisaka u odnosu na oplemenjivanje automatskom tehnikom premazivanja, što ima pozitivne, ali i negativne efekte na merene fizičke, mehaničke, optičke i funkcionalne karakteristike oplemenjenih otisaka. Oplemenjeni slojevi manje debljine, dobijeni flekso tehnikom štampe, imaju lošije mikromehaničke karakteristike (što je potvrđeno i testom mirisa većim procentualnim padom intenziteta mirisa nakon deset nedelja ispitivanja). Takođe, specifičnost same tehnike flekso štampe, kojom se postiže manja debljina oplemenjenog sloja i veći broj prisutnih mirisnih mikrokapsula na oplemenjenoj površini, u interakciji sa optičkim karakteristikama korišćenih lakova (njihova boja i transparentija) i primenjenih mirisnih mikrokapsula (bela boja omotača), omogućila je generalno manje vrednosti optičke gustine i sjaja, veće razlike u boji (u odnosu na standardne vrednosti) i veću relativnu spektralnu refleksiju (zabeležena odstupanja su mala), znatno manji PTV, veću belinu uz manju žutoću korišćenih premaznih papira, kao i značajno bolje funkcionalne karakteristike u odnosu oplemenjene otiske dobijene automatskom tehnikom premazivanja. Tehnikom flekso štampe se postiže značajno veći intenzitet mirisa oplemenjenih otisaka u odnosu na automatsku tehniku premazivanja, jer omogućava uniformniju distribuciju apliciranih mirisnih mikrokapsula, kao i njihov znatno veći broj i površinu na oplemenjenim otiscima. Tanji nanos sloja laka, koji se dobija flekso tehnikom štampe, u manjoj meri prekriva aplicirane mirisne mikrokapsule, koje su na taj način pozicionirane bliže površini otiska i manje zaštićene oplemenjenim slojem laka, a samim tim i izloženije uticaju trljanja, što omogućava njihovu lakšu aktivaciju, odnosno brže pucanje omotača mikrokapsula i oslobađanje enkapsuliranog mirisa. Još jedna prednost tehnike flekso štampe je i to što omogućava zadržavanje krupnijih čestica polietilenskog voska u sastavu L₁ laka na rakel nožu (prilikom procesa oplemenjivanja), koje mogu imati negativan uticaj na kvalitet oplemenjenih otisaka.

Na osnovu prezentovanih rezultata, zaključuje se da je korišćenje flekso tehnike štampe za oplemenjivanje, ili tehnika koje funkcionišu na sličnom principu, koje uz primenu relativno malog pritiska omogućavaju malu debljinu oplemenjenog sloja, a time pored bolje funkcionalnosti oplemenjenih površina obezbeđuju i manju potrošnju sredstva za oplemenjivanje. Takođe, zaključuje se da je hipoteza H4 potvrđena, odnosno da tehnika oplemenjivanja ima veliki uticaj na funkcionalnost oplemenjenih površina mikrokapsulama. Pored velikog uticaja tehnike oplemenjivanja, ustanovljen je još veći uticaj vremena, odnosno termina testiranja na prisutni intenzitet mirisa oplemenjenih otisaka.

Uticaj tipa laka na karakteristike oplemenjenih otisaka

Izvršenim statističkim analizama je utvrđeno da tip korišćenog laka (L_1 i L_2) ima mali uticaj na pojedine analizirane fizičke, mehaničke i optičke karakteristike oplemenjenih otisaka, dok na određene uopšte nema statistički značajan uticaj. Statistička analiza korišćenog tipa laka je pokazala statističku značajnost njegovog uticaja na površinsku hrapavost, mikromehaničke karakteristike, sjaj i dobijene razlike u boji oplemenjenih otisaka, dok statistička značajnost ovog faktora nije postojala u slučaju debljine, gramature, optičke gustine oplemenjenih otisaka, kao i distribucije mirisnih mikrokapsula na oplemenjenim površinama različitim lakovima. Funkcionalne karakteristike oplemenjenih otisaka nisu ispitane za oba tipa laka, jer su samo oplemenjeni otisci L_1 lakom bili obuhvaćeni testom određivanja prisustva i intenziteta prisutnog mirisa u oplemenjenim otiscima.

Na osnovu analize SEM slika je utvrđeno da se u odnosu na korišćenje L_1 laka, oplemenjivanjem L_2 lakom omogućava veći broj mirisnih mikrokapsula na oplemenjenim površinama masenom koncentracijom mirisnih mikrokapsula od 1%. Specifičnost oplemenjenih površina L_1 lakom su vrlo uočljive nepravilnosti, nastale kao posledica prisustva čestica polietilenskog voska u sastavu ovog laka, što je utvrđeno i naknadnim određivanjem površinskih karakteristika oplemenjenih otisaka, odnosno njihove površinske hrapavosti. Zbog toga, kao i zbog nižeg površinskog napona L_2 laka, odnosno boljeg kvašenja podloge za štampu, otisci oplemenjeni L_2 lakom su imali ravniju, pravilniju i finiju površinsku strukturu kao i generalno manji PTV u odnosu na otiske oplemenjene L_1 lakom bez obzira na korišćenu tehniku oplemenjivanja i podlogu za štampu. Zbog belih čestica polietilenskog voska u sastavu L_1 laka oplemenjeni uzorci ovim lakom generalno imaju višu vrednost relativne spektralne refleksije, beline uz manju vrednost žutoće, kao i više vrednosti razlike u boji (otisci štampani magenta bojom). Međutim, oplemenjeni slojevi dobijeni L_2 lakom su krtiji i podložniji oštećenjima, što može da ima negativan uticaj na njegove mikromehaničke i funkcionalne karakteristike. Iako se uticaj tipa laka pokazao kao mali ali statistički značajan na veličinu deformacije oplemenjenog sloja, na osnovu dobijenih rezultata nanoindentacije je teško izvući precizne zaključke o tome koji tip laka omogućava bolja mehanička svojstva i eventualno veću postojanost oplemenjenih slojeva. Takođe, primena L_2 laka i mirisnih mikrokapsula u masenoj koncentraciji od 15% automatskom tehnikom premazivanja, dovela je do blage pojave aglomeracije, odnosno grupisanja apliciranih mirisnih mikrokapsula što je posledica veće gustine i viskoziteta ovog laka u odnosu na L_1 lak. Aglomeracija može da ima negativan efekat na distribuciju mikrokapsula na oplemenjenim površinama, a time i na njihove funkcionalne karakteristike. Takođe L_2 lak ima i manju pH vrednost u odnosu na L_1 lak, međutim efekti ovih razlika pH vrednosti na kvalitet štampe i oplemenjenih otisaka nisu primećeni.

Na osnovu predstavljenih rezultata zaključuje se da je za oplemenjivanje otisaka mirisnim mikrokapsulama pogodnije korišćenje lakova bez primesa (L_2 lak), u odnosu na L_1 lak koji sadrži čestice

polietilenskog voska, jer kao što je pokazano ovakve primese mogu da utiču na površinske karakteristike (površinsku hrapavost), mehaničke i optičke karakteristike oplemenjenih otisaka.

Uticaj tipa podloge za štampu na karakteristike oplemenjenih otisaka

Sprovedene statističke analize su pokazale da je uticaj korišćenja različitog tipa podloge za štampu u procesu oplemenjivanja, statistički značajan u slučaju svih merenih parametara za koje je urađena statistička analiza, osim uticaja na površinsku hrapavost oplemenjenih otisaka. Tip podloge za štampu predstavlja statistički značajan faktor, sa velikim uticajem na vrednosti optičke gustine, razlike u boji, distribuciju mirisnih mikrokapsula na oplemenjenoj površini, dok je nešto manji uticaj ovog faktora utvrđen na mikromehaničke karakteristike i sjaj, uz mali uticaj na debljinu oplemenjenog sloja i gramaturu oplemenjenih otisaka. Funkcionalne karakteristike oplemenjenih otisaka nisu ispitane za oba tipa premaznog papira, obzirom da su samo oplemenjeni otisci mat premaznog papira bili obuhvaćeni testom određivanja prisustva i intenziteta prisutnog mirisa u oplemenjenim otiscima.

Mat premazni papir je omogućio dobijanje veće debljine oplemenjenog sloja u odnosu na uzorke sjajnog premaznog papira, što je posledica njegove nehomogenije površinske strukture, kao i specifične karakteristike površine sjajnog premaznog papira koja je prekrivena veoma velikim brojem šupljina, zato se smatra da je tokom oplemenjivanja u ove šupljine dospela određena količina laka, čime se smanjila debljina oplemenjenih slojeva na ovom premaznom papiru. Takođe, i gramatura oplemenjenih slojeva mat premaznog papira je bila veća u odnosu na gramaturu oplemenjenih slojeva sjajnog premaznog papira, što je u saglasnosti sa rezultatima izmerene debljine oplemenjenih slojeva. Na osnovu SEM analize, uočeno je da površina mat premaznog papira ima grublju, hrapaviju površinsku strukturu u odnosu na sjajni premazni papir, ali i značajno manji broj šupljina na površini koje su i manjih veličina u odnosu na sjajni premazni papir, međutim nije utvrđena velika razlika kvaliteta površinske strukture oplemenjenih otisaka na isti način, korišćenjem dva različita tipa premaznog papira, što je potvrdila i naknadna statistička analiza uticaja tipa premaznog papira na površinsku hrapavost oplemenjenih otisaka. Ofset tabačnom štampom, kojom je primenjen štamparski pritisak određenog intenziteta, kao i boja za štampu, dobija se površina drugačijih karakteristika u odnosu na površinu neodštampanog premaznog papira. Mat premazni papir je nakon štampe postao gladi, a sjajni premazni papir je postao hrapaviji u odnosu na neodštampani premazni papir. Međutim, ni kod jednog ni kod drugog premaznog papira odštampani sloj cijan boje nije u potpunosti bio ravnomeran zbog neuniformne površinske strukture korišćenih papira (SEM analiza). Takođe, proces štampe pune tonske površine je unapredio mikromehaničke karakteristike premaznih papira, što je postignuto i oplemenjivanjem što je obezbedilo generalno bolje mikromehaničke karakteristike oplemenjenih otiska u odnosu na štampane, neoplemenjene premazne papire. Iako je mat premazni papir, kako neodštampan, tako i odštampan, pokazao bolja mikromehanička svojstva u odnosu na uzorke sjajnog premaznog papira, dobijeni rezultati mehaničkih karakteristika oplemenjenih otisaka, u pogledu odabira tipa premaznog papira koji bi omogućio bolja mehanička svojstva oplemenjenih slojeva, su inkonkluzivni.

U zavisnosti od prethodno odštampane boje (cijan, magenta) oplemenjeni otisci mat premaznog papira su generalno imali više (u slučaju cijan boje) ili manje (u slučaju magenta boje) vrednosti optičke gustine i PTV u odnosu na oplemenjene otiske sjajnog premaznog papira. Takođe, oplemenjeni otisci sjajnog premaznog papira, u slučaju cijan boje, su imali višu vrednost relativne spektralne refleksije u odnosu na oplemenjene otiske na mat premaznog papira, dok je obrnut slučaj sa otiscima koji su štampani magenta bojom. Dobijeni rezultati PTV i relativne spektralne refleksije su posledica viših vrednosti

optičke gustine oplemenjenih otisaka štampanih cijan bojom na mat premaznom papiru, odnosno viših vrednosti optičke gustine oplemenjenih otisaka magenta bojom na sjajnom premaznom papiru. Upotreba sjajnog premaznog papira je omogućila znatno više vrednosti sjaja u odnosu na oplemenjene otiske mat premaznog papira, što je posledica površinskih karakteristika premaznih slojeva korišćenih papira, obzirom da uticaj tipa premaznog papira na površinsku hrapavost oplemenjenih slojeva nije bio statistički značajan. Takođe, oplemenjeni otisci sjajnog premaznog papira imaju značajno manje razlike u boji, kao i bolju distribuciju nanešenih mirisnih mikrokapsula u odnosu na oplemenjene otiske na mat premaznom papiru, a obzirom da on poseduje i inicijalno bolje optičke karakteristike u odnosu na mat premazni papir (veću belinu i manju žutoću), i oplemenjeni uzorci ovog papira su pokazali bolje karakteristike beline i žutoće.

Na osnovu prezentovanih rezultata, zaključuje se da je za postupak oplemenjivanja bolje koristiti sjajne premazne papire u odnosu na mat premazne, obzirom na manju debljinu oplemenjenog sloja (bolja funkcionalnost), veći sjaj, manja odstupanja od standardom definisanih CIE $L^*a^*b^*$ vrednosti (manje razlike u boji), bolju distribuciju mirisnih mikrokapsula na oplemenjenoj površini.

Uticaj masene koncentracije mirisnih mikrokapsula na karakteristike oplemenjenih otisaka

Statističkom analizom je utvrđeno da je primena različitih masenih koncentracija mirisnih mikrokapsula u postupku oplemenjivanja otisaka, nezavisno od korišćenog tipa laka, podloge za štampu i tehnike oplemenjivanja, bio statistički značajan faktor sa najvećim uticajem na sve ispitivane i statističkom analizom obuhvaćene karakteristike oplemenjenih otisaka (debljina, gramatura, površinska hrapavost, mikromehaničke karakteristike, optičku gustinu, sjaj i razlike u boji). Obzirom da je određivanje funkcionalnih karakteristika oplemenjenih otisaka, kao i određivanje distribucije mirisnih mikrokapsula na oplemenjenim otiscima ispitano samo za otiske oplemenjene masenom koncentracijom mirisnih mikrokapsula od 15%, egzaktna informacija o tome koja koncentracija mirisnih mikrokapsula omogućava bolje karakteristike u pogledu navedenih parametra ne postoji. Međutim, veća masena koncentracija mikrokapsula u laku omogućava i veći broj mirisnih mikrokapsula u samom sloju laka, a time sigurno i bolju i dužu funkcionalnost oplemenjenih površina mirisnim mikrokapsulama.

Porastom masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u oplemenjenom sloju laka, raste debljina i gramatura oplemenjenih slojeva, nezavisno od tipa primenjenog tipa laka, podloge za štampu i tehnike oplemenjivanja. Sprovedenim SEM i AFM analizama je utvrđeno da otisci oplemenjeni samo lakovima bez mikrokapsula, imaju najpravilniju (najgladju) površinsku strukturu, a da se povećavanjem masene koncentracije mikrokapsula u lakovima dobijaju oplemenjeni otisci grublje (hrapavije) i nepravilnije površinske strukture, jer su prenete mirisne mikrokapsule pozicionirane kako unutar oplemenjenog sloja laka, tako i delimično iznad njega što utiče na povećanje broja nepravilnosti na površini oplemenjenih otisaka. Bez obzira na tip korišćenog laka, podloge za štampu i tehnike oplemenjivanja, prisutan je dominantan trend porasta vrednosti površinske hrapavosti (S_a i S_q parametri) oplemenjenih otisaka sa povećanjem masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u oplemenjenom sloju laka, tako da su najviše vrednosti površinske hrapavosti dobijene oplemenjivanjem otisaka masenom koncentracijom mikrokapsula od 15%. Takođe, zabeležen je generalno opadajući trend vrednosti S_{sk} i S_{ku} parametara sa porastom masene koncentracije mikrokapsula u lakovima, jer se karakteristična površinska struktura sa relativno malim brojem visokih izolovanih vrhova menjala, pa je uz pojavu novih vrhova (što je posledica dodatih mirisnih mikrokapsula), došlo i do formiranja novih udubljenja (između novonastalih vrhova), što je omogućilo da površinska struktura oplemenjenih otisaka postane izbalansirana.

Dobijeni rezultati mehaničkih karakteristika oplemenjenih otiska na premaznim papirima se u velikoj meri razlikuju od trenda rezultata preliminarnih istraživanja, gde je utvrđeno da veća koncentracija mikrokapsula unapređuje mehaničke osobine. Specifičan razlog koji je uslovio ova odstupanja nije otkriven, ali je pretpostavka da je više faktora uticalo na rezultate: 1) karakteristike papira (tanak materijal; u poređenju sa transparentnom folijom je neelastičan, nehomogen, anizotropan i higroskopan; teško ga je čitavom površinom ravnomerno postaviti na postolje nanoindentera), 2) karakteristike oplemenjenih površina (neuniformana površinska struktura; distribucija apliciranih mikrokapsula; nepravilnosti – čestice polietilenskog voska, vazdušni mehurići); 3) ograničenja merne metode (mogućnost preciznog podešavanja merne glave isključivo na površine sa prisutnim mirisnim mikrokapsulama). Rezultati izvršene nanoindentacije u pogledu odabira masene koncentracije mikrokapsula koja bi omogućila bolja mikromehanička svojstva oplemenjenih otisaka i eventualno njihovu veću postojanost, kao i mogućnost produženog dejstva apliciranih mirisa, su inkonkluzivni. Zbog toga bi se trebalo voditi preporukama da se u narednim eksperimentima izvrši višestruko testiranje pojedinačnih lokacija na uzorcima, korišćenjem mernih glava za nanoindentaciju drugačije, sferne geometrije vrha, koje bi omogućile veću kontaktnu površinu sa testiranim uzorcima (West, i drugi, 2008).

Nakon inicijalnog skoka vrednosti optičke gustine i pada vrednosti relativne spektrale refleksije oplemenjenih otisaka samo lakovima (što je rezultat karakteristika boje i transparentcije korišćenih lakova), oplemenjivanje otisaka kombinacijom lakova i mirisnih mikrokapsula je generalno uslovilo pad vrednosti optičke gustine, odnosno rast vrednosti relativne spektrale refleksije, što se nastavilo povećavanjem masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u lakovima (7% i 15%). Opadajući trend vrednosti optičke gustine, odnosno rast vrednosti relativne spektrale refleksije oplemenjenih otisaka je rezultat bele boje omotača nanešenih mirisnih mikrokapsula u sloju laka, koja je omogućila veću reflektivnost. Dobijene krive relativne spektrale refleksije oplemenjenih otisaka imaju gotovo identičan oblik, što znači da je i rezultujuća boja oplemenjenih otisaka relativno biska boji neoplemenjenog otiska. Oplemenjeni otisci mirisnim mikrokapsulama u masenoj koncentraciji od 15%, generalno imaju najvišu vrednost, dok otisci oplemenjeni samo lakovima, bez mikrokapsula, imaju generalno najnižu vrednost relativne spektrale refleksije. Oplemenjivanje otisaka je uzrokovalo i značajan PTV u čitavom tonskom opsegu u odnosu na samo štampane otiske. U slučaju ovog parametra kvaliteta štampe ne postoji jasan trend vrednosti PTV u zavisnosti od primenjene masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u lakovima, zato se ne može sa sigurnošću reći koja koncentracija mirisnih mikrokapsula omogućava najkvalitetniji otisak, odnosno otisak sa PTV koji je najbliži štampanom, neoplemenjenom otisku. Povećanje masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u oplemenjenom sloju vrednosti sjaja opadaju, što je posledica pojave velikog broja površinskih nepravilnosti i povećanja površinske hrapavosti oplemenjenih otisaka. U slučaju vrednosti razlika u boji kao i vrednosti beline, prisutan je generalno rastući trend (uz opadajući trend vrednosti žutoće), sa povećanjem masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u lakovima, što je posebno primetno kod uzoraka oplemenjenih najvišom masenom koncentracijom (15%) mirisnih mikrokapsula u lakovima. Razlog je što se povećanje masene koncentracije mirisnih mikrokapsula u oplemenjenim slojevima menja svetlina i hromatičnost oplemenjenih otisaka, što je rezultovalo i većim razlikama u boji u odnosu na standardom date vrednosti (ISO 12647-2, 2013).

9 Naučni doprinos istraživanja i mogućnosti primene rezultata istraživanja u praksi

Pojava digitalnih medija u godinama iza nas je u velikoj meri umanjila dotadašnji uticaj grafičke industrije i time potisnula njene određene segmente, čime ju je stavila pred velike izazove. Jedan od načina da se poveća konkurentnost i tržišni udeo preduzeća koja se bave grafičkom proizvodnjom jeste kreativno inoviranje u vidu izrade potpuno novih grafičkih proizvoda sa dodatnom vrednošću. Upravo je primena mirisnih mikrokapsula u okviru grafičke industrije omogućila izradu štampanih proizvoda sa dodatnom vrednošću, odnosno proizvodnju multi-senzornih štampanih proizvoda u koje je pored vizuelnog i taktalnog aspekta izvršena integracija i mirisa.

Karakterizacija štampanih i oplemenjenih otisaka mirisnim mikrokapsulama, koja je urađena u okviru ove doktorske disertacije, je pored uobičajene analize parametara kvaliteta štampe, odnosno analize optičkih svojstava otisaka, obuhvatila i analizu drugih, bitnih osobina oplemenjenih otisaka koje utiču na i funkcionalne karakteristike oplemenjenih površina sa mirisnim mikrokapsulama. Ovakva, sveobuhvatnija karakterizacija obezbedila je informacije o ponašanju mirisnih mikrokapsula tokom procesa oplemenjivanja, o njihovom stanju na podlozi za štampu posle aplikacije, kao i o efektima same primene mirisnih mikrokapsula na kvalitet štampanih otisaka. Dobijeni rezultati su omogućili precizno definisanje efekata najbitnijih parametara procesa oplemenjivanja na karakteristike dobijenih oplemenjenih otisaka mirisnim mikrokapsulama i time obezbedili vredne informacije vezane za izbor optimalne kombinacije podloge za štampu, tehnike aplikacije mirisnih mikrokapsula i tipa laka, što će posledično uticati na dobijanje oplemenjenih površina sa unapređenim kvalitetom.

