



UNIVERZITET U NOVOM SADU
FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA
GRAFIČKO INŽENJERSTVO I DIZAJN



**RAZVOJ MODELA OBJEKTIVNE KONTROLE
POVRŠINSKIH OŠTEĆENJA PREMAZNIH PAPIRA
U PROCESU SAVIJANJA**

- doktorska disertacija -

Kandidat:

MSc Magdolna Pál

Mentor:

Prof. dr Dragoljub Novaković

Novi Sad, 2014.

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

Zahvalnost želim da izrazim mentoru, profesoru dr Dragoljubu Novakoviću na korisnim sugestijama i ukazanoj nesebičnoj pomoći pri izradi ove disertacije.

Zahvaljujem se i kolegama, u zemlji i u inostranstvu, porodici i prijateljima na bezrezervnoj podršci, savetima i velikom razumevanju.

Posebnu zahvalnost dugujem suprugu na poverenju, strpljenju i ljubavi.



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ ● ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА
21000 НОВИ САД, Трг Доситеја Обрадовића 6

КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА

Редни број, РБР:			
Идентификациони број, ИБР:			
Тип документације, ТД:	Монографска публикација		
Тип записа, ТЗ:	Текстуални штампани материјал		
Врста рада, ВР:	Докторска дисертација		
Аутор, АУ:	МСц Магдолна Пал		
Ментор, МН:	Проф. др Драгољуб Новаковић		
Наслов рада, НР:	Развој модела објективне контроле површинских оштећења премазних папира у процесу савијања		
Језик публикације, ЈП:	Српски		
Језик извода, ЈИ:	Српски		
Земља публикавања, ЗП:	Република Србија		
Уже географско подручје, УГП:	А.П. Војводина		
Година, ГО:	2014		
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)	11/281/143/110/96/4		
Научна област, НО:	Графичко инжењерство и дизајн		
Научна дисциплина, НД:	Графичко инжењерство и дизајн		
Предметна одредница/Кључне речи, ПО:	Премазни папири, савијање, површинска оштећења, визуелна контрола, дигитална обрада слике		
УДК			
Чува се, ЧУ:	У библиотеци ФТН у Новом Саду		
Важна напомена, ВН:			
Извод, ИЗ:	У дисертацији се представљају истраживања која су резултирала развојем модела објективне контроле отпорности премазних папира према површинском оштећењу у процесима савијања. На бази анализе низа изабраних параметара процеса контроле, предложена су три обележја дигиталних узорака премазних папира за опис и оцену површинског оштећења. Резултати предложених обележја, као и корелационе анализе омогућују примену тих обележја у функцији контроле квалитета као основе развоја објективне процесне контроле премазних папира у процесу савијања.		
Датум прихватања теме, ДП:			
Датум одбране, ДО:			
Чланови комисије, КО:	Председник:	Др Драгиша Вилотић, редовни професор	
	Члан:	Др Мирослав Гојо, редовни професор	Потпис ментора
	Члан:	Др Бранко Милосављевић, редовни професор	
	Члан:	Др Игор Карловић, доцент	
	Члан, ментор:	Др Драгољуб Новаковић, редовни професор	



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ ● ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА
21000 НОВИ САД, Трг Доситеја Обрадовића 6

КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА

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 :	MSc Magdolna Pál
Mentor, MN :	Prof. PhD Dragoljub Novaković
Title, TI :	Development of a model for objective control of surface damages on coated papers in the folding process
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 :	2014.
Publisher, PB :	Author's reprint
Publication place, PP :	Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6
Physical description, PD : <small>(chapters/pages/ref./tables/pictures/graphs/appendixes)</small>	11/281/143/110/96/4
Scientific field, SF :	Graphic engineering and design
Scientific discipline, SD :	Graphic engineering and design
Subject/Key words, S/KW :	Coated papers, folding, surface cracking and damage, visual control, digital image processing
UC	
Holding data, HD :	The library of FTS, Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6
Note, N :	
Abstract, AB :	The research presented in this dissertation resulted in development of the objective quality control model for fold cracking resistance of coated papers. Based on the analysis of chosen control process parameters, three different features of the digitalised coated paper samples were proposed for describing and classifying surface damages. The results of the proposed features along with their correlation analysis contribute to their usage in objective process quality control of coated papers in the folding process.
Accepted by the Scientific Board on, ASB :	
Defended on, DE :	
Defended Board, DB :	President: Dragiša Vilotić, Ph. D., full professor
	Member: Miroslav Gojo, Ph. D., full professor
	Member: Branko Milosavljević, Ph. D., full professor
	Member: Igor Karlović, Ph. D., assistant professor
	Member, Mentor: Dragoljub Novaković, Ph. D., full professor
	Mentor's sign