Primenjujući dobijene rezultate i zaključake ove disertacije, grafička preduzeća koja se do sada nisu bavila ovim vidom štampe proizvoda sa dodatnom vrednošću moći će da prošire svoj proizvodni asortiman i otpočnu proizvodnju oplemenjenih grafičkih proizvoda mirisnim mikrokapsulama i tako postanu konkurentniji na zahtevnom tržištu grafičkih proizvoda. Takođe, preduzeća koja imaju iskustva u izradi ovakvih ili sličnih grafičkih proizvoda mogu primeniti dobijene rezultate ovim istraživanjem kako bi unapredili ne samo kvalitet štampe, odnosno smanjili negativan uticaj apliciranih mirisnih mikrokapsula na njega, nego i poboljšali funkcionalne karakteristike oplemenjenih otisaka uz smanjenje troškova pravilnim izborom prethodno razmatranih ulaznih parametara procesa oplemenjivanja. Neki od rezultata izvršene karakterizacije se mogu primeniti i za oplemenjivanje drugih podloga koje se koriste u grafičkoj industriji, kao i drugih tipova mikrokapsula koje omogućavaju drugačije funkcionalne karakteristike, obzirom na generalno slična fizičko-mehanička svojstva različitih tipova mikrokapsula.

10 Literatura

1. 78:02, S.-P. (2002). *Paper and board - Test printing using a Prüfbau-type printability tester*. standard, Scandinavian pulp, paper and board testing committee, Stockholm, Sweden.
2. 79:02, S.-P. (2002). *Newsprint - Test printing using a Prüfbau-type printability tester*. standard, Scandinavian pulp, paper and board testing committee, Stockholm, Sweden.
3. Adithan, M., & Gupta, A. (1996). *Manufacturing Technology*. New Delhi: New Age International (P) Limited, Publishers. Preuzeto sa <https://books.google.rs/books?id=zeGOjAOZ-sMC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>
4. Agilent Technologies. (2013). Preuzeto 09 22, 2018 sa <https://matin.gatech.edu>: https://matin.gatech.edu/collections/post/67/download/G200_User_Manual_Rev_D.pdf
5. Aksoy, B., Fleming, P. D., & Joyce, M. K. (n.d.). *Whiteness evaluations on tinted and FWA added papers*. Department of Paper Engineering, Chemical Engineering and Imaging. Kalamazoo: Western Michigan University. Preuzeto sa <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.526.3850&rep=rep1&type=pdf>
6. Akzonobel. (2015). Preuzeto 07 02, 2018 sa https://www.akzonobel.com/expancel/applications/paper_and_board/
7. American Inks and Coatings. (n.d.). *www.americaninks.com*. Preuzeto 01 14, 2019 sa <http://www.americaninks.com/files/AIC%20pH%20Technical%20Bulletin.pdf>
8. American laboratory trading, I. (2018). Preuzeto 09 20, 2018 sa <https://americanlaboratorytrading.com>: https://americanlaboratorytrading.com/lab-equipment-products/binder-fed-53-ul-forced-convection-drying-oven_11127
9. Andersson, C., Järnström, L., Fogden, A., Mira, I., Voit, W., Zywicki, S., & Bartkowiak, A. (2009). Preparation and incorporation of microcapsules in functional coatings for self-healing of packaging board. *Packaging Technology and Science*, 22(5), 275-291. doi:10.1002/pts.853
10. Anon. (n.d.). Preuzeto sa <http://knowledgebase.datacolor.com>: http://knowledgebase.datacolor.com/admin/attachments/sample_prep_ink.pdf
11. Anton Paar. (n.d.). Preuzeto 09 20, 2018 sa www.mtbrandao.com: http://www.mtbrandao.com/files/products/Instruments_-_RheolabQC.pdf
12. Apsley Precision Engineering Ltd. (2018). Preuzeto 06 22, 2018 sa www.apsleyeng.co.uk: <http://www.apsleyeng.co.uk/technical-advice/surface-roughness/>
13. Arshady, R. (2003). *Microspheres, Microcapsules and Liposomes: Microcapsule Patents and Products v. 6*. London: Citus Books. Preuzeto sa https://www.amazon.in/Microspheres-Microcapsules-Liposomes-Microcapsule-microcapsules/dp/0953218767/ref=sr_1_4/258-4433351-2773511?s=books&ie=UTF8&qid=1530468062&sr=1-4&refinements=p_27%3AArshady

14. Aspler, J. S., Zou, X., Laleg, M., Manfred, T., & Grenon, J. (2015). *Br. patenta EP3140125A1*. Preuzeto sa <https://patents.google.com/patent/EP3140125A1/en>
15. ASTM D523. (1999). *Standard test method for specular gloss*. Standard, West Conshohocken.
16. ASTM E313. (2001). *Standard Practice for Calculating Yellowness and Whiteness Indices from Instrumentally Measured Color Coordinates*. Standard, West Conshohocken.
17. Augustus Martin Limited. (n.d.). Preuzeto 06 18, 2018 sa www.augustusmartin.com: <http://www.augustusmartin.com/services/create/special-effect-inks.html>
18. Azizi, N., Ladhari, N., & Majdoub, M. (2011). Elaboration and Characterization of Polyurethane-based Microcapsules: Application in Textile. *Asian Journal of Textile*, 1(3), 130-137.
19. Bachtzi, A. R., Boutris, C. J., & Kiparissides, C. (1996). Production of Oil-Containing Crosslinked Poly(vinyl alcohol) Microcapsules by Phase Separation: Effect of Process Parameters on the Capsule Size Distribution. *Journal of Applied Polymer Science*, 60, 9–20. doi:doi.org/10.1002/(SICI)1097-4628(19960404)60:1<9::AID-APP2>3.0.CO;2-T
20. Baker, J. (2013). *Innovation Awards: Driving innovation from maturity*. Preuzeto sa <https://www.icis.com/resources/news/2013/10/18/9716329/innovation-awards-driving-innovation-from-maturity/>
21. Baum, G., & Waterman, D. (1986). Preuzeto 06 29, 2018 sa <https://smartech.gatech.edu/bitstream/handle/1853/2693/tps-190.pdf>
22. BELL Laboratories. (n.d.). Preuzeto 06 22, 2018 sa <http://bell-labs.com.au>: <http://bell-labs.com.au/odour-testing>
23. Bensadoun, F., Kchit, N., Billotte, C., Trochu, F., & Ruiz, E. (2011). A Comparative Study of Dispersion Techniques for Nanocomposite Made with Nanoclays and an Unsaturated Polyester Resin. *Journal of Nanomaterials*, 1-12. doi:dx.doi.org/10.1155/2011/406087
24. Berckmans, M., Glittenberg, D., & Roux, R. (2008). Preuzeto sa https://www.google.ch/patents/US20080206571?utm_source=gb-gplus-sharePatent
25. Bergman, L. (2005). *Using Multicoloured Halftone Screens for Offset Print Quality Monitoring*. School of Information Science, Computer and Electrical Engineering. Halmstad: Halmstad University. Preuzeto sa <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:237931/FULLTEXT01.pdf>
26. Blanco-Pascual, N., Koldeweij, R., Stevens, R., Montero, M., Gómez-GuillénEm, M., & Ten Cate, A. (2014). Peptide Microencapsulation by Core–Shell Printing Technology for Edible Film Application. *Food Bioprocess Technology*, 7(9), 2472-2483. doi:doi.org/10.1007/s11947-014-1256-3
27. Blateyron, F. (2013). The Areal Field Parameters. U R. Leach, *Characterisation of Areal Surface Texture* (str. 15-43). Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. doi:10.1007/978-3-642-36458-7
28. Boh, B. (2008). Microcapsules deliver. *Chemistry & Industry*(2), 23-25. Preuzeto sa <https://www.soci.org/chemistry-and-industry/cni-data/2008/2/microcapsules-deliver>

29. Boh, B., & Šumiga, B. (2008). Microencapsulation technology and its applications in building construction materials. *Materials and Geoenvironment*, 55, 329-344.
30. Boh, B., Knez, E., & Staresinic, M. (2005). Microencapsulation of higher hydrocarbon phase change materials by in situ polymerization. *Journal of Microencapsulation*, 22(7), 715–735. doi:10.1080/02652040500162139
31. Böhmer, M. R., Schroeders, R., Steenbakkens, J. A., de Winter, S. H., Duineveld, P. A., Lub, J., . . . Stapert, H. R. (2006). Preparation of monodisperse polymer particles and capsules by ink-jet printing. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 289(1-3), 96–104. doi:doi.org/10.1016/j.colsurfa.2006.04.011
32. Bône, S., Vautrin, C., Barbesant, V., Truchon, S., Harrison, I., & Geffroy, C. (2011). Microencapsulated fragrances in melamine formaldehyde resins. *Chimia*, 65(3), 177-181. doi:10.2533/chimia.2011.177
33. Bradford, A. (2017). Preuzeto 06 18, 2018 sa /www.livescience.com: <https://www.livescience.com/60752-human-senses.html>
34. British Printing Industries Federation. (n.d.). Preuzeto 06 18, 2018 sa http://www.britishprint.com/filemanager_net/files/added_value_showcase_brochure.pdf
35. Bull, S. (2005). Nanoindentation of coatings. *Journal of PHYSICS D: Applied Physics*, 38(24), R393–R413. doi:doi:10.1088/0022-3727/38/24/R01
36. Bumblebee Laboratories. (2007). Preuzeto 08 23, 2016 sa www.bumblebee.com.sg: www.bumblebee.com.sg/psWebpages/s_film.php?dis=0.0.8.2&ex=1
37. CEKSM. (n.d.). Preuzeto 08 10, 2018 sa <https://sites.google.com>: <https://sites.google.com/site/ceksimenglish/pristroje/inov-napraovaka-k-elektrovmu-mikroskopu>
38. Centropapir Plus d.o.o. (n.d.). Preuzeto 08 16, 2018 sa <http://www.centropapir.rs>: <http://www.centropapir.rs/CP%20PLUS%20kratki%20katalog%202016.pdf>
39. Chalmers, I. R. (1998). Flexographic printability of packaging grade papers. *Appita Journal*, 51(3), 193–198.
40. Chen, B., Guizar-Sicairos, M., Xiong, G., Shemilt, L., Diaz, A., Nutter, J., . . . Robinson, I. (2013). Three-Dimensional Structure Analysis and Percolation Properties of a Barrier Marine Coating. *Scientific reports*, 3, 1-5. doi:10.1038/srep01177.
41. Chen, B., Hashimoto, T., Vergeer, F., Burgess, A., Thompson, G., & Robinson, I. (2014). Three-dimensional analysis of the spatial distribution of iron oxide particles in a decorative coating by electron microscopic imaging. *Progress in Organic Coatings*, 77(6), 1069–1072. doi:doi.org/10.1016/j.porgcoat.2014.03.005
42. Chovancova, V., Pekarovicova, A., & Fleming, P. D. (2005). Preuzeto sa <http://citeseerx.ist.psu.edu>: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.469.3502&rep=rep1&type=pdf>
43. Chuanjie, F., Juntao, T., & Xiaodong, Z. (2013). Effects of process parameters on the physical properties of poly (urea–formaldehyde) microcapsules prepared by a one-step method. *Iranian Polymer Journal*, 22(9), 665–675. doi:doi.org/10.1007/s13726-013-0165-z

44. CIE. (1932). Cambridge: Cambridge University Press.
45. Cinkarna Celje. (2013). (C. Celje, Producent) Preuzeto 08 11, 2018 sa <http://www.cinkarna.si>: <http://www.cinkarna.si/en/products/graphic-materials/printing-inks-offset/printing-varnishes>
46. Coatings and Adhesives. (n.d.). Preuzeto 06 18, 2018 sa <https://www.cacoatings.com>: <https://www.cacoatings.com/wp-content/uploads/2016/10/Reticulation-OPV-UV.pdf>
47. Daerr, A., & Mogne, A. (2016). Pendent_Drop: An ImageJ Plugin to Measure the Surface Tension from an Image of a Pendent Drop. *Journal of Open Research Software*, 4(3), 1-5. doi:<http://dx.doi.org/10.5334/jors.97>
48. Dharavath, H. N., Bensen, M. T., & Gaddam, B. (2005). Analysis of Print Attributes of Amplitude Modulated (AM) vs. Frequency Modulated (FM) Screening of Multicolor Offset Printing. *Journal of Industrial Technology*, 21(3). Preuzeto sa <https://pdfs.semanticscholar.org/6c87/ca2b36d557ae9427496f5f12ad104e07507f.pdf>
49. DHgate. (2019). Preuzeto 01 30, 2019 sa <https://www.dhgate.com/product/big-pallet-screen-printing-machine-manual/418032778.html>
50. Diebold, M. P., & Staley, R. H. (2005). Quantitative Determination of Particle Dispersion in a Paint Film. *8th Nürnberg Congress, Creative Advances in Coatings Technology*, 8. Nürnberg, Germany. Preuzeto sa <https://www.pcimag.com/articles/83069-quantitative-determination-of-particle-dispersion-in-a-paint-film>
51. Dohnal, J., & Štěpánek, F. (2010). Inkjet fabrication and characterization of calcium alginate microcapsules. *Powder Technology*, 200(3), 254–259. doi:[doi:doi.org/10.1016/j.powtec.2010.02.032](https://doi.org/10.1016/j.powtec.2010.02.032)
52. DPM. (n.d.). Preuzeto 05 20, 2018 sa www.dpm.ftn.uns.ac.rs: http://www.dpm.ftn.uns.ac.rs/dokumenti/Laboratorija_TO/Nanotehnologije/Nano%20-%20Morfologija%20povrsine.pdf
53. Dubey, R., Bhasker Rao, K., & Shami, T. (2009). Microencapsulation technology and applications. *Defence Science Journal*(59), 82–95.
54. Elfa Distrelec. (n.d.). Preuzeto 08 12, 2018 sa <https://www.elfa.se>: <https://www.elfa.se/en/usb-camera-microscope-1600-1200-640-480-10-40x-200x-usb-vitiny-vt300/p/11074835>
55. Eriksson, E., & Larsson, N. (2011). *A Multi-Sensory Brand-Experience: Sensorial interplay and its impact on*. thesis, Linnaeus University, Kalmar. Preuzeto 06 18, 2018 sa <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:420903/FULLTEXT01.pdf>; <http://www.mcb.rs/blog/osjetilni-marketing/>
56. Erkan, G., & Sarıışık, M. (2015). Antifungal Microcapsules of Ethyl Cellulose by Solvent Evaporation and Their Application to Cotton Fabric. *Fibers & Textiles in Eastern Europe*, 114(6), 125-130. doi:10.5604/12303666.1167430
57. Ertel, J. P. (1999). *Br. patenta US5923412A*. Preuzeto sa <https://www.google.ch/patents/US5923412>

58. Fery, A., Dubreuil, F., & Möhwald, H. (2004). Mechanics of artificial microcapsules. *New Journal of Physics*, 6, 1–13. Preuzeto sa <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1367-2630/6/1/018/meta>
59. Flexo-Technic Handel GmbH. (2008). Preuzeto 01 30, 2019 sa http://www.flexotechnic.com/products/used_1500/1511/Code_1511.pdf
60. Flint Group. (2016). Preuzeto 09 20, 2018 sa www.flintgrp.com: https://www.flintgrp.com/media/1141/nyloflex_fah_en.pdf
61. Foxjet. (n.d.). Preuzeto 07 01, 2018 sa www.rvevans.com: <http://www.rvevans.com/Packaging-Solutions/PDF/VxJetSeriesValvePrintingSystems.pdf>
62. Fujifilm. (n.d.). Preuzeto 07 01, 2018 sa www.fujifilmusa.com: <https://www.fujifilmusa.com/shared/bin/AqueousCoatingGuide.pdf>
63. Fujifilm. (n.d.). Preuzeto 07 10, 2018 sa www.fujifilm.eu: https://www.fujifilm.eu/fileadmin/product_migration/generic/files/files/EU2934_Luxe1_V-6_Product_Brochure_web_01.pdf
64. Gadelmawla, E., Koura, M., Maksoud, T., Elewa, I., & Soliman, H. (2002). Roughness parameters. *Journal of Materials Processing Technology*, 123(1). Preuzeto sa <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924013602000602>
65. Galić, E., Ljevak, I., & Zjakić, I. (2015). The Influence of UV Varnish on Colorimetric Properties of Spot Colors. *Procedia Engineering*, 100, str. 1532-1538. doi:doi: 10.1016/j.proeng.2015.01.525
66. Garcia, N. (2012). Preuzeto 06 18, 2018 sa <http://digitalcommons.calpoly.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1090&context=grcsp>
67. Ghosh, S. (2006). *Functional coatings and microencapsulation*. Wiley-VCH: Weinheim.
68. Ghugre, N. R., Gonzalez-Gomez, I., Shimada, H., Coates, T. D., & Wood, J. C. (2010). Quantitative analysis and modelling of hepatic iron stores using stereology and spatial statistics. *Journal of Microscopy*, 238(3), 265–274. doi:doi.org/10.1111/j.1365-2818.2009.03355.x
69. Gillman, C. (2017). Preuzeto 06 18, 2018 sa <https://thegill.co.uk>: <https://thegill.co.uk/advice/151-add-something-different-to-your-prints-with-3d-spot-varnish>
70. Glaeser, W. A. (2010). *Characterization of Tribological Materials*. New York: Momentum Press.
71. Goetzendorf-Grabowska, B., Królikowska, H., & Gadzinowski, M. (2004). Polymer Microspheres as Carriers of Antibacterial Properties of Textiles: A preliminary Study. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 12(4), 62-64. Preuzeto sa http://www.fibtex.lodz.pl/48_16_62.pdf
72. Goetzendorf-Grabowska, B., Królikowska, H., Bąk, P., Gadzinowski, M., Brycki, B., & Sz wajca, A. (2008). Triclosan Encapsulated in Poli(L,L-lactide) as a Carrier of Antibacterial Properties of Textiles. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 16(3), 102-107. Preuzeto sa [http://www.fibtex.lodz.pl/pliki/Fibtex_\(tldodd13obozzy6w\).pdf](http://www.fibtex.lodz.pl/pliki/Fibtex_(tldodd13obozzy6w).pdf)

73. Golob, D., Parac Osterman, D., & Zupan, J. (2008). Determination of Pigment Combinations for Textile Printing Using Artificial Neural Networks. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*, 16(3), 93 - 98.
74. Gomez, N., Molleda, C., Quintana, E., Carbajo, J., Rodriguez, A., & Villar, J. (2016). Attenuated Total Reflection Fourier Transform Infrared Spectroscopy (ATRFT-IR) Applied to Study the Distribution of Ink Components in Printed Newspapers. *Applied Spectroscopy*, 70(9), 1-9. doi:10.1177/0003702816640287
75. Gordon, P. (2012). Preuzeto 07 03, 2018 sa <https://the-print-guide.blogspot.com>: <https://the-print-guide.blogspot.com/search?q=primer>
76. Griffiths, P., & de Hasseth, J. A. (2007). *Fourier Transform Infrared Spectrometry*. Hoboken, New Jersey: John Wiley and Sons Inc.
77. Guillaume, J., Oliver, S., & Lam, C. (1993). Preuzeto sa <http://www.google.no/patents/EP0391675>
78. GWJ Co. (2018). Preuzeto 08 11, 2018 sa www.peakoptics.com: https://www.peakoptics.com/index.php?main_page=product_info&products_id=254
79. H&H Graphics, L. (2017). Thermochromic Printing Reveal Example. Preuzeto sa <https://www.youtube.com/watch?v=Dt6Rb1brnZ0>
80. Haenen, J., Resch, P., & Scholte, B. (2007). Preuzeto sa <https://www.google.ch/patents/WO2007006796A1?cl=en>
81. Heidelberg Druckmaschinen AG. (2008). www.heidelberg.com. Preuzeto 06. 01., 2018. sa https://www.heidelberg.com/global/media/en/global_media/products___prinect_topics/pdf_1/color_quality.pdf: https://www.heidelberg.com/global/media/en/global_media/products___prinect_topics/pdf_1/color_quality.pdf
82. Henderson, D., Merchak, P., & Schwartz, R. (2006). The Effect of C.I. Pigment Yellow 12 Particle Size on Print Mileage and Color Strength. *TAGA Journal*, 2, 161 – 173.
83. Herbert Gleiter Institute of Nanoscience. (2016). Preuzeto 09 22, 2018 sa <http://www.hgi-nust.org>: <http://www.hgi-nust.org/index.php?s=/Home/Article/detail/id/106.html>
84. Herrmann, A., Debonneville, C., Laubscher, V., & Aymard, L. (2000). Dynamic headspace analysis of the light-induced controlled release of perfumery aldehydes and ketones from keto esters in bodycare and household applications. *Flavour and Fragrance Journal*, 15(6), 415–420. doi:10.1002/1099-1026(200011/12)15:6<415::AID-FFJ932>3.0.CO;2-8
85. Hoc, M. (2005). Preuzeto 01 23, 2019 sa <http://www.innventia.com/Documents/Rapporter/STFI-Packforsk%20report%20187.pdf>
86. Hoffman, E., McCauley, C., & Hussain, M. (2000). *Shop Reference for Students & Apprentices, 2nd Edition*. New York: Industrial Press, Inc. Preuzeto sa https://books.google.rs/books?id=88nePuMEdxAC&pg=PP5&source=gbs_selected_pages&cad=2#v=onepage&q&f=false

87. Holmvall, M. U. (2006). Striping of Corrugated Board in Flexo Post-Printing. *Appita Journal*, 61(1). Preuzeto sa https://www.researchgate.net/publication/241883238_Striping_of_Corrugated_Board_in_Flexo_Post-Printing
88. Hsieh, T. P. (1993). *A Laboratory study of ink splitting forces at different film thicknesses and an investigation of the stefan equation*. Master rad, Rochester Institute of Technology, Rochester, New York, USA. Preuzeto sa <http://scholarworks.rit.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=4943&context=theses>
89. Hubergroup. (n.d.). Preuzeto sa www.hubergroup.net: http://www.hubergroup.net/pdf-files/inkformarion/INKFORMATION_4_en_02.pdf
90. Hui, L., Smith, R. C., Wang, X., Nelson, J. K., & Schadler, L. S. (2008). Quantification of Particulate Mixing in Nanocomposites. *Annual Report Conference on Electrical Insulation Dielectric Phenomena*, (str. 317 – 320). Quebec, Canada.
91. Hultén, B. (2011). Sensory marketing: the multi-sensory brand-experience concept. *European Business Review*, 23(3), 256 - 273. Preuzeto sa <https://www.emeraldinsight.com/doi/full/10.1108/09555341111130245>
92. Hwang, J. S., Kim, J. N., Wee, Y. J., Yun, J. S., Jang, H. G., Kim, S. ..., & Ryu, H. W. (n.d.). Preparation and characterization of Melamine-Formaldehyde Resin Microcapsules Containing Fragrant Oil. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 11(4), 332–336.
93. Iggesund Holmen Group. (2018). *Varnishing*. (Iggesund Holmen Group) Preuzeto sa www.iggesund.com: <https://www.iggesund.com/en/knowledge/knowledge-publications/graphics-handbook/finishing/varnishing-/>
94. IGT Testing Systems. (2016). Preuzeto 07 02, 2018 sa www.igt.com.sg: <http://www.igt.com.sg/resources/content/files/IGT%20F1%20Folder%203A4%20%28ENG%29%20LR.pdf>
95. IGT Testing Systems. (2018). Preuzeto 07 02, 2018 sa www.igt.nl: <http://www.igt.nl/igt-testers/graphic/f1-basic>
96. ImageJ. (2004). Preuzeto 08 15, 2018 sa <https://imagej.nih.gov>: <https://imagej.nih.gov/ij/download.html>
97. ImageJ. (2017). Preuzeto sa <https://imagej.net/Fiji/Downloads>
98. Inesfly corporation. (n.d.). Preuzeto 06 28, 2018 sa www.inesfly.com: <http://www.inesfly.com/test/index.php/en/inesfly-paints-release-mechanism>
99. Institute of Photonics and Electronics. (2013). Preuzeto 09 20, 2018 sa www.ufe.cz: <https://www.ufe.cz/en/laboratory-surface-characterization>
100. ISO 11476. (2009). *Paper and board — Determination of CIE whiteness, C/2° (Indoor illumination conditions)*. standard.
101. ISO 12647-2. (1996). *Graphic technology. Process control for the manufacture of half-tone colour separations, proof and production prints. Offset lithographic processes*. International Organization for Standardization. Geneva: International Organization for Standardization.

102. ISO 12647-2. (2013). *Graphic technology — Process control for the production of half-tone colour separations, proof and production prints - Part 2: Offset lithographic processes*. International Organization for Standardization. Geneva: International Organization for Standardization.
103. ISO 13655. (2009). *Graphic technology - Spectral measurement and colorimetric computation for graphic arts images*. standard.
104. ISO 2846-1. (2006). *Graphic technology — Colour and transparency of printing ink sets for fourcolour printing; Part 1: Sheet-fed and heat-set web offset lithographic printing*. standard.
105. ISO 536. (2012). *Paper and board – Determination of grammage*. International Organization for Standardization. Geneva: International Organization for Standardization.
106. ISO12647-2. (2004). *Graphic technology — Process control for the production of half-tone colour separations, proof and production prints — Part 2: Offset lithographic processes*. The International Organization for Standardization. Geneva: The International Organization for Standardization.
107. Izdebska, J., & Thomas, S. (2016). *Printing on polymers, 1st edition* (T. 1 st ed.). Oxford, United Kingdom: Elsevier Inc. Preuzeto sa <http://store.elsevier.com/Printing-on-Polymers/Joanna-Izdebska/isbn-9780323374682/>
108. Jacquemond, M., Jackelmann, N., Ouali, L., & Haefliger, O. (2009). Perfume-containing polyurea microcapsules with undetectable levels of free isocyanates. *Journal of Applied Polymers Science*, 114(5), 3074–3080. doi:<https://doi.org/10.1002/app.30857>
109. Jalsenjak, I., Nicolaidou, C. T., & Nixon, J. R. (1976). The in vitro dissolution of phenobarbitone sodium from ethyl cellulose microcapsules. *Journal of Pharmaceutics & Pharmacology*, 28(12), 912- 914.
110. Jansons, E., Lungevics, J., & Gross, K. (2016). Surface roughness measure that best correlates to ease of sliding. *15th International Scientific Conference Engineering for Rural Development*. 15, str. 687-695. Jelgava: Latvia University of Agriculture, Faculty of Engineering, Latvian Academy of Agricultural and Forestry Sciences. Preuzeto sa <http://tf.llu.lv/conference/proceedings2016/Papers/N127.pdf>
111. Jia, J., Wang, C., Chen, K., & Yin, Y. (2017). Drug release of yolk/shell microcapsule controlled by pH-responsive yolk swelling. *Chemical Engineering Journal*, 327, 953-961. doi:doi.org/10.1016/j.cej.2017.06.170
112. Johansson, L. (2006). *Creation of printed dynamic images*. Linköping University. Linköping, Sweden: Linköping University, Sweden.
113. JohnsByrne. (2016). Preuzeto 06 18, 2018 sa <http://www.johnsbyrne.com/blog/20-press-effects-finishes-and-techniques-to-enhance-your-packaging/>
114. Joseph, I., & Venkataram, S. (1995). Indomethacin sustained release from alginate-gelatin or pectin-gelatin coacervates. *International Journal of Pharmaceutics*, 126(1-2), 161-168. doi:[doi.org/10.1016/0378-5173\(95\)00173-5](https://doi.org/10.1016/0378-5173(95)00173-5)
115. Karlović, I. (2010). *Karakterizacija kolorimetrijskih i geometrijskih osobina oplemenjenih površina u štampi*. Novi Sad: Fakultet tehničkih nauka.

116. Karlović, I., & Novaković, D. (2011). Effect of Different Coating Amounts on the Surface Roughness and Print Gloss of Screen Coated Offset Prints. *Journal of Imaging Science & Technology*, 55, 1–11.
117. Kašiković, N., Stančić, M., Vladić, G., Grujić, D., Novaković, D., Milošević, R., & Pinčjer, I. (2017). The influence of heat treatment on the quality of screen printed textile substrates. *Revista Matera*, 22(1). doi:10.1590/S1517-707620170001.0123
118. KBA-Grafitec. (2006). Preuzeto 08 11, 2018 sa <https://manualzz.com>: <https://manualzz.com/doc/22292290/kba-performa-74>
119. Kipphan, H. (2001). *Handbook of Print Media*. New York: Springer-Verlag.
120. Klanjšek Gunde, M., Kunaver, M., & Čekada, M. (2007). Surface analysis of matt powder coatings. *Dyes and Pigments*, 74, 202-207. Preuzeto sa https://ac.els-cdn.com/S0143720806000684/1-s2.0-S0143720806000684-main.pdf?_tid=f13862ed-187f-412f-83c4-25af8326967e&acdnat=1530037278_4b2a254855f8e612bab5e2db545b016b
121. Kodak. (2017). Preuzeto 07 10, 2018 sa www.kodak.com: https://www.kodak.com/uploadedFiles/Graphics/Products/Digital_Offset_Plates/Commercial_And_Publication_Plates/LIBRA_VP_Digital_Plate/Resources/LibraVP-Comm_SellSheet_A4_14Apr2016_lo.pdf
122. Koivula, H. M. (2012). *STUDIES IN OFFSET INK SETTING*. Åbo Akademi University, Department of Chemical Engineering. Turku: Åbo Akademi University. Preuzeto sa https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/73907/koivula_hanna.pdf?sequence=2
123. Kojić, S., Bednar, N., Vasiljević, D., Radovanović, M., & Samardžić, N. (2013). Merenje i kontrola materijala u nanotehnologijama. U d. R. Doroslovački (Ur.), *ETIKUM 2013* (str. 27-30). Novi Sad: Fakultet tehničkih nauka.
124. Kukovic, M., & Knez, M. (1996). *Br. patenta WO1996009114A1*. Preuzeto sa <https://www.google.com/patents/WO1996009114A1?cl=en>
125. Kulčar, R., Friškovec, M., Hauptman, N., Vesel, A., & Klanjšek Gunde, M. (2010a). Colorimetric properties of reversible thermochromic printing inks. *Dyes and Pigments*, 86(3), 271–277. doi:doi.org/10.1016/j.dyepig.2010.01.014
126. Kulčar, R., Klanjšek Gunde, M., & Friškovec, M. (2010b). Thermochromic inks – dynamic colour possibilities. *The CREATE 2010 Conference, Proceedings - 'Colour Coded'*. Gjøvik, Norway. Preuzeto sa http://www.create.uwe.ac.uk/create_gjovik_proceedings.pdf
127. Le, H. P. (1998). Progress and Trends in Ink-jet Printing Technology. *Journal of Imaging Science and Technology*, 42(1), 49-62. Preuzeto sa http://docview1.tlvnimg.com/tailieu/2010/20100314/bincancook/progress_and_trends_in_inkjet_3627.pdf
128. Leach, R. H., Pierce, R. J., Hickman, E. P., Mackenzie, M. J., & Smith, H. G. (2007). *The Printing Ink Manual* (T. 5 th edition). Dordrecht, Holandija: Springer.

129. Lecta. (n.d.). (Lecta, Producent) Preuzeto 07 10, 2018 sa www.lecta.com:
<https://www.lecta.com/en/products/coated-paper#Default=%7B%22k%22%3A%22%22%2C%22r%22%3A%5B%7B%22n%22%3A%22BrandsOWSCHCS%22%2C%22t%22%3A%5B%22%5C%22%2C%22C7%82%2C%22C7%824761726461%5C%22%22%5D%2C%22o%22%3A%22and%22%2C%22k%22%3Afalse%2C%22m%22%3Anull%7D%5D%7D>
130. Lee, J., Zhang, M., Bhattacharyya, D., Yuan, Y. C., Jayaraman, K., & Mai, Y. W. (2012). Micromechanical behavior of self-healing epoxy and hardener-loaded microcapsules by nanoindentation. *Materials Letters*, 76, 62-65. doi:doi.org/10.1016/j.matlet.2012.02.052
131. Leimann, F., Gonçalves, O., Machado, R., & Bolzan, A. (2009). Antimicrobial activity of microencapsulated lemongrass essential oil and the effect of experimental parameters on microcapsules size and morphology. *Materials Science and Engineering C*, 29(2), 430-436. doi:10.1016/j.msec.2008.08.025
132. Lichtenberger, M. (2004). *Davidlu.net*. Preuzeto 07 21, 2017 sa <http://davidlu.net/Matt.pdf>
133. Lindström, M. (2005). *Brand sense, sensory secrets behind the stuff we buy*. New York: Free Press, Simon & Schuster Inc.
134. Liu, D., Pourrahimi, A. M., Olsson, R. T., Hedenqvist, M. S., & Gedde, U. W. (2015). Influence of nanoparticle surface treatment on particle dispersion and interfacial adhesion in low-density polyethylene/aluminium oxide nanocomposites. *European Polymer Journal*, 66, 67-77. doi:doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2015.01.046
135. Liu, H., Wang, Y., Yuan, Z., Zou, X., Zhou, Y., & Ni, Y. (2014). Effect of using a high high-yield pulp (HYP) substitution (40%) on printability and print quality of coated wood free papers - A comparison of commercial prints and lab printed samples. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, 452(20), 154-158. doi:10.1016/j.colsurfa.2014.03.070
136. Liu, K.-K. (1995). *The deformation of cellular entities*. Imperial College of Science, Technology and Medicine, University of London, UK., Department of Chemical Engineering. London: Imperial College of Science, Technology and Medicine. Preuzeto sa https://spiral.imperial.ac.uk/bitstream/10044/1/8167/1/Kuo-Kang_Liu-1995-PhD-Thesis.pdf
137. Liu, R., Ma, G. H., Wan, Y. H., & Su, Z. G. (2005). Influence of process parameters on the size distribution of PLA microcapsules prepared by combining membrane emulsification technique and double emulsion-solvent evaporation method. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 45(3-4), 144-153. doi:doi.org/10.1016/j.colsurfb.2005.08.004
138. Löffler, S. M., Disting, V. J., Vanderhoek, N., & Nikolovska, S. (2006). Appita Conference., 59. Auckland, New Zealand. Preuzeto sa http://tappsa.co.za/archive2/Journal_papers/Flexographic_printing/flexographic_printing.html
139. Maekawa, Y., Miyano, S., Yazawa, K., & Kondo, A. (1975). *Br. patenta US3888689*.
140. Mahy, M., Van Eycken, L., & Oosterlinck, A. (1994). Evaluation of Uniform Color Spaces Developed after the Adoption of CIELAB and CIELUV. *Color research and application*, 19(2), 105 - 121. doi:doi.org/10.1111/j.1520-6378.1994.tb00070.x
141. Mainsah, E., Greenwood, J., & Chetwynd, D. (2001). *Metrology and properties of engineering surfaces*. Berlin: Springer Verlag, Berlin.

142. Manenti, M. (2013). *An analysis of the sensorial marketing methods in the fashion retail sector*. Dublin Business School, Dublin. Preuzeto sa https://esource.dbs.ie/bitstream/handle/10788/1775/ma_manenti_m_2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y
143. Manojlović, S. (2013). *Bonding Microcapsules to Different Types of Substrates*. University of Ljubljana, Department of textiles. Ljubljana: Faculty of natural sciences and engineering. Preuzeto sa https://www.academia.edu/11054220/BONDING_MICROCAPSULES_TO_DIFFERENT_TYPES_OF_SUBSTRATES
144. Maradudin, A. (2007). *Light Scattering and Nanoscale Surface Roughness*. New York: Springer Science-Business Media, LLC.
145. Market Research Store. (2016). *ww.wmarketresearchstore.com*. Preuzeto sa <http://www.marketresearchstore.com/news/global-microencapsulation-market-165>
146. Marrion, R. A. (2004). *The Chemistry and Physics of Coatings* (T. 2 nd edition). Cambridge: The Royal Society of Chemistry. Preuzeto sa <https://www.mobt3ath.com/uploade/book/book-20059.pdf>
147. Martín, Á., Varona, S., Navarrete, A., & Cocero, M. J. (2010). Encapsulation and Co-Precipitation Processes with Supercritical Fluids: Applications with Essential Oils. *The Open Chemical Engineering Journal*, 4, 31-41. doi:10.2174/1874123101004010031]
148. Martins, I. M., Barreiro, M. F., Coelho, M., & Rodrigues, A. E. (2014). Microencapsulation of essential oils with biodegradable polymeric carriers for cosmetic application. *Chemical Engineering Journal*, 245(1), 191-200. doi:doi.org/10.1016/j.cej.2014.02.024
149. Martins, I., Rodrigues, S., Barreiro, F., & Rodrigues, A. E. (2011). Polylactide-Based Thyme Oil Microcapsules Production: Evaluation of Surfactants. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 50(2), 898-904. doi:10.1021/ie101815f
150. McShane, M., & Ritter, D. (2010). Microcapsules as optical biosensors. *Journal of Materials Chemistry*, 20, 8189-8193.
151. Mecheels, J. (1991). *Körper-Klima-Kleidung: Grundzüge der Bekleidungsphysiologie*. Berlin: Schiele & Schon.
152. Microtek Laboratories Inc. (2015). Preuzeto 12 05, 2016 sa www.microteklabs.com: <http://www.microteklabs.com/fragrances.html>
153. Mikula, M., Čeppan, M., & Vaško, K. (2003). Gloss and Goniocolorimetry of Printed Materials. *Color research and application*, 28(5). Preuzeto sa <https://wiki.epfl.ch/edicpublic/documents/Candidacy%20exam/gloss%20and%20goniocolormetry%20of%20printed%20materials%20-%20milan%20mikula,%20michal%20ceppan,%20karol%20vasko.pdf>
154. Miletić, A. (n.d.). Preuzeto sa www.dpm.ftn.uns.ac.rs: http://www.dpm.ftn.uns.ac.rs/dokumenti/Laboratorija_TO/Inzenjerstvo/IP%20-%20vezba%206%20-%20topografija%20povrsine%20deo1%202017.pdf

155. Milošević, R. (2010). *Ispitivanje i analiza površinskih karakteristika fleksografskih štamparskih formi*. Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Grafičko inženjerstvo i dizajn. Novi Sad: Fakultet tehničkih nauka.
156. Milošević, R., Kašiković, N., Novaković, D., Stančić, M., & Adamović, S. (2013). Investigation of the printing pressure level application influence on sheet-fed offset print quality. *Machine Design*, 5(4).
157. Milošević, R., Kašiković, N., Pavlović, Ž., Stanković Elesini, U., & Urbas, R. (2016). The Possibility of Microcapsules Application Using Pad Printing Technology. *Proceedings of the 8th GRID Symposium*, 8, str. 47–55. Novi Sad, Serbia: University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Department of Graphic Engineering and Design.
158. Milošević, R., Urbas, R., Kašiković, N., Cigula, T., & Stanković Elesini, U. (2017a). The characterization of microcapsules printed by screen printing and coating technology. *Journal of Graphic Engineering and Design*, 8(1), 45-56.
159. Mondal, S. (2008). Phase change materials for smart textiles – An overview. *Applied Thermal Engineering*, 28(11-12), 1536–1550.
160. Morishita, R., Saito, M., Tsuchida, K., & Harada, T. (1993). (S. o.-C. Evaluation, Ur.)
161. Mozaffari, S. M., Beheshty, M. H., & Mirabedini, S. M. (2016). Microencapsulation of 1-methylimidazole using solid epoxy resin: study on microcapsule residence time and properties of the system. *Iranian Polymer Journal*, 25(4), 385–394. doi:10.1007/s13726-016-0430-z
162. Mullol, J., Alobid, I., Mariño-Sánchez, F., Quintó, L., de Haro, J., Bernal-Sprekelsen, M., . . . Marin, C. (2012). Furthering the understanding of olfaction, prevalence of loss of smell and risk factors: a population-based survey (OLFACAT study). *BMJ Open*, 2(6), 1-13. doi:10.1136/bmjopen-2012-001256
163. Nejman, A., Cieślak, M., Gajdzicki, B., Goetzendorf-Grabowska, B., & Karaszewska, A. (2014). Methods of PCM microcapsules application and the thermal properties of modified knitted fabric. *Thermochimica Acta*(589), 158-163.
164. Nelson, G. (2002). Application of microencapsulation in textiles. *International Journal of Pharmaceutics*, 242(1-2), 55–62. doi:doi.org/10.1016/S0378-5173(02)00141-2
165. Nelson, G. (2008). Microencapsulation in textile finishing. *Review of Progress in Coloration and Related Topics*, 31, 57–64. Preuzeto sa <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1478-4408.2001.tb00138.x>
166. New Prisematic Enterprise Co., Ltd. (2010). Preuzeto 06 29, 2018 sa www.colorchange.com.tw: <http://www.colorchange.com.tw/index.php/en/microcapsulated-fragrance-material.html>
167. NTF. (n.d.). Preuzeto 08 10, 2018 sa <https://www.ntf.uni-lj.si>: https://www.ntf.uni-lj.si/ntf/wp-content/uploads/sites/2/2015/07/Vrsticni_elektronski_mikroskop_Jeol-6060LV.pdf
168. Ocepek, B., Boh, B., Šumiga, B., & Forte Tavčer, P. (2011). Printing of antimicrobial microcapsules on textiles. *Coloration Technology*, 128(2), 95–102.
169. Ocepek, B., Forte-Tavčer, P., Boh, B., & Šumiga, B. (2009). *Proceedings of 9th Autex Conference*, 9, str. 334. Izmir, Turkey.

170. Offsetprintinginks. (2012). Preuzeto 08 15, 2018 sa <https://offsetprintinginks.wordpress.com:https://offsetprintinginks.wordpress.com/tag/spectrodens-premium/>
171. Ohtsubo, T., Tsuda, S., & Tsuji, K. (1989). Formulation factors of fenvalerate microcapsules influencing insecticidal efficacy and fish toxicity. *Journal of Pesticide Science*, 14(2), 235-239. Preuzeto sa https://www.jstage.jst.go.jp/article/jpestics1975/14/2/14_2_235/_pdf
172. Oliveira, F., Fernandes, M., Carneiro, N., & Souto, A. (2013). Functionalization of Wool Fabric with Phase-Change Materials Microcapsules After Plasma Surface Modification. *Journal of Applied Polymer Science*, 128(5), 2638-2647.
173. Olympus. (n.d.). Preuzeto sa www.olympus.com: <https://static1.olympus-lifescience.com/data/olympusmicro/brochures/pdfs/bx51motorized.pdf?rev=3DDC>
174. Ono, H., Nonomura, F., Fujiwara, H., & Nanri, Y. (2002). Optimization of Printing Property using Surface Coating Agent (I) -The Effect of Surface Size on the Four Color Printing Property. *Proceedings of Pan Pacific Conference of the Technical Associations of the Pulp and Paper Industry – Recycling and Cleaner Production in the Paper Industry* (str. 180-185). Taipei, Taiwan: Taiwan Forestry Research Institute.
175. Pallant, J. (2007). *Postupni vodič kroz analizu podataka pomoću SPSS-a za Windows* (3 izd.). Beograd : Allen & Unwin, Mikro knjiga.
176. Palmer, D. (2002). *Br. patenta US20020128348A1*. Preuzeto sa <https://www.google.ch/patents/US20020128348>
177. Pavić, N. (2015a). *Possibility of Microcapsule Application in Screen and Offset Printing Techniques*. University of Novi Sad, Department of Graphic Engineering and Design. Novi Sad: Faculty of Technical Sciences Serbia.
178. Pavić, N., Pavlović, Ž., & Urbas, R. (2015b). Possibility of microcapsule application in screen and offset printing techniques. *Proceedings of the Faculty of Technical Sciences*, 4, 633-636 .
179. Pavlović, Ž., Dedijer, S., Stanković Elesini, U., & Urbas, R. (2014). Structure of Microcapsules and its Use in The Industry – Overview. *Proceedings of the 7th GRID Symposium*. 7, str. 65–70. Novi Sad: Fakultet tehničkih nauka.
180. Peña, B., Casals, M., Torras, C., Gumí, T., & Garcia-Valls, R. (2009). Vanillin release from polysulfone macrocapsules. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 48(3), 1562–1565. doi:10.1021/ie801133f
181. Perez, A. J. (2018, February 3rd). *Offset Printing Trends for 2018*. Preuzeto sa www.offsetprintingtechnology.com: <http://www.offsetprintingtechnology.com/2018/offset-printing-trends-for-2018/>
182. Pfeifer, S., & Bandaru, P. R. (2014). A Methodology for Quantitatively Characterizing the Dispersion of Nanostructures in Polymers and Composites. *Mater. Res. Lett.*, 2(3), 166–175. doi:doi.org/10.1080/21663831.2014.886629
183. Phillips, G. K. (2000). *Proceedings of SPIE 2000. Optical Security and Counterfeit Deterrence Techniques III.*, 3973, str. 99-104. San Jose, CA.

184. Pitigoi, D. (2016). Preuzeto 07 02, 2018 sa <http://www.imst.pub.ro>:
http://www.imst.pub.ro/Upload/Studenti/SSS_2016/lucrarile_sesiunii_stud_2016/L01_Balan_Emiliana.pdf
185. Plazonic, I., Barbaric-Mikocevic, Ž., & Dzimbeg-Malcic, V. (2016). The Rub Resistance of Printed Papers With Variable Content of Wheat Pulp. *Proceedings of the 2nd Natural resources green technology & sustainable development*, 2, str. 76-79. Zagreb, Croatia.
186. Pocket Dentistry. (2016). Preuzeto 06 29, 2018 sa <https://pocketdentistry.com>:
<https://pocketdentistry.com/occlusal-patterns-in-orthodontic-patients-using-the-occlusal-force-measuring-system/>
187. Poncelet, D. (2015). Microencapsulation: origin and future of the human. *Agro Food Industry Hi-Tech*, 26(2). Preuzeto sa https://www.teknoscienze.com/tns_article/microencapsulation-origin-and-future-of-the-human/
188. Prapatrakul, W., & Whitworth, C. W. (1990). Compression of Microcapsules II: Effect of excipients and pressure on physical properties. *Drug Development and Industrial Pharmacology*, 16, 1427-1434. doi:doi.org/10.3109/03639049009115971
189. Preston, N. (n.d.). Preuzeto 06 18, 2018 sa <http://www.scentt.com>: http://www.scentt.com/wp-content/uploads/2016/02/Piranet_Smellofsuccess.pdf
190. Prüfbau. (2016a). Preuzeto 07 02, 2018 sa <http://pruefbau.com/en/offsetdruck/>
191. Ramazani, F., Chen, W., van Nostrum, C. F., Storm, G., Kiessling, F., Lammers, T., . . . Kok, R. J. (2016). Strategies for encapsulation of small hydrophilic and amphiphilic drugs in PLGA microspheres: state-of-the-art and challenges. *International Journal of Pharmaceutics*, 499(1-2), 358-367. doi:doi.org/10.1016/j.ijpharm.2016.01.020
192. resources.schoolscience.co.uk. (n.d.). Preuzeto 06 18, 2018 sa
<http://resources.schoolscience.co.uk>:
<http://resources.schoolscience.co.uk/ICI/16plus/smells/smellsch2pg1.html>
193. Riga Technical University. (2015). Preuzeto 09 20, 2018 sa <https://scientificservices.eu>:
<https://scientificservices.eu/item/atomic-force-microscope-veeco-cp-ii-/1173>
194. RK PrintCoat Instruments Ltd. (n.d.). Preuzeto 09 20, 2018 sa www.rkprint.com:
<https://www.rkprint.com/wp-content/uploads/2018/02/New-K303-MULTICOATER-11.17.pdf>
195. Rockley, M. (2015). Preuzeto 06 18, 2018 sa <http://www.printbusiness.co.uk/news/Adding-value-in-the-finishing-department/99018/>
196. Rodrigues, S. N., Martins, I., Mata, V. G., Barreiro, F., Fernandes, I., & Rodrigues, A. E. (2008). Microencapsulation of limonene for textile application. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 47(12), 4142-4147. doi:10.1021/ie800090c
197. Rodrigues, S., Martins, I., Fernandes, I., Gomes, P., Mata, V., Barreiro, M., & Rodrigues, A. (2009). Scentfashion®: Microencapsulated perfumes for textile application. *Chemical Engineering Journal*, 149(1-3), 463-472.
198. Rogers, D. E., & Lutz, E. B. (2006). Preuzeto sa
<https://www.google.ch/patents/US20060246265>

199. Romano, R. M., & Romano, F. J. (1998). *The GATF Encyclopedia of Graphic Communications*. Graphic Arts Technical Fndtn. Preuzeto sa <https://www.amazon.com/Gatf-Encyclopedia-Graphic-Communications-Leather/dp/0883622157>
200. Rong, X., & Keif, M. (2007). Preuzeto 07 02, 2018 sa <https://pdfs.semanticscholar.org/b89c/c2f09e317f86150d8c21e6f4cacc2fb0c828.pdf>
201. Rose, H. (2007). Preuzeto 06 29, 2018 sa https://projekt.beuth-hochschule.de/https://projekt.beuth-hochschule.de/fileadmin/projekt/sprachen/sprachenpreis/erfolgreiche_beitraege_2007/1._Preis_07_-_Scent_Encapsulated_in_Printed_Products_-_Heike__Rose.pdf
202. Rudolph, M., Blackman, G., Bode, U., Lungu, V., & Shock, J. (2004). *Br. patenta US20040234886A1*. Preuzeto sa <https://patents.google.com/patent/US20040234886>
203. Sakata Inx Corporation. (2013). Preuzeto 07 10, 2018 sa http://www.inx.co.jp:http://sakatainx.es/english/productos/PremiumDT_eng.pdf
204. Sakrana, A. A.-S., Abouelatta, O. B., Matsumura, H., Koizumi, H., & Tanoue, N. (2004). Surface roughness evaluation of polished composite using threedimension profilometry. *Chinese Journal of Dental Research*, 4, 85-91.
205. Sánchez, P., Sánchez-Fernandez, M., Romero, A., Rodríguez, J., & Sánchez-Silva, L. (2010). Development of Thermo-Regulating Textiles Using Paraffin Wax Microcapsules. *Thermochimica Acta*, 498(1-2), 16-21.
206. Saurí, J., Suñé-Negre, J., Díaz-Marcos, J., Vilana, J., Millán, D., Ticó, J., . . . García-Montoya, E. (2015). Relationships between surface free energy, surface texture parameters and controlled drug release in hydrophilic matrices. *International Journal of Pharmaceutics*, 478(1), 328-340. Preuzeto sa <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378517314008692?via%3Dihub>
207. Savanah Design. (2009). Preuzeto 06 29, 2018 sa www.savanahdesign.com.au:www.savanahdesign.com.au/blog/is-printing-dead/
208. Savolainen, A., Zhang, Y., & Rochefort, D. (2011). Printing of Polymer Microcapsules for Enzyme Immobilization on Paper Substrate. *Biomacromolecules*, 12(6), 2008–2015. doi:10.1021/bm2003434
209. SCAN-P 36:02. (2002). *Paper and board - Evaluation of test prints*. standard, Scandinavian pulp, paper and board testing committee, Stockholm.
210. SCAN-P 86. (2002). *Test printing using an IGT-type printability tester*. Preuzeto sa http://www.kemesta.fi/document.php/1/159/paper_and_board__test_printing__using_an_igt-type_printability_tester_p2086-02.pdf/b2446d8fd71512ae877edb3689b19a37
211. SCAN-P 87. (2002). *Newsprint – Test printing – using an IGT-type printability tester*. standard. Preuzeto sa http://www.kemesta.fi/document.php/1/148/newsprint__test_printing__using_an_igt-type_printability_tester_p2087-02.pdf/7117a53f86bf1ce9453bbe405b9c8afd
212. Scentisphere. (n.d.). (Scentisphere) Preuzeto 06 18, 2018 sa <http://www.scentisphere.com/scented-printing.html>

213. Seeboth, A., & Löttsch, D. (2008). *Thermochromic phenomena in polymers*. Shrewsbury: Smithers Rapra.
214. Sensor Products Inc. (2015). Preuzeto 06 28, 2018 sa www.sensorprod.com: <https://www.sensorprod.com/prescale/product-pages/prescale/prescale.pdf>
215. Shigeri, Y., Koishi, M., Kondo, T., Shiba, M., & Tomioka, S. (1970). Studies on microcapsules. VI Effect of variations in polymerization condition on microcapsule size. *Canadian Journal of Chemistry*, 48(13), 2047-2051. Preuzeto sa <http://www.nrcresearchpress.com/doi/pdf/10.1139/v70-341>
216. Shivanandan, A., Radenovic, A., & Sbalzarini, I. F. (2013). MosaicIA: an ImageJ/Fiji plugin for spatial pattern and interaction analysis. *BMC Bioinformatics*, 14, 349. doi:doi.org/10.1186/1471-2105-14-349
217. Shukla, P. G. (n.d.). Preuzeto 07 02, 2018 sa www.venturecenter.co.in: http://www.venturecenter.co.in/techrx/pdfs/TechShowcase_Microsphere.pdf
218. Simonot, L., & Elias, M. (2003). Color Change Due to Surface State Modification. *Color Research and Application*, 28(1). doi:DOI 10.1002/col.10113
219. Simseker, O. (2011). Investigation of Different Solvents in Flexographic Printing Ink's Effects to Print Quality on Coated and Uncoated Paper. *Asian Journal of Chemistry*, 23(7), 2903-2906. Preuzeto sa http://www.asianjournalofchemistry.co.in/User/ViewFreeArticle.aspx?ArticleID=23_7_17
220. SIST EN ISO 5084. (1996). *Textiles – determination of thickness of textiles and textile products*. International Organization for Standardization. Geneva: International Organization for Standardization.
221. Smithers Pira. (2015). *The Future of Global Printing to 2022*. Smithers Information Ltd.
222. Song, Y. K., Kim, B., Lee, T. H., Kim, J. C., Nam, J. H., Noh, S. M., & Park, Y. I. (2017). Fluorescence Detection of Microcapsule-Type Self-Healing, Based on Aggregation-Induced Emission. *Macromolecular Rapid Communications*, 38, 1-7. doi:10.1002/marc.201600657
223. Southwest Research Institute. (n.d.). Preuzeto sa <https://missionjuno.swri.edu>: <https://missionjuno.swri.edu/4org/d01/microenc/microen/release.htm>
224. SPIP™, S. P. (n.d.). Preuzeto 06 20, 2018 sa www.imagemet.com: http://www.imagemet.com/WebHelp6/Default.htm#RoughnessParameters/Roughness_Parameters.htm#Roughness_Average
225. Stančić, M. (2015). *Model toplotnih svojstava štampanih odjevnih predmeta*. Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za grafičko inženjerstvo i dizajn. Novi Sad: Fakultet tehničkih nauka. Preuzeto sa http://www.grid.uns.ac.rs/data/biblioteka/disertacije/stancic_disertacija.pdf
226. Stančić, M., Grujić, D., Kašiković, N., Novaković, D., Ružičić, B., & Milošević, R. (2015). Influence of the Washing Process and the Perspiration Effects on the Qualities of Printed Textile Substrates. *Tekstilec*, 58(2), 135–142.

227. Stančić, M., Grujić, D., Novaković, D., Kašiković, N., Ružičić, B., & Geršak, J. (2014). Dependence of warm or cold feeling and heat retention ability of knitwear from digital print parameters. 5:25-32. *Journal of Graphic Engineering and Design*, 5(1), 25-32.
228. Stankovič Elesini, U., & Urbas, R. (2016a). U J. Izdebska, T. Sabu, & 1. s. edition (Ur.), *Printing on polymers*. Oxford, United Kingdom: Elsevier Inc. Preuzeto sa <http://store.elsevier.com/Printing-on-Polymers/Joanna-Izdebska/isbn-9780323374682/>
229. Stankovič Elesini, U., Leskovšek, M., Bernik, S., Šumiga, B., & Urbas, R. (2016d). Influence of co-current spray drying conditions on agglomeration of melamine-formaldehyde microcapsules. *Drying Technology*, 34(12), 1510-1520. doi:doi.org/10.1080/07373937.2015.1131713
230. Stankovič Elesini, U., Magajna, L., Fele, N., & Urbas, R. (2016c). Identifying character of essential oils by the response time measuring. *Proceedings of the 16th World Textile Conference AUTEX 2016*, (str. 7). Ljubljana, Slovenia.
231. Stankovič Elesini, U., Šumiga, B., Manojlovič, S., & Urbas, R. (2014). Proceedings of the 7th Symposium of Information and Graphic Arts Technology., 7, str. 187-192. Ljubljana, Slovenia. Preuzeto sa https://www.researchgate.net/publication/309292445_RAISED_PRINTING_WITH_SCREEN_PRINTING_TECHNIQUE
232. Stankovič Elesini, U., Švarc, J., Šumiga, B., & Urbas, R. (2016b). Development of Scented Bow-Tie: User Experience. *Tekstilec*, 59(3), 206-215.
233. Stankovič Elesini, U., Švarc, J., Šumiga, B., & Urbas, R. (2017). Melamine formaldehyde microcapsules with fragrance core material: Preparation, properties, and end use. *Textile Research Journal*, 87(20), 2435–2448.
234. Starešinič, M., Šumiga, B., & Boh, B. (2011). Microencapsulation for Textile Applications and Use of SEM Image Analysis for Visualisation of Microcapsules. *Tekstilec*, 54(4), 80-103.
235. Streefland, W. (2007). Preuzeto 05 31, 2018 sa www.tcbvba.be: http://www.tcbvba.be/index_htm_files/11%20DensitoMeterAndDotAreaFlexo&Gravure.pdf
236. Su, J.-F., Wang, X.-Y., & Dong, H. (2012). Micromechanical properties of melamine–formaldehyde microcapsules by nanoindentation: Effect of size and shell thickness. *Materials Letters*, 89, 1–4. doi:dx.doi.org/10.1016/j.matlet.2012.08.072
237. Sun, G., & Zhang, Z. (2002). Mechanical strength of microcapsules made of different wall materials. *International Journal of Pharmaceutics*, 242(1-2), 307–311. doi:doi.org/10.1016/S0378-5173(02)00193-X
238. Šumiga, B. (2013). *Informational approaches in the design of chemical microencapsulation processes*. University of Ljubljana, Slovenia. Ljubljana: Faculty of natural sciences and engineering.
239. Tarnopol, P. B. (2011). *Br. patenta WO2011002997A1*.
240. Techkon GmbH. (2018, mart). Preuzeto 06 01, 2018 sa www.techkon.com: <https://www.techkon.com/files/downloads/prospekte/SpectroDens%20Manual%20Web.pdf>

241. Teixeira, C. S. (2010). *Laboratory of Separation and Reaction Engineering Associate Laboratory -LSRE/LCM*. Faculty of Engineering, University of Porto, Department of Chemical Engineering. Porto, Portugal: Faculty of Engineering, University of Porto.
242. Teixeira, C. S., Martins, I. M., Mata, V. L., Barreiro, M. F., & Rodrigues, A. E. (2012). Characterization and evaluation of commercial fragrance microcapsules for textile application. *The Journal of The Textile Institute*, 103(3), 269–282. doi:10.1080/00405000.2011.566312
243. Ternat, C., Ouali, L., Sommer, H., Fieber, W., Velazco, M., Plummer, C., . . . Herrmann, A. (2008). Investigation of the release of bioactive volatiles from amphiphilic multiarm star-block copolymers by thermogravimetry and dynamic headspace analysis. *Macromolecules*, 41(19), 7079–7089. doi:10.1021/ma801366m
244. Tetsuya, W., & Susumu, O. (2004). Preuzeto sa www.nise.go.jp: https://www.nise.go.jp/kenshuka/josa/kankobutsu/pub_a/nise_a-8/nise_a-8_1.pdf
245. The Aroma Company. (n.d.). (T. A. Company, Producent) Preuzeto 06 22, 2018 sa www.aromaco.co.uk: <http://www.aromaco.co.uk/touch-to-smell/>
246. Theophanides, T. (2012). *Infrared Spectroscopy - Materials Science, Engineering and Technology*. IntechOpen. doi:10.5772/2055
247. Thilagavathi, G., & Kannaian, T. (2010). Combined antimicrobial and aroma finishing treatment for cotton, using micro encapsulated geranium (*Pelargonium graveolens* L' Herit. Ex Ait.) leaves extract. *Indian Journal of Natural Products and Resources*, 1(3), 348-352.
248. Tomić, I. (2016). *Karakterizacija kolorimetrijskih vrednosti otisaka štampanih goniohromatskim pigmentima*. Novi Sad: Fakultet tehničkih nauka. Preuzeto sa http://www.grid.uns.ac.rs/data/biblioteka/disertacije/ivana_tomic_disertacija.pdf
249. Tomić, I. (2016). *Karakterizacija kolorimetrijskih vrednosti otisaka štampanih goniohromatskim pigmentima*. Univerzitet u Novom Sadu, Departman za grafičko inženjerstvo i dizajn. Novi Sad: Fakultet tehničkih nauka. Preuzeto sa http://www.grid.uns.ac.rs/data/biblioteka/disertacije/ivana_tomic_disertacija.pdf
250. Tseng, T.-L., Konada, U., & Kwon, Y. (2016). A novel approach to predict surface roughness in machining operations using fuzzy set theory. *Journal of Computational Design and Engineering*, 3(1), 1-13. Preuzeto sa <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2288430015000391>
251. Urbas, R., & Stanković Elesini, U. (2015). Color differences and perceptive properties of prints made with microcapsules. *Journal of Graphic Engineering and Design*, 6(1), 15-21. Preuzeto sa <http://www.grid.uns.ac.rs/jged/download.php?fid=152>
252. Urbas, R., Manojlović, S., Šumiga, B., & Stanković Elesini, U. (2017b). The influence of microcapsules on the properties of raised prints. *Cellulose Chemistry and Technology*, 51(3-4), 319-331.
253. Urbas, R., Milošević, R., Kašiković, N., Pavlović, Ž., & Stanković Elesini, U. (2017). Microcapsules application in graphic arts industry: a review on the state-of-the-art. *Iranian Polymer Journal*, 26, 541-561.

254. Urbas, R., Pavlović, Ž., Draganov, S., & Stanković Elesini, U. (2014). Offset Printing by The Microcapsules – Influence on The Properties of Paper Substrate. *Proceedings of the 7th GRID Symposium*, 7, str. 51–58. Novi Sad: Faculty of Technical Sciences.
255. Vaidya, U., Meier, G., & Knipp, R. (2007). Preuzeto sa <https://www.google.com/patents/US20070244219>
256. Van Damme, T. (2007). *Microencapsulation: des sciences aux technologies*. Paris: Lavoisier. Preuzeto sa <https://www.amazon.fr/Microencapsulation-sciences-technologies-Thierry-Vandamme/dp/2743009764>
257. Verso Corporation. (2016). *www.versoco.com*. Preuzeto 01 14, 2019 sa <https://www.versoco.com/wps/wcm/connect/8f266e4a-9e00-45ee-b840-1be6b54ac281/Technical+Bulletin+Paper+Stability.pdf?MOD=AJPERES&CVID=lpM9NwL&CVID=lpM9NwL>
258. Viluksela, P., Kariniemi, M., & Nors, M. (2010). *Environmental performance of digital printing*. Helsinki: JULKAISIJA – UTGIVARE. Preuzeto sa <https://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2010/T2538.pdf>
259. Viptronic. (n.d.). Preuzeto 08 10, 2018 sa <http://web.tiscali.it: http://web.tiscali.it/colorconsulting/pdf/Vipdens-150.pdf>
260. Walmart Inc. (n.d.). (Walmart Inc.) Preuzeto 06 22, 2018 sa www.walmart.com: https://www.walmart.com/ip/Crest-White-Expressi-Crest-Whitening-Ex-Wintergreen-Ice/10849342
261. Wang, S. (2014). *Surface characterization of chemically modified fiber, wood and paper*. Doctoral Thesis, Åbo Akademi University, Laboratory of Paper Coating and Converting Center for Functional Materials, Department of Chemical Engineering, Åbo, Finland. Preuzeto sa https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/96382/wang_shaoxia.pdf?sequence=2
262. Way, T. P., & Barner, K. E. (1997). Automatic visual to tactile translation - Part I: Human factors, access methods, and image manipulation. *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering*, 5(1), 81-94.
263. West, B., Wald, M., Jakes, J., Hotle, B., Considine, J., Rowlands, R., & Turner, K. (2008, 06). *www.tappi.org*. Preuzeto 01 13, 2019 sa <http://www.tappi.org/content/events/08nano/papers/08nan34.pdf>
264. Witeg Labortechnik GmbH. (n.d.). Preuzeto 08 16, 2018 sa [www.asltd.com: http://www.asltd.com.tr/pdf/Mekanik-Karisticilar/Witeg.pdf](http://www.asltd.com: www.asltd.com: http://www.asltd.com.tr/pdf/Mekanik-Karisticilar/Witeg.pdf)
265. Wu, Y., Pekarovicova, A., & Fleming, P. (2008). The Effect of Paper Properties on the Color Reproduction for Digital Proofing of Gravure Publication Printing. *TAGA JOURNAL*, 4, 72-83.
266. Wysocki, J. C., & Gilbert, N. A. (1989). National Geographic Smell Survey. Effects of age are heterogenous. *Annals New York Academy of Sciences*, 561(1), 12–28.
267. X-Rite. (2011). Preuzeto 09 25, 2018 sa http://www.kamado.pl: http://www.kamado.pl/doc/110-336_elcometer_407_en.pdf

268. x-rite. (2018). *Whiteness and Yellowness Indices in a SpectroEye*. (x-rite) Preuzeto 06 01, 2018 sa www.xrite.com: https://www.xrite.com/service-support/whiteness_and_yellowness_indices_in_a_spectroeye
269. Xu, R., Fleming, P., & Pek, A. (2005). The Effect of Ink Jet Paper Roughness on Print Gloss. *JOURNAL OF IMAGING SCIENCE AND TECHNOLOGY*, 49(6), 660-666. Preuzeto sa <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.308.4865&rep=rep1&type=pdf>
270. Yusof, M. S., & Gethin, D. T. (2011). Investigation of Carbon Black Ink on Fine Solid Line. *Recent Researches in Communications, Automation, Signal Processing, Nanotechnology, Astronomy and Nuclear Physics* (str. 138-142). Cambridge, UK: WSEAS Press. Preuzeto sa <http://www.wseas.us/e-library/conferences/2011/Cambridge/NEHIPISIC/NEHIPISIC-23.pdf>
271. Zhang, Z., Ferenczi, M. A., Lush, A. C., & Thomas, C. R. (1991). A novel micromanipulation technique for measuring the bursting strength of single mammalian cells. *Applied Microbiology Biotechnology*, 36(2), 208- 210. Preuzeto sa <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00164421>
272. Zhang, Z., Saunders, R., & Thomas, C. R. (1999). Mechanical strength of single microcapsules determined by a novel micromanipulation technique. *Journal of Microencapsulation*, 16(1), 117-124. doi:10.1080/026520499289365
273. Zhao, P., Ouyang, Y., Xu, M., Yang, L., & Ren, Y. (2018). *Applied Sciences in Graphic Communication and Packaging* (T. 477). Singapore: Springer Singapore. doi:10.1007/978-981-10-7629-9

Prilog 1 – Rezultati statističke analize

Tabela 11.1. Multifaktorska analiza varijanse rezultata debljine oplemenjenih slojeva

Faktor	Suma kvadrata	df	Sredina kvadrata	F	p	Eta kvadrat
Korigovani model	2855,875 ^a	31	92,125	23,986	0,000	0,550
Konstatni član	15880,225	1	15880,225	4134,625	0,000	0,872
1. Tehnika	1883,756	1	1883,756	490,461	0,000	0,446
2. Lak	7,656	1	7,656	1,993	0,158	0,003
3. Podloga	100,806	1	100,806	26,246	0,000	0,041
4. Koncentracija	594,687	3	198,229	51,612	0,000	0,203
1.tehnika*lak	18,225	1	18,225	4,745	0,030	0,008
2. tehnika*podloga	9,025	1	9,025	2,350	0,126	0,004
3. tehnika*koncentracija	141,931	3	47,310	12,318	0,000	0,057
4. lak*podloga	16,900	1	16,900	4,400	0,036	0,007
5. lak*koncentracija	13,256	3	4,419	1,150	0,328	0,006
6. podloga*koncentracija	22,131	3	7,377	1,921	0,125	0,009
1. teh*lak*pod	10,506	1	10,506	2,735	0,099	0,004
2. teh*lak*kon	2,713	3	,904	,235	0,872	0,001
3. teh*pod*konc	10,088	3	3,363	,875	0,453	0,004
4. lak*pod*konc	20,538	3	6,846	1,782	0,149	0,009
5. tehnika*lak*pod*konc	3,656	3	1,219	,317	0,813	0,002
Greška	2335,200	608	3,841			
Ukupno	21071,300	640				
Korigovano ukupno	5191,075	639				

^a R kvadrat = 0,550 (korigovani R kvadrat = 0,527)

Tabela 11.2. Multifaktorska analiza varijanse rezultata gramature oplemenjenih otisaka

Faktor	Suma kvadrata	df	Sredina kvadrata	F	p	Eta kvadrat
Korigovani model	6386,789 ^a	31	206,025	83,401	0,000	0,942
Konstatni član	3608068,975	1	3608068,975	1460585,246	0,000	1,000
1. Tehnika	1080,389	1	1080,389	437,353	0,000	0,732
2. Lak	42,347	1	42,347	17,143	0,000	0,097
3. Podloga	72,952	1	72,952	29,532	0,000	0,156
4. Koncentracija	4284,071	3	1428,024	578,079	0,000	0,916
1.tehnika*lak	14,515	1	14,515	5,876	0,016	0,035
2. tehnika*podloga	,338	1	,338	0,137	0,712	0,001
3. tehnika*koncentracija	758,190	3	252,730	102,308	0,000	0,657
4. lak*podloga	1,914	1	1,914	0,775	0,380	0,005
5. lak*koncentracija	4,687	3	1,562	0,632	0,595	0,012
6. podloga*koncentracija	4,947	3	1,649	0,668	0,573	0,012
1. teh*lak*pod	46,976	1	46,976	19,016	0,000	0,106
2. teh*lak*kon	25,186	3	8,395	3,399	0,019	0,060
3. teh*pod*konc	6,247	3	2,082	0,843	0,472	0,016
4. lak*pod*konc	21,556	3	7,185	2,909	0,036	0,052
5. tehnika*lak*pod*konc	22,475	3	7,492	3,033	0,031	0,054
Greška	395,246	160	2,470			
Ukupno	3614851,010	192				
Korigovano ukupno	6782,035	191				

^a R kvadrat = 0,941 (korigovani R kvadrat = 0,930)

Tabela 11.3. Multifaktorska analiza varijanse rezultata površinske hrapavosti (S_q) oplemenjenih otisaka

Faktor	Suma kvadrata	df	Sredina kvadrata	F	p	Eta kvadrat
Korigovani model	61018,618 ^a	31	1968,343	7,217	0,000	0,778
Konstatni član	308991,292	1	308991,292	1132,882	0,000	0,947
1. Tehnika	569,060	1	569,060	2,086	0,153	0,032
2. Lak	6479,499	1	6479,499	23,756	0,000	0,271
3. Podloga	259,088	1	259,088	,950	0,333	0,015
4. Koncentracija	43003,787	3	14334,596	52,556	0,000	0,711
1.tehnika*lak	739,982	1	739,982	2,713	0,104	0,041
2. tehnika*podloga	665,022	1	665,022	2,438	0,123	0,037
3. tehnika*koncentracija	1030,889	3	343,630	1,260	0,296	0,056
4. lak*podloga	338,138	1	338,138	1,240	0,270	0,019
5. lak*koncentracija	314,791	3	104,930	,385	0,764	0,018
6. podloga*koncentracija	2721,371	3	907,124	3,326	0,025	0,135
1. teh*lak*pod	519,545	1	519,545	1,905	0,172	0,029
2. teh*lak*kon	2112,598	3	704,199	2,582	0,061	0,108
3. teh*pod*konc	128,028	3	42,676	,156	0,925	0,007
4. lak*pod*konc	1402,358	3	467,453	1,714	0,173	0,074
5. tehnika*lak*pod*konc	734,462	3	244,821	,898	0,447	0,040
Greška	17455,869	64	272,748			
Ukupno	387465,778	96				
Korigovano ukupno	78474,486	95				

^a R kvadrat = 0,941 (korigovani R kvadrat = 0,930)

Tabela 11.4. Multifaktorska analiza varijanse rezultata deformacije oplemenjenih otisaka

Faktor	Suma kvadrata	df	Sredina kvadrata	F	p	Eta kvadrat
Korigovani model	237685872197,31 ^a	31	7667286199,9	2328,8	0,000	0,958
Konstatni član	755569816376,45	1	755569816376,4	229494,8	0,000	0,986
1. Tehnika	27026571765,38	1	27026571765,4	8208,98	0,000	0,722
2. Lak	12025585,02	1	12025585,0	3,65	0,056	0,001
3. Podloga	9556978442,14	1	9556978442,1	2902,81	0,000	0,478
4. Koncentracija	4609426194,11	3	1536475398,0	466,69	0,000	0,306
1.tehnika*lak	843915142,82	1	843915142,8	256,33	0,000	0,075
2. tehnika*podloga	7725973990,09	1	7725973990,1	2346,67	0,000	0,426
3. teh*konc	17316593398,97	3	5772197799,7	1753,23	0,000	0,624
4. lak*podloga	7235172451,31	1	7235172451,3	2197,59	0,000	0,410
5. lak*koncentracija	24875771731,31	3	8291923910,4	2518,57	0,000	0,705
6. pod*konc	6177231167,68	3	2059077055,9	625,42	0,000	0,372
1. teh*lak*pod	554270341,11	1	554270341,1	168,35	0,000	0,050
2. teh*lak*kon	19190957015,39	3	6396985671,8	1943,00	0,000	0,648
3. teh*pod*konc	73310354077,15	3	24436784692,4	7422,37	0,000	0,875
4. lak*pod*konc	14122749209,02	3	4707583069,67	1429,87	0,000	0,575
5. teh*lak*pod*konc	25127881685,83	3	8375960561,95	2544,09	0,000	0,707
Greška	10430062846,71	3168	3292317,82			
Ukupno	1003685751420,47	3200				
Korigovano ukupno	248115935044,02	3199				

^a R kvadrat = 0,941 (korigovani R kvadrat = 0,930)

Tabela 11.5. Multifaktorska analiza varijanse rezultata optičke gustine oplemenjenih otisaka cijan boje

Faktor	Suma kvadrata	df	Sredina kvadrata	F	p	Eta kvadrat
Korigovani model	1,158 ^a	31	0,037	52,519	0,000	0,809
Konstatni član	716,336	1	716,336	1007480,336	0,000	1,000
1. Tehnika	0,024	1	0,024	33,122	0,000	0,079
2. Lak	0,009	1	0,009	12,077	0,001	0,030
3. Podloga	0,186	1	0,186	261,219	0,000	0,405
4. Koncentracija	0,686	3	0,229	321,534	0,000	0,715
1.tehnika*lak	0,004	1	0,004	5,802	0,016	0,015
2. tehnika*podloga	0,134	1	0,134	188,655	0,000	0,329
3. teh*konc	0,002	3	0,001	0,956	0,414	0,007
4. lak*podloga	0,014	1	0,014	19,312	0,000	0,048
5. lak*koncentracija	0,032	3	0,011	14,787	0,000	0,104
6. pod*konc	0,010	3	0,003	4,512	0,004	0,034
1. teh*lak*pod	0,005	1	0,005	6,346	0,012	0,016
2. teh*lak*kon	0,007	3	0,002	3,110	0,026	0,024
3. teh*pod*konc	0,012	3	0,004	5,663	0,001	0,042
4. lak*pod*konc	0,034	3	0,011	16,081	0,000	0,112
5. teh*lak*pod*konc	0,001	3	0,000	0,539	0,656	0,004
Greška	0,273	384	0,001			
Ukupno	717,767	416				
Korigovano ukupno	1,431	415				

^a R kvadrat = 0,550 (korigovani R kvadrat = 0,527)

Tabela 11.6. Multifaktorska analiza varijanse rezultata sjaja oplemenjenih otisaka cijan boje

Faktor	Suma kvadrata	df	Sredina kvadrata	F	p	Eta kvadrat
Korigovani model	78754,343 ^a	31	2540,463	1904,841	0,000	0,995
Konstatni član	546002,535	1	546002,535	409393,156	0,000	0,999
1. Tehnika	1232,450	1	1232,450	924,092	0,000	0,762
2. Lak	195,938	1	195,938	146,914	0,000	0,338
3. Podloga	9022,752	1	9022,752	6765,267	0,000	0,959
4. Koncentracija	62769,234	3	20923,078	15688,141	0,000	0,994
1.tehnika*lak	106,491	1	106,491	79,847	0,000	0,217
2. tehnika*podloga	165,600	1	165,600	124,167	0,000	0,301
3. teh*konc	2517,243	3	839,081	629,144	0,000	0,868
4. lak*podloga	41,328	1	41,328	30,988	0,000	0,097
5. lak*koncentracija	357,571	3	119,190	89,369	0,000	0,482
6. pod*konc	1409,655	3	469,885	352,320	0,000	0,786
1. teh*lak*pod	259,200	1	259,200	194,348	0,000	0,403
2. teh*lak*kon	283,801	3	94,600	70,932	0,000	0,425
3. teh*pod*konc	194,144	3	64,715	48,523	0,000	0,336
4. lak*pod*konc	112,401	3	37,467	28,093	0,000	0,226
5. teh*lak*pod*konc	86,533	3	28,844	21,628	0,000	0,184
Greška	384,102	288	1,334			
Ukupno	625140,980	320				
Korigovano ukupno	79138,445	319				

^a R kvadrat = 0,995 (korigovani R kvadrat = 0,995)

Tabela 11.7. Multifaktorska analiza varijanse rezultata razlike u boji otisaka štampanih cijan bojom

Faktor	Suma kvadrata	df	Sredina kvadrata	F	p	Eta kvadrat
Korigovani model	233,027 ^a	31	7,517	85,369	0,000	0,883
Konstatni član	4684,560	1	4684,560	53201,578	0,000	0,993
1. Tehnika	0,134	1	0,134	1,525	0,218	0,004
2. Lak	5,042	1	5,042	57,257	0,000	0,140
3. Podloga	147,065	1	147,065	1670,181	0,000	0,826
4. Koncentracija	39,515	3	13,172	149,589	0,000	0,560
1.tehnika*lak	3,682	1	3,682	41,812	0,000	0,106
2. tehnika*podloga	4,960	1	4,960	56,324	0,000	0,138
3. teh*konc	1,718	3	0,573	6,506	0,000	0,053
4. lak*podloga	1,027	1	1,027	11,665	0,001	0,032
5. lak*koncentracija	7,895	3	2,632	29,888	0,000	0,203
6. pod*konc	6,146	3	2,049	23,267	0,000	0,165
1. teh*lak*pod	0,461	1	0,461	5,232	0,023	0,015
2. teh*lak*kon	3,528	3	1,176	13,356	0,000	0,102
3. teh*pod*konc	2,572	3	0,857	9,737	0,000	0,077
4. lak*pod*konc	8,739	3	2,913	33,083	0,000	0,220
5. teh*lak*pod*konc	0,543	3	0,181	2,055	0,106	0,017
Greška	30,995	352	0,088			
Ukupno	4948,582	384				
Korigovano ukupno	264,021	383				

^a R kvadrat = 0,883 (korigovani R kvadrat = 0,872)

Tabela 11.8. Multifaktorska analiza varijanse rezultata distribucije oplemenjenih otisaka

Faktor	Suma kvadrata	df	Sredina kvadrata	F	p	Eta kvadrat
Korigovani model	38392,612 ^a	7	5484,659	64,987	0,000	0,435
Konstatni član	805713,615	1	805713,615	9546,757	0,000	0,942
1. Tehnika	21087,082	1	21087,082	249,857	0,000	0,297
2. Lak	193,802	1	193,802	2,296	0,130	0,004
3. Podloga	11961,735	1	11961,735	141,732	0,000	0,193
1.tehnika*lak	945,015	1	945,015	11,197	0,001	0,019
2. tehnika*podloga	1178,802	1	1178,802	13,967	0,000	0,023
3. lak*podloga	459,375	1	459,375	5,443	0,020	0,009
1. tehnika*lak*podloga	2566,802	1	2566,802	30,414	0,000	0,049
Greška	49962,773	592	84,397			
Ukupno	894069,000	600				
Korigovano ukupno	88355,385	599				

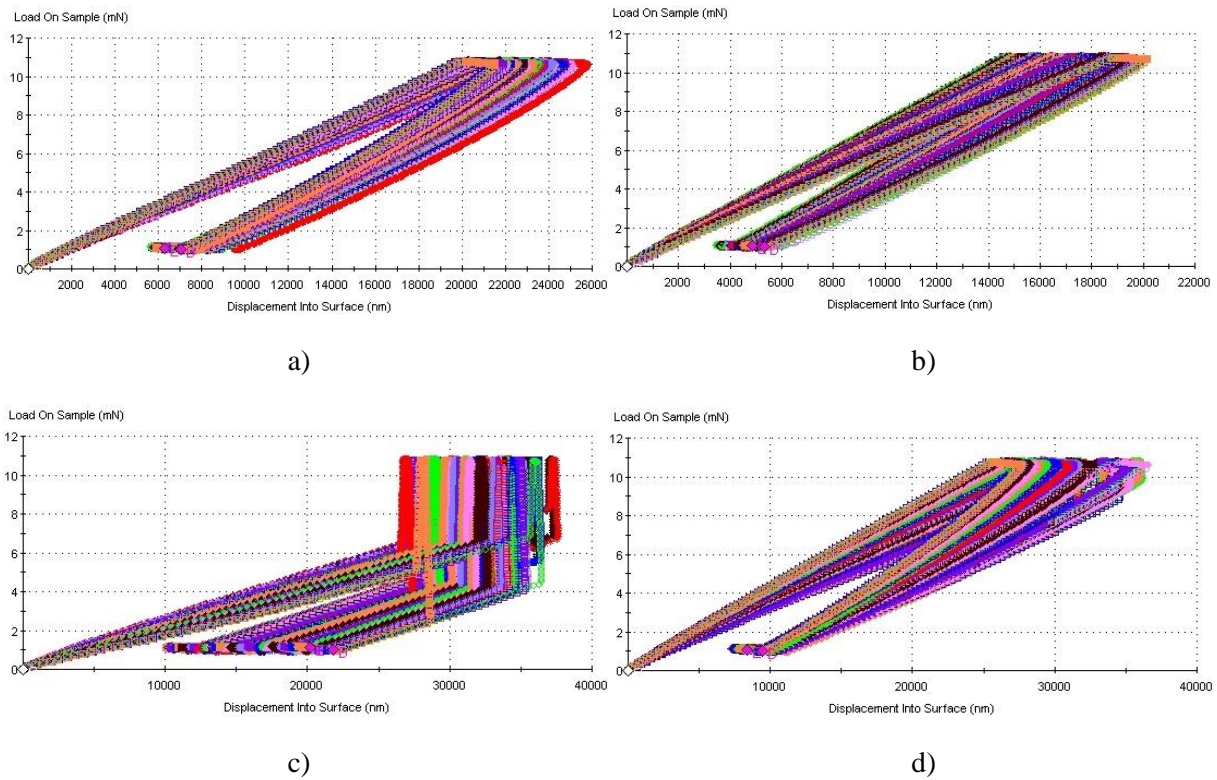
a. R kvadrat = 0,435 (korigovani R kvadrat = 0,428)

Tabela 11.9. Multifaktorska analiza varijanse rezultata intenziteta mirisa oplemenjenih otisaka

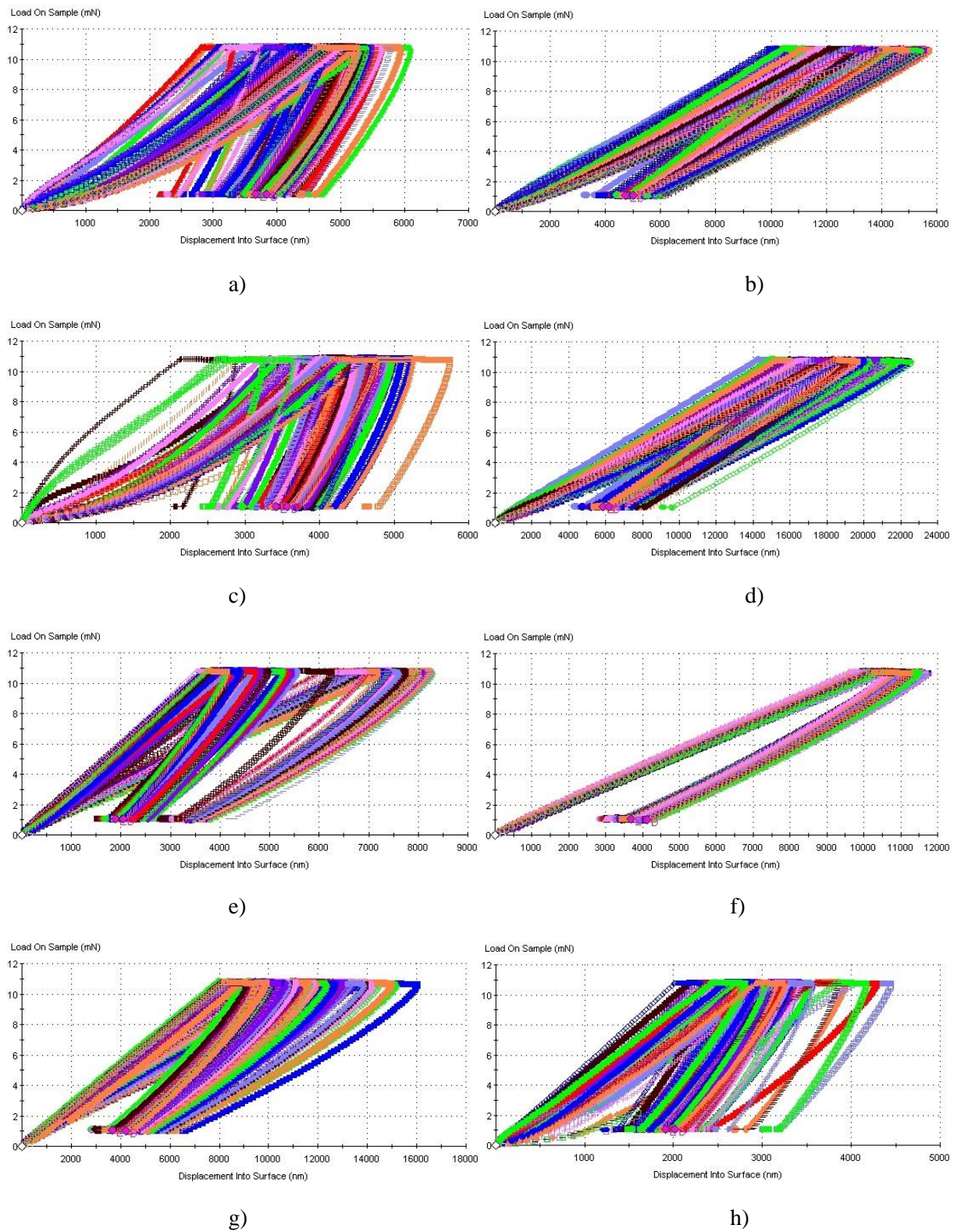
Faktor	Suma kvadrata	df	Sredina kvadrata	F	p	Eta kvadrat
Korigovani model						
Konstatni član						
1. Tehnika						
2. Lak						
3. Podloga						
4. Koncentracija						
1.tehnika*lak						
2. tehnika*podloga						
3. teh*konc						
4. lak*podloga						
5. lak*koncentracija						
6. pod*konc						
1. teh*lak*pod						
2. teh*lak*konc						
3. teh*pod*konc						
4. lak*pod*konc						
5. teh*lak*pod*konc						
Greška						
Ukupno						
Korigovano ukupno						

^a R kvadrat = 0, (korigovani R kvadrat = 0,)

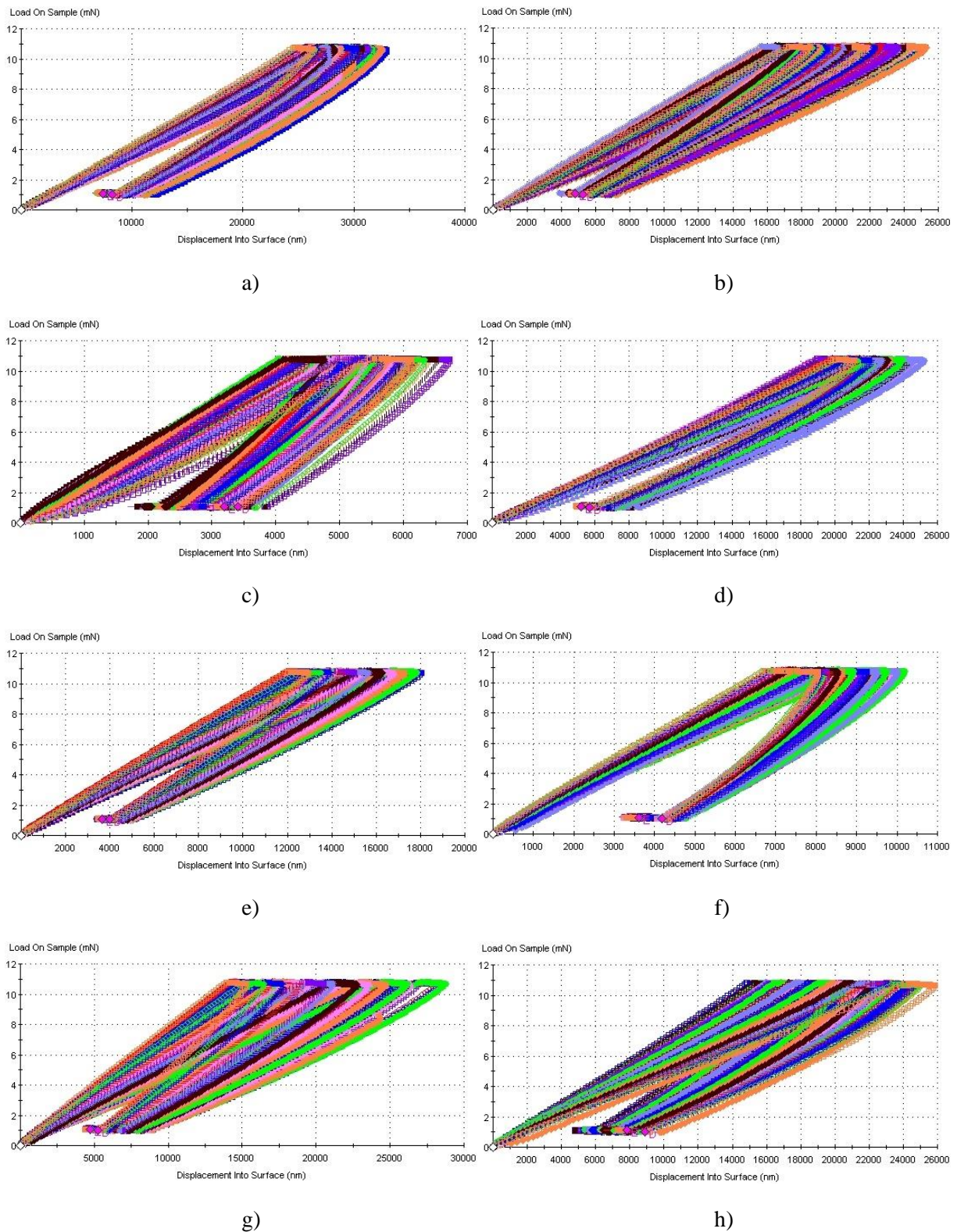
Prilog 2 – Prikaz generisanih krivih napon-deformacija za sva pojedinačna merenja



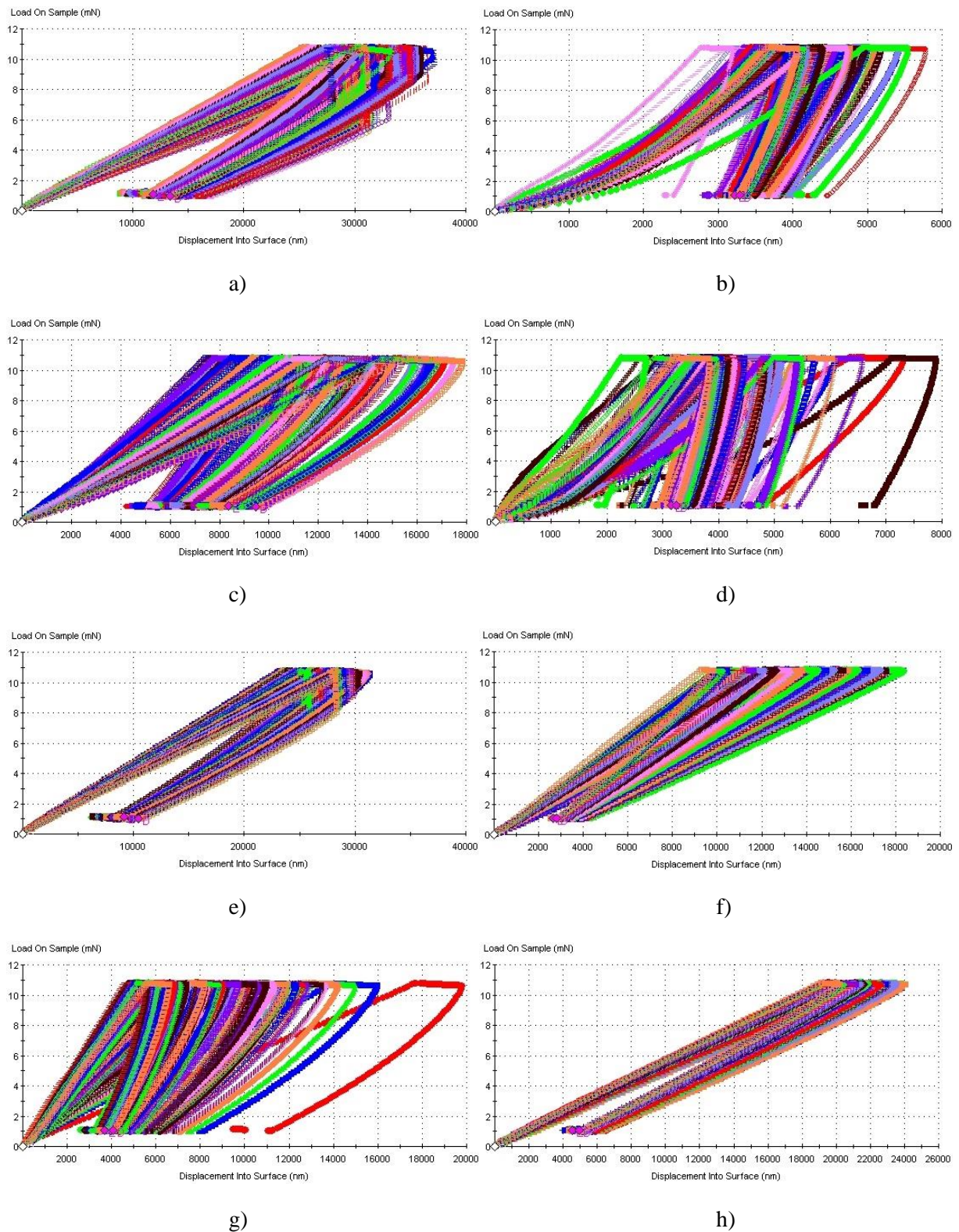
Slika 11.1. Izgled svih krivih napon-deformacija: a) neodštampani mat premazni papir, b) štampani mat premazni papir (pun ton), c) neodštampani sjajni premazni papir, d) štampani sjajni premazni papir (pun ton)



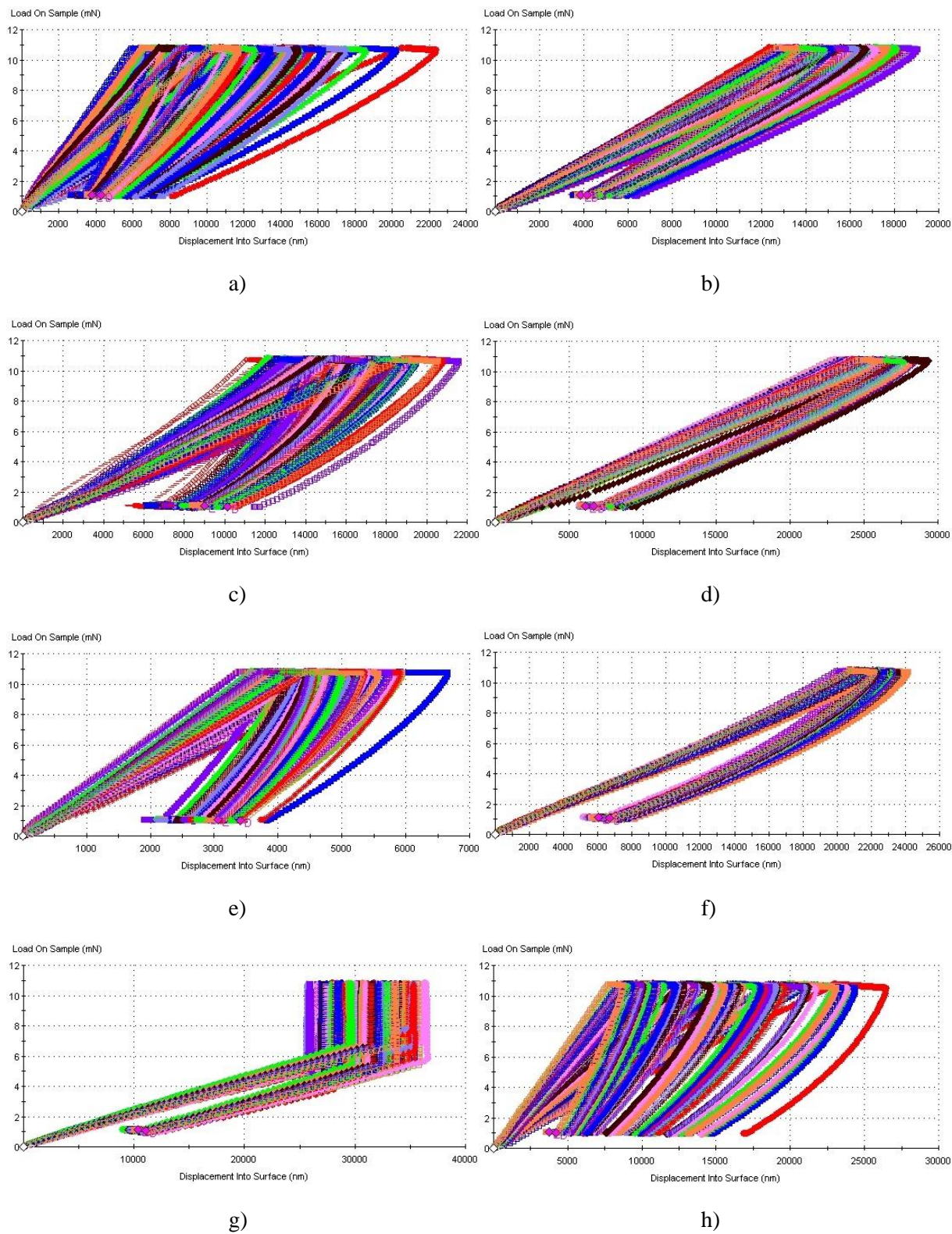
Slika 11.2. Izgled svih krivih napon-deformacija mat premaznog papira oplemenjenog automatskom tehnikom premazivanja L_1 i L_2 lakom: a) $PL_{L_1_0\%_mat}$, b) $PL_{L_1_1\%_mat}$, c) $PL_{L_1_7\%_mat}$, d) $PL_{L_1_15\%_mat}$, e) $PL_{L_2_0\%_mat}$, f) $PL_{L_2_1\%_mat}$, g) $PL_{L_2_7\%_mat}$, h) $PL_{L_2_15\%_mat}$



Slika 11.3. Izgled svih krivih napon-deformacija mat premaznog papira oplemenjenog flekso tehnikom štampe L_1 i L_2 lakom: a) $FL_1_0\%_mat$, b) $FL_1_1\%_mat$, c) $FL_1_7\%_mat$, d) $FL_1_15\%_mat$, e) $FL_2_0\%_mat$, f) $FL_2_1\%_mat$, g) $FL_2_7\%_mat$, h) $FL_2_15\%_mat$



Slika 11.4. Izgled svih krivih napon-deformacija sjajnog premaznog papira oplemenjenog automatskom tehnikom premazivanja L₁ i L₂ lakom: a) PL_{1_0%}_ sjajni, b) PL_{1_1%}_ sjajni, c) PL_{1_7%}_ sjajni, d) PL_{1_15%}_ sjajni, e) PL_{2_0%}_ sjajni, f) PL_{2_1%}_ sjajni, g) PL_{2_7%}_ sjajni, h) PL_{2_15%}_ sjajni



Slika 11.5. Izgled svih krivih napon-deformacija sjajnog premaznog papira oplemenjenog flekso tehnikom štampe L_1 i L_2 lakom: a) $FL_1_{0\%}$ _sjajni, b) $FL_1_{1\%}$ _sjajni, c) $FL_1_{7\%}$ _sjajni, d) $FL_1_{15\%}$ _sjajni, e) $FL_2_{0\%}$ _sjajni, f) $FL_2_{1\%}$ _sjajni, g) $FL_2_{7\%}$ _sjajni, h) $FL_2_{15\%}$ _sjajni

Prilog 3 - Anketni list - Ocenjivanje prisustva mirisa u oplemenjenim uzorcima

Poštovani/poštovana,

Ova anketa predstavlja deo istraživanja doktorske disertacije Rastka Miloševića, člana Departmana za grafičko inženjerstvo i dizajn, Fakulteta tehničkih nauka, Univerziteta u Novom Sadu. U okviru doktorske disertacije, kao jedan segment istraživanja želeli bismo da ispitamo prisustvo mirisa, kao i njegov intenzitet u oplemenjenim otiscima sa mikrokapsulama, a u te svrhe nam je potrebna Vaša pomoć kako biste ocenili intenzitet prisutnog mirisa u pripremljenim uzorcima.

Veliko hvala na učestvovanju i pomoći oko testa ocenjivanja prisustva mirisa u oplemenjenim otiscima sa mikrokapsulama, Vaš doprinos ovom istraživanju je krucijalan.

Svi lični podaci priloženi u anketnom listiću kao i rezultati istraživanja, koristiće se isključivo u naučne svrhe u cilju ispitivanja prisustva mirisa i njegovog intenziteta u oplemenjenim otiscima sa mikrokapsulama.

Želimo Vam prijatan test.

Ime i prezime: _____

Godina rođenja: _____

1. Prvo testiranje – 23.05.2018.

Kako se osećate danas? (zaokružite)



Da li ste pušač? (zaokružite)

DA

NE

Upišite eventualne razloge koji bi mogli uticati na današnje ocenjivanje prisustva mirisa u oplemenjenim otiscima mikrokapsulama (npr. prehlada, zapašen nos, i sl.).

Pre testa je potrebno da operete ruke našim sapunom bez mirisa.

Pomirišite test uzorke i u odgovarajućoj tabeli ispod označite intenzitet percipiranog mirisa za svaki od uzoraka (za svaki uzorak izaberite jednu mogućnost).

Test uzorak	① bez mirisa	② jedva osetan miris	③ blag miris	④ intenzivan miris	⑤ veoma intenzivan miris
F1					
F2					
F3					
F4					
F5					
F6					

Test uzorak	① bez mirisa	② jedva osetan miris	③ blag miris	④ intenzivan miris	⑤ veoma intenzivan miris
S1					
S2					
S3					
S4					
S5					
S6					

Svi uzorci se sada vraćaju u kutiju za odlaganje uzoraka, osim uzoraka **F1** i **S1**.

Test uzorak **F1** blago protrljajte prstom 4× (desno - levo - desno - levo), zatim ga pomirišite, a potom u tabeli ispod označite intenzitet percipiranog mirisa. To isto ponovite i za test uzorak **S1** (za svaki uzorak izaberite jednu mogućnost). Za svaki uzorak koristite drugi prst za trljanje.

Test uzorak	❶ bez mirisa	❷ jedva osetan miris	❸ blag miris	❹ intenzivan miris	❺ veoma intenzivan miris
F1					
S1					

Molimo Vas, da odgovorite na sledeća pitanja:

Da li prepoznajete koji je miris u pitanju? _____

Označite ocenom od 1 do 5 vaš doživljaj mirisa (1 – uopšte se ne slažem; 5 – u potpunosti se slažem).

	❶	❷	❸	❹	❺
Miris je prijatan.					
Miris je neprijatan.					
Miris je interesantan.					

2. Drugo testiranje – 06.06.2018.

Kako se osećate danas? (zaokružite)



Da li ste pušač? (zaokružite)

DA

NE

Upišite eventualne razloge koji bi mogli uticati na današnje ocenjivanje prisustva mirisa u oplemenjenim otiscima mikrokapsulama (npr. prehlada, zapašen nos, i sl.).

Pre testa je potrebno da operete ruke našim sapunom bez mirisa.

Pomirišite test uzorke i u odgovarajućoj tabeli ispod označite intenzitet percipiranog mirisa za svaki od uzoraka (za svaki uzorak izaberite jednu mogućnost).

Test uzorak	① bez mirisa	② jedva osetan miris	③ blag miris	④ intenzivan miris	⑤ veoma intenzivan miris
F1					
F2					
F3					
F4					
F5					
F6					

Test uzorak	① bez mirisa	② jedva osetan miris	③ blag miris	④ intenzivan miris	⑤ veoma intenzivan miris
S1					
S2					
S3					
S4					
S5					
S6					

Svi uzorci se sada vraćaju u kutiju za odlaganje uzoraka, osim uzoraka **F1, F2, S1 i S2**.

Test uzorak **F1** blago protrljajte prstom 4× (desno - levo - desno - levo), zatim ga pomirišite, a potom u tabeli ispod označite intenzitet percipiranog mirisa. To isto ponovite i za test uzorke **F2**, **S1** i **S2** (za svaki uzorak izaberite jednu mogućnost). Za svaki uzorak koristite drugi prst za trljanje.

Test uzorak	❶ bez mirisa	❷ jedva osetan miris	❸ blag miris	❹ intenzivan miris	❺ veoma intenzivan miris
F1					
F2					
S1					
S2					

Rangirajte percipirani intenzitet mirisa četiri poslednje testirana uzorka (**F1**, **F2**, **S1** i **S2**), ocenama od 1 do 2 (1 - najmanje intenzivan miris, 2 - najintenzivniji miris). Ukoliko kod nekog od ova četiri uzorka niste osetili nikakav miris upišite 0.

	F1	F2	S1	S2
Rang [od 1 do 2]				

3. Treće testiranje – 20.06.2018.

Kako se osećate danas? (zaokružite)



Upišite eventualne razloge koji bi mogli uticati na današnje ocenjivanje prisustva mirisa u oplemenjenim otiscima mikrokapsulama (npr. prehlada, zapušen nos, i sl.).

Pre testa je potrebno da operete ruke našim sapunom bez mirisa.

Pomirišite test uzorke i u odgovarajućoj tabeli ispod označite intenzitet percipiranog mirisa za svaki od uzoraka (za svaki uzorak izaberite jednu mogućnost).

Test uzorak	❶ bez mirisa	❷ jedva osetan miris	❸ blag miris	❹ intenzivan miris	❺ veoma intenzivan miris
F1					
F2					
F3					
F4					
F5					
F6					

Test uzorak	❶ bez mirisa	❷ jedva osetan miris	❸ blag miris	❹ intenzivan miris	❺ veoma intenzivan miris
S1					
S2					
S3					
S4					
S5					
S6					

Svi uzorci se sada vraćaju u kutiju za odlaganje uzoraka, osim uzoraka **F1, F2, F3, S1, S2 i S3.**

Test uzorak **F1** blago protrljajte prstom 4× (desno - levo - desno - levo), zatim ga pomirišite, a potom u tabeli ispod označite intenzitet percipiranog mirisa. To isto ponovite i za test uzorke **F2, F3, S1, S2 i S3** (za svaki uzorak izaberite jednu mogućnost). Za svaki uzorak koristite drugi prst za trljanje.

Test uzorak	❶ bez mirisa	❷ jedva osetan miris	❸ blag miris	❹ intenzivan miris	❺ veoma intenzivan miris
F1					
F2					
F3					
S1					
S2					
S3					

Rangirajte percipirani intenzitet mirisa šest poslednje testirana uzorka (**F1, F2, F3, S1, S2 i S3**), ocenama od 1 do 3 (1 - najmanje intenzivan miris, 3 - najintenzivniji miris). Ukoliko kod nekog od ovih šest uzorka niste osetili nikakav miris upišite 0.

	F1	F2	F3	S1	S2	S3
Rang [od 1 do 3]						

4. Četvrto testiranje – 04.07.2018.

Kako se osećate danas? (zaokružite)



Upišite eventualne razloge koji bi mogli uticati na današnje ocenjivanje prisustva mirisa u oplemenjenim otiscima mikrokapsulama (npr. prehlada, zapašen nos, i sl.).

Pre testa je potrebno da operete ruke našim sapunom bez mirisa.

Pomirišite test uzorke i u odgovarajućoj tabeli ispod označite intenzitet percipiranog mirisa za svaki od uzoraka (za svaki uzorak izaberite jednu mogućnost).

Test uzorak	① bez mirisa	② jedva osetan miris	③ blag miris	④ intenzivan miris	⑤ veoma intenzivan miris
F1					
F2					
F3					
F4					
F5					
F6					

Test uzorak	① bez mirisa	② jedva osetan miris	③ blag miris	④ intenzivan miris	⑤ veoma intenzivan miris
S1					
S2					
S3					
S4					
S5					
S6					

Svi uzorci se sada vraćaju u kutiju za odlaganje uzoraka, osim uzoraka **F1, F2, F3, F4, S1, S2, S3 i S4.**

Test uzorak **F1** blago protrljajte prstom 4× (desno - levo - desno - levo), zatim ga pomirišite, a potom u tabeli ispod označite intenzitet percipiranog mirisa. To isto ponovite i za test uzorke **F2, F3, F4, S1, S2, S3** i **S4** (za svaki uzorak izaberite jednu mogućnost). Za svaki uzorak koristite drugi prst za trljanje.

Test uzorak	❶ bez mirisa	❷ jedva osetan miris	❸ blag miris	❹ intenzivan miris	❺ veoma intenzivan miris
F1					
F2					
F3					
F4					
S1					
S2					
S3					
S4					

Rangirajte percipirani intenzitet mirisa osam poslednje testiranih uzorka (**F1, F2, F3, F4, S1, S2, S3** i **S4**), ocenama od 1 do 4 (1 - najmanje intenzivan miris, 4 - najintenzivniji miris). Ukoliko kod nekog od ovih osam uzorka niste osetili nikakav miris upišite 0.

	F1	F2	F3	F4
Rang [od 1 do 4]				

	S1	S2	S3	S4
Rang [od 1 do 4]				

5. Peto testiranje – 18.07.2018.

Kako se osećate danas? (zaokružite)



Upišite eventualne razloge koji bi mogli uticati na današnje ocenjivanje prisustva mirisa u oplemenjenim otiscima mikrokapsulama (npr. prehlada, zapašen nos, i sl.).

Pre testa je potrebno da operete ruke našim sapunom bez mirisa.

Pomirišite test uzorke i u odgovarajućoj tabeli ispod označite intenzitet percipiranog mirisa za svaki od uzoraka (za svaki uzorak izaberite jednu mogućnost).

Test uzorak	1 bez mirisa	2 jedva osetan miris	3 blag miris	4 intenzivan miris	5 veoma intenzivan miris
F1					
F2					
F3					
F4					
F5					
F6					

Test uzorak	1 bez mirisa	2 jedva osetan miris	3 blag miris	4 intenzivan miris	5 veoma intenzivan miris
S1					
S2					
S3					
S4					
S5					
S6					

Sada se uzorci vraćaju **F6 i S6** u kutiju za odlaganje uzoraka.

Test uzorak **F1** blago protrljajte prstom 4× (desno - levo - desno - levo), zatim ga pomirišite, a potom u tabeli ispod označite intenzitet percipiranog mirisa. To isto ponovite i za test uzorke **F2, F3, F4, F5, S1, S2, S3, S4** i **S5** (za svaki uzorak izaberite jednu mogućnost). Za svaki uzorak koristite drugi prst za trljanje.

Test uzorak	❶ bez mirisa	❷ jedva osetan miris	❸ blag miris	❹ intenzivan miris	❺ veoma intenzivan miris
F1					
F2					
F3					
F4					
F5					
S1					
S2					
F1					
F2					
F3					

Rangirajte percipirani intenzitet mirisa deset poslednje testiranih uzorka (**F1, F2, F3, F4, F5, S1, S2, S3, S4** i **S5**), ocenama od 1 do 5 (1 - najmanje intenzivan miris, 5 - najintenzivniji miris). Ukoliko kod nekog od ovih osam uzorka niste osetili nikakav miris upišite 0.

	F1	F2	F3	F4	F5
Rang [od 1 do 5]					

	S1	S2	S3	S4	S5
Rang [od 1 do 5]					

6. Šesto testiranje – 01.08.2018.

Kako se osećate danas? (zaokružite)



Upišite eventualne razloge koji bi mogli uticati na današnje ocenjivanje prisustva mirisa u oplemenjenim otiscima mikrokapsulama (npr. prehlada, zapašen nos, i sl.).

Pre testa je potrebno da operete ruke našim sapunom bez mirisa.

Pomirišite test uzorke i u odgovarajućoj tabeli ispod označite intenzitet percipiranog mirisa za svaki od uzoraka (za svaki uzorak izaberite jednu mogućnost).

Test uzorak	1 bez mirisa	2 jedva osetan miris	3 blag miris	4 intenzivan miris	5 veoma intenzivan miris
F1					
F2					
F3					
F4					
F5					
F6					

Test uzorak	1 bez mirisa	2 jedva osetan miris	3 blag miris	4 intenzivan miris	5 veoma intenzivan miris
S1					
S2					
S3					
S4					
S5					
S6					

Test uzorak **F1** blago protrljajte prstom 4× (desno - levo - desno - levo), zatim ga pomirišite, a potom u tabeli ispod označite intenzitet percipiranog mirisa. To isto ponovite i za sve ostale test uzorke (**F2**, **F3**,

F4, F5, F6, S1, S2, S3, S4, S5 i S6 (za svaki uzorak izaberite jednu mogućnost). Za svaki uzorak koristite drugi prst za trljanje.

Test uzorak	❶ bez mirisa	❷ jedva osetan miris	❸ blag miris	❹ intenzivan miris	❺ veoma intenzivan miris
F1					
F2					
F3					
F4					
F5					
S1					
S2					
F1					
F2					
F3					

Rangirajte percipirani intenzitet mirisa svih testiranih uzorka (**F1, F2, F3, F4, F5, F6, S1, S2, S3, S4, S5 i S6**), ocenama od 1 do 6 (1 - najmanje intenzivan miris, 6 - najintenzivniji miris). Ukoliko kod nekog od ovih osam uzorka niste osetili nikakav miris upišite 0.

	F1	F2	F3	F4	F5	F6
Rang [od 1 do 6]						

	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Rang [od 1 do 6]						

12 Biografija sa bibliografijom

Ime i prezime:	Rastko Milošević
Datum i mesto rođenja:	11.05.1986, Novi Sad
Obrazovanje:	
2005. – 2010.	Osnovne akademske – bečelor studije i diplomske akademske – master studije, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za grafičko inženjerstvo i dizajn
2010. – 2019.	Doktorske akademske studije, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za grafičko inženjerstvo i dizajn
Kretanje u poslu:	
2011 – 2013.	Saradnik u nastavi, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za grafičko inženjerstvo i dizajn
2013 –	Asistent – master, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za grafičko inženjerstvo i dizajn
Mesto i trajanje studijskih boravaka u inostranstvu:	
14.07.2008 - 15.08.2008.	Stručna praksa, firma FlintGroup (Štuttgart, Nemačka)
16.07.2009 - 21.08.2009.	Studijski boravak, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University (Hađ Jai, Tajland)
17.03.2015 - 17.06.2015.	CEEPUS CIII-SI-0719-03-1415 - A.L.I.C.E. University of Ljubljana, Faculty of Natural Sciences and Engineering, Department of textiles, Ljubljana, Slovenia
06.06.2016 - 27.06.2016.	CEEPUS CIII-RS-0704-04-1516 - Research and Education in the Field of Graphic Engineering and Design, Warsaw University of Technology, Faculty of Production Engineering, Institute of Mechanics and Printing, Department of Printing Techniques, Warsaw, Poland
16.04.2018 - 16.05.2018.	CIII-RS-0704-06-1718 - Research and Education in the Field of Graphic Engineering and Design, Faculty of Chemical Technology, Department of Graphic Arts and Photophysics, Pardubice, Czech Republic

Spisak rezultata M14 - Monografska studija/poglavlje u knjizi M12 ili rad u tematskom zborniku međunarodnog značaja (1)

1. Kašiković N., Vladić G., **Milošević R.**, Novaković D., Jurič (Rilovski) I.: Handbook of Textile Coloration And Finishing, Houston, Studium Press LLC, U.S.A., 2018, str. 182-213, ISBN 1-62699-106-5

Spisak rezultata M21 - Rad u vrhunskom međunarodnom časopisu (1)

1. Stančić M., Kašiković N., Grujić D., Novaković D., **Milošević R.**, Ružičić B., Geršak J.: Mathematical models for water vapour resistance prediction of printed garments, Coloration Technology, 2017, Vol. 133, pp. 1-7, ISSN 1472-3581, UDK: doi 10.1111/cote.12328

Spisak rezultata M22 - Rad u istaknutom međunarodnom časopisu (1)

1. Urbas R., **Milošević R.**, Kašiković N., Pavlović Ž., Stanković Elesini U.: Microcapsules application in graphic arts industry: a review on the state-of-the-art, Iranian Polymer Journal, 2017, Vol. 26, No 7, pp. 541-561, ISSN 1735-5265, UDK: doi:10.1007/s13726-017-0541-1

Spisak rezultata M23 - Rad u međunarodnom časopisu (5)

1. Prica M., Dalmacija M., Dalmacija B., Pešić V., Krčmar D., Bečelić-Tomin M., **Milošević R.**: Immobilization of cadmium from contaminated sediment using cardboard mill sludge, Archives of Environmental Protection, 2012, Vol. 38, No 4, pp. 109-118, ISSN 0324-8461
2. Stančić M., Ružičić B., Kašiković N., Grujić D., Novaković D., **Milošević R.**: Washing treatment impact on print quality of screen printed knitted fabrics, Revista Materia, 2016, Vol. 21, No 3, pp. 817-826, ISSN 1517-7076
3. Kašiković N., Stančić M., Vladić G., Grujić D., Novaković D., **Milošević R.**, Pinčjer I.: The influence of heat treatment on the quality of screen printed textile substrates, Revista Materia, 2017, Vol. 22, No 1, ISSN 1517-7076, UDK: doi 10.1590/S1517-707620170001.0123
4. Kašiković N., Stančić M., Spiridonov I., Novaković D., **Milošević R.**, Grujić D., Ružičić B.: The effect of washing temperature and number of washing cycles on the quality of screen printed textiles materials, Bulgarian Chemical Communications, 2017, Vol. 49, No L, pp. 130-139, ISSN 0324-1130
5. Kašiković N., Vladić G., Milić N., Novaković D., **Milošević R.**, Dedijer S.: Colour fastness to washing of multilayered digital prints on textile materials, Journal of the National Science Foundation of Sri Lanka, 2018, Vol. 46, No 3, pp. 381-391, ISSN 1391-4588

Spisak rezultata M33 - Saopštenje sa međunarodnog skupa štampano u celini (17)

1. Adamović (Majkić) S., Rajić Lj., Prica M., **Milošević R.**, Puškarević I., Zorić V.: Electrocoagulation/Electroflotation Treatment of Offset Printing Developers, 6. International Symposium on Graphic Engineering and Design, GRID, Novi Sad: Faculty of Technical Sciences, Department of Graphic Engineering and Desing, Novi Sad, 15-16 Novembar, 2012, pp. 293-297, ISBN 978-86-7892-457-6

2. Prica M., Dalmacija B., Pešić V., **Milošević R.**, Banjanin B., Zorić V., Adamović (Majkić) S.: Possibility of using cardboard mill sludge in immobilization of copper from contaminated sediment, 6. International Symposium on Graphic Engineering and Design, GRID, Novi Sad: Faculty of Technical Sciences, Department of Graphic Engineering and Design, Novi Sad, 15-16 Novembar, 2012, pp. 317-320, ISBN 978- 86-7892-457-6
3. **Milošević R.**: Mechanical models for creasing and folding behaviour of paperboard and cardboard: state-of-the-art, 6. International Symposium on Graphic Engineering and Design, GRID, Novi Sad: Faculty of Technical Sciences, Department of Graphic Engineering and Design, Novi Sad, 15-16 Novembar, 2012, pp. 303-310, ISBN 978-86-7892-457-6
4. Kašiković N., Vladić G., **Milošević R.**, Novaković D., Stančić M.: Analysis of change in surface roughness of samples printed using screen printing with variable mesh type, 11. Seminar in Graphic Arts, Pardubice: University of Pardubice, Department of Graphic Arts and Photophysics, 17-18 Jun, 2013, pp. 127-132, ISBN 978-80-7395-660-8
5. Kašiković N., Vladić G., Novaković D., Stančić M., Novaković D., Stančić M., **Milošević R.**: Influence of substrates on colour reproduction in billboard printing, 4. International Joint Conference on Environmental and Light Industry Technologies, Budimpešta: SANDOR REJTO FACULTY OF LIGHT INDUSTRY AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING, 20-22 Novembar, 2013, pp. 392-397
6. **Milošević R.**, Kašiković N., Novaković D., Jurič (Rilovski) I., Stančić M.: Print mottle assessment of screen printed textile material, 8. Sigt - 7th Symposium of Information and Graphic Arts Technology, Ljubljana: Faculty of Natural Sciences and Engineering, Department of Textiles, Chair of Information and Graphic Art Technology, 5-6 Jun, 2014, pp. 154-159, ISBN 978-961-6900-09-6
7. Kašiković N., Novaković D., Sadžakov M., Vladić G., **Milošević R.**: Printing circuit boards using ink jet printing technique, 8. International Symposium - KOD - Machine and Industrial Design in Mechanical Engineering, Balatonfüred: Faculty of Technical Sciences — Novi Sad, Serbia, 12-15 Jun, 2014, pp. 261-266, ISBN 978-86-7892-615-0
8. **Milošević R.**, Kašiković N., Stančić M., Ružičić B.: UV light exposure effects on print mottle of ink-jet printed textile material, 7. International Symposium on Graphic Engineering and Design GRID, Novi Sad: University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Department of Graphic Engineering and Design, 13-14 Novembar, 2014, pp. 253-260, ISBN 978-86-7892-645-7
9. Ružičić B., Stančić M., **Milošević R.**, Sadžakov M.: Influence of substrate thickness on the reproduction quality of screen printed polymer materials, 7. International Symposium on Graphic Engineering and Design GRID, Novi Sad: University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Department of Graphic Engineering and Design, 13-14 Novembar, 2014, pp. 239-245, ISBN 978-86-7892-645-7
10. Kašiković N., Pál (Apró) M., **Milošević R.**, Milić N., Jurišić B.: Influence of textile washing treatment on readability of qr codes, 7. International Symposium on Graphic Engineering and Design GRID, Novi Sad: University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Department of Graphic Engineering and Design, 13-14 Novembar, 2014, pp. 119-125, ISBN 978-86-7892-645-7
11. **Milošević R.**, Kašiković N., Pavlović Ž., Stanković Elesini U., Urbas R.: The Possibility of Microcapsules Application Using Pad Printing Technology, 8. International Symposium on Graphic Engineering and Design, GRID, Novi Sad: Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, 3-4 Novembar, 2016, pp. 47-55, ISBN 978-86-78928-67-3

12. Vladić G., Milić N., Đurđević S., **Milošević R.**, Stančić M.: Integration of augmented reality into the cad modeling and engineering drawing training of designers, 8. International Symposium on Graphic Engineering and Design, GRID, Novi Sad: University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Department of Graphic Engineering and Design, 3-4 Novembar, 2016, pp. 419-425, ISBN 978-86-78928-67-3
13. **Milošević R.**, Kašiković N., Pavlović Ž., Stanković Elesini U., Kukuruzović D., Urbas R.: Influence of microcapsules' concentration on the physical and surface characteristics of the prints, 2. 2nd International Printing Technologies Symposium – PrintIstanbul 2017, Istanbul: Marmara Üniversitesi, 11-12 Oktobar, 2017, pp. 133-142, ISBN 978-9944-0636-7-8
14. Kašiković N., Vladić G., **Milošević R.**, Đurđević S., Jurić (Rilovski) I., Novaković D., Pavlović Ž.: Rubbing fastness properties of digital printed samples, 2. 2nd International Printing Technologies Symposium – PrintIstanbul 2017, Istanbul: Marmara Üniversitesi, 11-12 Oktobar, 2017, pp. 295-393, ISBN 978-9944-0636-7-8
15. Kašiković N., Vladić G., Pál (Apro) M., Jurić (Rilovski) I., Milić N., **Milošević R.**, Petrović S.: Rubbing fastness of textile printed with screen printing transfer technique, 11. Innovations in Publishing, Printing and Multimedia Technologies, Kaunas: Kaunas university of applied sciences, 19-20 April, 2018, pp. 67-73
16. **Milošević R.**, Kašiković N., Pavlović Ž., Stančić M., Urbas R.: Characterization of Coated Prints With Fragranced Microcapsules, 9. INTERNATIONAL Symposium on Graphic Engineering and Design GRID, Novi Sad: Fakultet tehničkih nauka, 8-10 Novembar, 2018, pp. 181-188, ISBN 978-86-6022-115-7
17. Vladić G., Novaković D., Delić G., **Milošević R.**, Đurđević S.: Using modern information technology to enrich the presentation of results in scientific publications, 9. INTERNATIONAL Symposium on Graphic Engineering and Design GRID, Novi Sad: Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Grafičko inženjerstvo i dizajn, 8-10 Novembar, 2018, pp. 421-426, ISBN 978-86-6022-115-7

Spisak rezultata M34 - Saopštenje sa međunarodnog skupa štampano u izvodu (2)

1. Urbas R., **Milošević R.**, Pavlović Ž., Kašiković N., Stanković Elesini U.: Microcapsule structure and its application in the printing industry, 9. International Engineering Symposium at Banki Budapest, Budimpešta: Óbuda University Donát Bánki Faculty of Mechanical and Safety Engineering, 27 Novembar, 2017, pp. 83-83
2. **Milošević R.**, Kašiković N., Pavlović Ž., Stanković Elesini U., Cigula T., Urbas R.: Analysis of Coatings With Scented Microcapsules, 1. International Conference on Electron Microscopy of Nanostructures (ELMINA), Beograd: Serbian Academy of Sciences and Arts, 27-29 Avgust, 2018, pp. 131-133, ISBN 978-86-7025-785-6

Spisak rezultata M52 - Rad u časopisu nacionalnog značaja (7)

1. **Milošević R.**, Kašiković N., Novaković D.: Uticaj gustine tkanja sita na spektralne karakteristike otisaka štampanih tehnikom sito tampe na tekstilu, Advanced Technologies, 2013, Vol. 2, No 1, pp. 33-40, ISSN 2406-2979, UDK: 677.027.561.1:677.01
2. **Milošević R.**, Kašiković N., Novaković D., Stančić M., Adamović (Majkić) S.: Investigation of the Printing Pressure Level Application Influence on Sheet-Fed Offset Print Quality, Machine Design, 2013, Vol. 5, No 4, pp. 171-176, ISSN 1821-1259

3. Kašiković N., Vladić G., Novaković D., Stančić M., **Milošević R.**: Spektrofotometrijska analiza uticaja toplotnih dejstava na kvalitet otisaka, *Advanced Technologies*, 2014, Vol. 3, No 1, pp. 66-71, ISSN 2406-2979, UDK: 677.561.1:543.48
4. Ružičić B., Stančić M., Kašiković N., Majnarić I., Novaković D., **Milošević R.**: The Influence of Thermal Load on the Print Quality of Screen Printed Knitted Fabrics, *Advanced Technologies*, 2015, Vol. 4, No 1, pp. 78- 83, ISSN 2406-2979, UDK: 677.027.423.5
5. Kašiković N., Stančić M., Vladić G., **Milošević R.**, Novaković D., Grujić D.: Spektrofotometrijska analiza uticaja procesa pranja na kvalitet otiska odštampanih žutom bojom tehnikom sito štampe na tekstil, *Tekstilna industrija*, 2015, Vol. 62, No 1, pp. 34-40, ISSN 0040-2389, UDK: 677.027.561:620,186
6. Zorić V., Novaković D., Kašiković N., **Milošević R.**, Tomić I.: Spektrofotometrijska analiza otisaka dobijenih ink-džet štampom na poliestarskim materijalima, *Tekstilna industrija*, 2015, No 4, pp. 20-26, ISSN 0040 - 2389, UDK: 667+687
7. Kašiković N., Vladić G., Stančić M., Dedijer S., Novaković D., **Milošević R.**, Jurič (Rilovski) I.: Rubbing Fastness Properties of Ink Jet Prints on Plastic Materials, *Machine Design*, 2018, Vol. 10, No 2, pp. 73-76, ISSN 1821-1259

Spisak rezultata M53 - Rad u naučnom časopisu (49)

1. **Milošević R.**, Novaković D., Dedijer S.: Ispitivanje amplitudnih parametara površinske hrapavosti fleksografskih štamparskih formi, *Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka*, 2010, Vol. 25, No 15, pp. 3364-3367, ISSN 0350-428X, UDK: 655
2. Prica M., Dalmacija M., Dalmacija B., Tričković J., **Milošević R.**: Possibility of using cardboard mill sludge in remediation of contaminated sediment, *Journal of Graphic Engineering and Design*, 2011, Vol. 2, No 2, pp. 25-32, ISSN 2217-379X
3. Gojković J., Kašiković N., **Milošević R.**: Uticaj procesa pranja na kvalitet otisaka na tekstilnim materijalima štampanim ink jet tehnikom štampe, *Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka*, 2013, Vol. 28, No 6, pp. 925-928, ISSN 0350-428X, UDK: 655.36
4. Korać J., Kašiković N., **Milošević R.**: Uticaj gustine tkanja sita na kvalitet otiska dobijenog tehnikom sito štampe na tekstilu, *Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka*, 2013, Vol. 28, No 10, pp. 1757-1760, ISSN 0350-428X, UDK: 655.3
5. Novaković D., Stančić M., Karlović I., Kašiković N., Vukmirović V., **Milošević R.**: Influence of surface roughness on print quality on digitally printed self adhesive foils, *Journal of Print and Media Technology Research*, 2013, Vol. 2, No 2, pp. 67-76, ISSN 2223-8905, UDK: 655:676.2653.4
6. Stančić M., Kašiković N., Novaković D., **Milošević R.**, Grujić D.: Thermal Load Effect on Print Quality of Ink Jet Printed Textile Materials, *Journal of Graphic Engineering and Design*, 2013, Vol. 4, No 2, pp. 27-33, ISSN 2217-379X, UDK: 655.3.062 677.017
7. **Milošević R.**, Kašiković N., Novaković D., Stančić M.: Influence of different printing pressure levels on sheet- fed offset print quality, *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, 2014, Vol. 49, No 4, pp. 375-382, ISSN 1311-7629

8. Malivuk A., Kašiković N., **Milošević R.**: Postojanost otisaka na polimernim materijalima izloženih veštačkoj svetlosti, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, 2014, Vol. 29, No 3, pp. 578-581, ISSN 0350-428X, UDK: 655.3
9. Milović R., Kašiković N., **Milošević R.**: Uticaj gustine tkanja sita u propusnoj štampi na kvalitet otiska na plastičnim materijalima, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, 2014, Vol. 29, No 3, pp. 582-585, ISSN 0350-428X, UDK: 655
10. Obradović D., Kašiković N., **Milošević R.**: Uticaj procesa pranja na kvalitet otisaka na tekstilnim materijalima štampanim tehnikom sito štampe, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, 2014, Vol. 29, No 8, pp. 1741-1744, ISSN 0350-428X
11. **Milošević R.**, Kašiković N., Novaković D., Jurič (Rilovski) I., Stančić M.: Print Mottle Assessment of Ink Jet Printed Billboard Materials, Journal of Printing Science and Technology, 2014, Vol. 51, No 5, pp. 339-346, ISSN 1882-4935
12. Demendi Talo E., Kašiković N., **Milošević R.**: Uticaj izlazne rezolucije i vrste podloge na porast tonskih vrednosti u elektrofotografiji, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, 2014, Vol. 29, No 10, pp. 2206-2209, ISSN 0350-428X, UDK: 655.36
13. **Milošević R.**, Kašiković N., Novaković D., Prica M., Draganov S.: The Effects of Different Printing Preassure Level Application on Sheet-fed Offset Print Quality, International Circular of Graphic Education and Research, 2014, Vol. 7, No 1, pp. 54-65, ISSN 2166-465X
14. Stančić M., Ružičić B., Kašiković N., Novaković D., **Milošević R.**: Influence of Substrate Thickness on the Quality Attributes of Polymer Materials Reverse Printed By Screen Printing Technique, Journal of Chemical Technology and Metallurgy, 2015, Vol. 50, No 2, pp. 141-148, ISSN 1311-7629
15. Kabanica B., Kašiković N., **Milošević R.**: Postojanost otisaka tehnike sito štampe na tektilu pri izlaganju veštačkoj svetlosti, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, 2015, Vol. 30, No 2, pp. 234-237, ISSN 0350-428X, UDK: 655.3
16. Stančić M., Grujić D., Kašiković N., Novaković D., Ružičić B., **Milošević R.**: Influence of the Washing Process and the Perspiration Effects on the Qualities of Printed Textile Substrates, Tekstilec, 2015, Vol. 58, No 2, pp. 135-142, ISSN 2350-3696, UDK: 677 +687 (05)
17. Stojaković S., Kašiković N., **Milošević R.**: Uticaj izlazne rezolucije na kvalitet otiska dobijenog elektrofotografijom na bezdrvene papirne podloge, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, 2015, Vol. 30, No 8, pp. 1379-1382, ISSN 0350-428X, UDK: 655.3
18. Kašiković N., **Milošević R.**, Novaković D., Stančić M., Đurđević S.: Print Quality of Ink Jet Printed PVC Foils, Acta Graphica, 2015, Vol. 26, No 3, pp. 51-56, ISSN 0353-4707
19. Kašiković N., **Milošević R.**, Vladić G., Pál (Apro) M., Novaković D.: The Analysis of Parameters That Affect Print Quality of Screen Printed PVC Foils, Polytechnic and Design, 2015, Vol. 3, No 3, pp. 258-263, ISSN 1849-1995
20. Stančić M., Kašiković N., Ružičić B., Novaković D., Grujić D., **Milošević R.**: Uticaj toplotnog dejstva i karakteristika sita na kvalitet otisaka dobijenih crnom bojom na tekstilnim materijalima, Glasnik hemičara, tehnologa i ekologa Republike Srpske, 2015, Vol. 11, pp. 49-56, ISSN 1840-054X, UDK: 677.1/.5:667.2 DOI:10.7251/GHTE1511049S

21. Radović M., Kašiković N., **Milošević R.**: Spektrofotometrijska analiza kvaliteta otiska ofset štampe na premaznim papirima, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, 2015, Vol. 30, No 15, pp. 2863-2866, ISSN 0350-428X, UDK: 655.3
22. Milovanović D., Kašiković N., **Milošević R.**: Spektrofotometrijska analiza kvaliteta otiska tabačne ofset štampe na papirnim podlogama, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, 2016, Vol. 31, No 1, pp. 191-194, ISSN 0350-428X, UDK: 655.3
23. Nikolić B., Kašiković N., **Milošević R.**: Uticaj tekstilnih materijala na kvalitet otisaka u digitalnoj štampi, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, 2016, Vol. 31, No 5, pp. 1006-1009, ISSN 0350-428X, UDK: 655.3.022:004.9
24. Šlemender I., Kašiković N., **Milošević R.**: Uticaj trljanja na kvalitet otisaka odštampanih sito tehnikom na tekstilne podloge, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, 2016, Vol. 31, No 5, pp. 1010-1013, ISSN 0350-428X, UDK: 655.3
25. Mračina S., Kašiković N., **Milošević R.**: Automatizacija procesa izrade romana u Adobe Indizajnu, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, 2016, Vol. 31, No 8, pp. 1389-1392, ISSN 0350-428X, UDK: 655.3
26. Dubaić M., Kašiković N., **Milošević R.**: Uticaj transparentnog ea tonera i izlazne rezolucije na kvalitet otiska u elektrofotografiji, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, 2016, Vol. 31, No 8, pp. 1401-1404, ISSN 0350-428X, UDK: 655.3.022:004.9
27. Kovačević S., Kašiković N., **Milošević R.**: Uticaj grafičkih sistema i podloga za štampu na otisak u elektrofotografiji, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, 2016, Vol. 31, No 8, pp. 1409-1412, ISSN 0350-428X, UDK: 655.3.022:004.9
28. Beretka I., Kašiković N., **Milošević R.**: Postojanost ink jet otiska na uticaj svetlosti pri štampi autografike, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, 2016, Vol. 31, No 8, pp. 1417-1420, ISSN 0350-428X, UDK: 655.3
29. Bošković M., Kašiković N., **Milošević R.**: Uticaj elektrofotografskih sistema na kvalitet otiska pri štampi mat premaznih papira, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, 2016, Vol. 31, No 8, pp. 1421-1424, ISSN 0350-428X, UDK: 655.3
30. Mitrović A., Kašiković N., **Milošević R.**: Postojanost tekstilnih otisaka odštampanih ink jet štampom na svetlost, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, 2016, Vol. 31, No 8, pp. 1429-1432, ISSN 0350-428X, UDK: 655.3.022:004.9
31. Francuski S., Kašiković N., **Milošević R.**: Analiza kvaliteta otiska sito štampe na tekstilnim materijalima, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, 2016, Vol. 31, No 10, pp. 1793-1796, ISSN 0350-428X
32. **Milošević R.**, Nedeljković U., Banjanin B., Novaković D., Kašiković N.: The analysis of ink jet printed ecofont efficiency, Journal of Graphic Engineering and Design, 2016, Vol. 7, No 1, pp. 13-18, ISSN 2217-379X
33. Davidović J., Kašiković N., **Milošević R.**: Uticaj elektrofotografskih sistema i podloga za štampu na kvalitet otiska, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, 2016, Vol. 31, No 14, pp. 2677-2680, ISSN 0350-428X, UDK: 655.3.022:004.9
34. Bajić M., Kašiković N., **Milošević R.**: Kontrola digitalne ink jet štampe na tekstilu, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, 2016, Vol. 31, No 14, pp. 2685-2688, ISSN 0350-428X, UDK: 655.3.022:004.9

35. Bulajić B., Kašiković N., **Milošević R.**: Ispitivanje kvaliteta otisaka dobijenih ink džet štampom na pvc podlogama, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, 2016, Vol. 31, No 17, pp. 3262-3265, ISSN 0350-428X, UDK: 655.3.022:004.9
36. Gvozdrenović A., Kašiković N., **Milošević R.**: Spektrofotometrijska analiza kvaliteta otiska rotacione ofset štampe na novinskim papirima, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, 2016, Vol. 31, No 17, pp. 3294-3297, ISSN 0350-428X, UDK: 655.3
37. **Milošević R.**, Kašiković N., Cigula T., Stanković Elesini U., Urbas R.: The characterization of microcapsules printed by screen printing and coating technology, Journal of Graphic Engineering and Design, 2017, Vol. 8, No 1, pp. 45-56, ISSN 2217-379X
38. Đurica S., Kašiković N., **Milošević R.**: Analiza postojanosti na trljanje otisaka dobijenih elektrografijom na premaznim papirima, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, 2017, Vol. 32, No 2, pp. 308-311, ISSN 0350-428X, UDK: 655.3
39. Maletin J., Kašiković N., **Milošević R.**: Analiza kvaliteta otiska elektrografskog postupka štampe na papirnim podlogama, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, 2017, Vol. 32, No 5, pp. 791-794, ISSN 0350-428X, UDK: 655.3
40. Dragić J., Kašiković N., **Milošević R.**: Spektrofotometrijska analiza kvaliteta otiska tabačne ofset štampe na premaznim papirima, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, 2017, Vol. 32, No 5, pp. 803-806, ISSN 0350-428X, UDK: 655.3
41. Otašević M., Kašiković N., **Milošević R.**: Analiza kvaliteta otiska ink jet štampe na tekstilnim materijalima, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, 2017, Vol. 32, No 6, pp. 1160-1163, ISSN 0350-428X, UDK: 655.3.022:004.9
42. Vukosavljev D., Kašiković N., **Milošević R.**: Uticaj procesa trljanja na dugotrajnost otiska na tkanini, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, 2017, Vol. 32, No 6, pp. 1172-1175, ISSN 0350-428X, UDK: 655.3
43. Kašiković N., Vladić G., **Milošević R.**, Novaković D., Jurič (Rilovski) I.: Rubbing fastness properties of electrophotography prints on coated papers, Celuloza si Hartie, 2017, Vol. 66, No 4, pp. 30-37, ISSN 1220-9848
44. Tatović I., Kašiković N., **Milošević R.**: Otpornost pvc folija štampanih tehnikom sito štampe na spoljašnje uticaje, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, 2018, Vol. 33, No 10, pp. 1784-1787, ISSN 0350-428X, UDK: 655.3
45. Tomić M., Kašiković N., **Milošević R.**: Ispitivanje kvaliteta otisaka dobijenih ink jet štampom pomoću epon grafičkih sistema, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, 2018, Vol. 33, No 10, pp. 1792-1795, ISSN 0350-428X, UDK: 655
46. Počuč N., Kašiković N., **Milošević R.**: Kontrola kvaliteta otiska digitalne štampe u štampariji Unagraf d.o.o., Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, 2018, Vol. 33, No 10, pp. 1796-1799, ISSN 0350-428X, UDK: 655
47. Vukojević J., Kašiković N., **Milošević R.**: Uticaj rezolucije na kvalitet otisaka dobijenih grafičkim sistemom Epson Styluspro 7890, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, 2018, Vol. 33, No 12, pp. 2121-2124, ISSN 0350-428X, UDK: 655.3.022:004.9

48. Vukašinović J., Kašiković N., **Milošević R.**: Ispitivanje ponovljivosti štampe u elektrofotografiji i ink džetu, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, 2018, Vol. 33, No 12, pp. 2125-2128, ISSN 0350-428X, UDK: 655.3.022:004.9
49. Poljak Ž., Kašiković N., **Milošević R.**: KONTROLA KVALITETA ŠTAMPE MAGAZINA „HELLO“, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, 2018, Vol. 33, No 5, pp. 789-792, ISSN 0350-428X, UDK: 655.3

Spisak rezultata M63 - Saopštenje sa skupa nacionalnog značaja štampano u celini (15)

1. Stančić M., Kašiković N., Grujić D., Novaković D., Ružičić B., **Milošević R.**: Uticaj toplotnog dejstva na parametre površinske hrapavosti tekstilnih materijala odštampanih tehnikom digitalne štampe, 6. International Scientific Conference "Contemporary Materials", Banja Luka, 4-6 Jun, 2013, pp. 407-417, ISBN 978-99938-21-57-1
2. **Milošević R.**, Stančić M., Banjanin B.: Analiza svojstava sita kao najuticajnijeg elementa u tehnici sito štampe, 10. Conference of Chemists, Technologists and Environmentalists of Republic of Srpska, Banja Luka: Univerzitet u Banjoj Luci, Tehnološki fakultet, 15-16 Novembar, 2013, pp. 491-500, ISBN 978-99938-54-50-0
3. Puškarević I., Banjanin B., **Milošević R.**: Principi održivog razvoja u primeni grafičkog oblikovanja, 10. Conference of Chemists, Technologists and Environmentalists of Republic of Srpska, Banja Luka: Univerzitet u Banjoj Luci, Tehnološki fakultet, 15-16 Novembar, 2013, pp. 513-522, ISBN 978-99938-54-50-0
4. Kašiković N., Stančić M., Novaković D., **Milošević R.**, Vladić G.: Spektrofotometrijska analiza uticaja toplotnog dejstva na kvalitet otisaka dobijenih tehnikom sito štampe na tekstu, 10. Conference of Chemists, Technologists and Environmentalists of Republic of Srpska, Banja Luka: Univerzitet u Banjoj Luci, Tehnološki fakultet, 15-16 Novembar, 2013, pp. 550-559, ISBN 978-99938-54-50-0
5. Kašiković N., Pál (Apro) M., Vladić G., Novaković D., **Milošević R.**: Ispitivanje čitljivosti qr kodova na pamučnim materijalima štampanih termo transfer tehnikom, 4. Tendencije razvoja i inovativni pristup u tekstilnoj industriji Dizajn, Tehnologija, Menadžment, Beograd: Visoka tekstilna strukovna škola za dizajn, tehnologiju i menadžment, 6-7 Jun, 2014, pp. 131-136, ISBN 978-86-87017-30-6
6. Sadžakov M., Kašiković N., Novaković D., **Milošević R.**: Utvrđivanje pogodnih rastvarača za test hemijske otpornosti UV inkjet otisaka, 4. Naučno-stručni skup "Preduzetništvo, inženjerstvo i menadžment", Zrenjanin: Visoka tehnička škola strukovnih studija u Zrenjaninu, 26 April, 2014, pp. 193-197, ISBN 978-86-84289-65-2
7. **Milošević R.**, Kašiković N., Novaković D., Stančić M., Sadžakov M.: Uticaj gustine tkanja sita na površinsku uniformnost boje punog tona otisaka tehnike sito štampe na tekstu, 4. Naučno-stručni skup "Preduzetništvo, inženjerstvo i menadžment", Zrenjanin: Visoka tehnička škola strukovnih studija u Zrenjaninu, 26 April, 2014, pp. 176-183, ISBN 978-86-84289-65-2
8. Đurđević S., Novaković D., Avramović D., **Milošević R.**, Zeljković Ž.: Multimedijalna prezentacija aktivnog ambalažnog sistema integrisanog u platformu za e-obrazovanje, 14. Tiskarstvo i Diyajn 2015, Zagreb: FS Fotosoft, 27-28 Mart, 2015, pp. 419-428, ISBN 978-953-7064-32-7

9. Stančić M., Kašiković N., Grujić D., Novaković D., Ružičić B., **Milošević R.**: Uticaj štamparske podloge, sita i toplotnog dejstva na reprodukciju magenta boje na tekstilnim materijalima, 11. Novel Technologies and Economic Development, Leskovac: Tehnološki fakultet, 23-24 Oktobar, 2015, pp. 318-326, ISBN 978-86-89429-13-8
10. Ružičić B., Stančić M., Kašiković N., Novaković D., Grujić D., **Milošević R.**: Uticaj serija pranja na oštrinu štampe sito štampanih tekstilnih materijala, 8. Međunarodni naučni skup Savremeni materijali, Banja Luka: Akademija nauka i umjetnosti Republike Srpske, 6-7 Septembar, 2015, pp. 419-428, ISBN 978-99938-21-80-9
11. Kašiković N., Vladić G., **Milošević R.**, Stančić M., Novaković D.: Analiza postojanosti otisaka na trljanje u zavisnosti od sastava korišćene boje u sito štampi, 5. DTM 2016, Beograd: Visoka tekstilna strukovna škola za dizajn, tehnologiju i menadžment, Starine Novaka 24. Beograd, 10 Jun, 2016, pp. 79-83, ISBN 978-86-87017-39-9
12. **Milošević R.**, Kašiković N., Pavlović Ž., Stanković Elesini U., Urbas R.: Microcapsules properties and their application using different printing techniques, 11. Savjetovanje hemičara i tehnologija Republike Srpske, Teslić: University of Banjaluka, Faculty of Technology, 18-19 Novembar, 2016, pp. 547-554
13. Vasić J., Petrović S., Kašiković N., **Milošević R.**, Szilágyi A.: Uticaj gramature papira na kvalitet digitalne štampe, 11. ETIKUM, Novi Sad, 6-8 Decembar, 2017, pp. 65-68, ISBN 978-86-6022-00-68
14. Adamović (Majkić) S., Prica M., Szilágyi A., Kašiković N., **Milošević R.**, Banjanin B.: Fizičko-mehanička i optička karakterizacija tetra pak ambalaže, 11. ETIKUM, Novi Sad, 6-8 Decembar, 2017, pp. 189-192, ISBN 978-86-6022-00-68
15. Kašiković N., Vladić G., Stančić M., **Milošević R.**, Jurić (Rilovski) I., Petrović S., Novaković D.: Digitalna štampa na tektilu - prošlost, sadašnjost, budućnost, 1. Naučna konferencija sa međunarodnim učešćem: Savremeni trendovi I inovacije u tekstilnoj industriji, Beograd: Union of engineers and technicians of Serbia, 18 Maj, 2018, pp. 154-160

Spisak rezultata M64 - Saopštenje sa skupa nacionalnog značaja štampano u izvodu (1)

1. Jurić (Rilovski) I., Novaković D., Karlović I., Kašiković N., **Milošević R.**: Disadvantage of ISO Graininess Metric, 15. International Conference on Printing, Design and Graphic Communications - Blaž Baromić, Senj: Hrvatsko društvo grafičara, Hrvatska, 16-19 Septembar, 2015, pp. 21-21, ISBN 1848-6142