IZJAVA

Ja, Magdolna Pál (broj indeksa 54) izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da ova doktorska disertacija predstavlja isključivo rezultate mog rada u saradnji sa mentorom, da se temelji na mojim naučno-stručnim saznanjima i istraživanjima i da se oslanja na popisanu i navedenu literaturu.

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

Autorska prava svih rezultata i elemenata koji su dobijeni u doktorskoj disertaciji pripadaju Departmanu za grafičko inženjerstvo i dizajn odnosno Fakultetu tehničkih nauka kao pravnog lica.

Potpis kandidata

Spisak slika

Slika 1.1 – Tipični primeri premaznog papira veće gramature sa površinskim oštećenjima premaza (a), odnosno oštećenja i premaza i baznog papira (b) prilikom savijanja (Fogra, 2014)	16
Slika 2.1 – Poprečni preseki jednostrukog, dvostrukog i trostrukog premaznog papira	21
Slika 2.2 – Uticaj količine punila na osobine papira (Holik, 2013).....	22
Slika 2.3 – Procentualni udeo korišćenih pigmenata u proizvodnji premaznih papira (Holik, 2013).....	23
Slika 2.4 – Poprečni presek premaznog papira dobijenog pomoću rakel noža (a) i vazdušne četke (b).....	25
Slika 2.5 – Principi savijanja materijala levkom (a), klapnama (b), džepom (c) i nožem (d).....	27
Slika 2.6 – Osnovna geometrija određivanja deformacija pri savijanju	27
Slika 2.7 – Osnovna geometrija savijanja papira.....	28
Slika 2.8 – Kompozitna struktura premaznog papira za modeliranje ponašanja pri savijanju (Barbier, 2005).....	29
Slika 2.9 – Primer modela savijenog premaznog papira sa obeleženim veličinama deformacija (a) i realnog uzorka sa vidljivim oštećenjima u premaznom sloju (b) (Barbier i drugi, 2005a-b)	30
Slika 2.10 – Poprečni presek premaznog papira sa raslojenim baznim papirom (a) odnosno nepremaznog papira sa više, izvijenim slojevima papira (b) (Barbier i drugi, 2012)	31
Slika 2.11 – Proces formiranja žljeba (a) sa inicijalnom delaminacijom (b) i konačnom delaminacijom kartona u predelu prevoja (c) (Kirwan, 2013).....	31
Slika 2.12 – Simetričan položaj neutralne površine pri savijanju (a), odnosno pomerena površina ka spoljašnjim (b) i ka unutrašnjim (c) slojevima materijala - papira (Metz, 2010).....	32
Slika 2.13 – Formirane linije prekida materijala usled savijanja premaznog papira sa premazom od 100% prirodnom kalcijum karbonatom (a) i kaolinom (b) (Rättö i Hornatowska, 2010)	33
Slika 2.14 – Šematski prikaz toka određivanja količine oštećenja površine premaza papira	42
Slika 2.15 – Primeri različitih epruveta za vizuelnu analizu u laboratoriji UPM (a) i Sappi (b).....	42
Slika 5.1 – Šematski prikaz primene računarskih i programskih resursa u in-line sistemu procesne kontrolne	55
Slika 5.2 – Šematski prikaz odvijanja toka eksperimenta.....	57
Slika 5.3 – Primeri definisanih uglova postavljanja uzoraka pri digitalizaciji.....	61
Slika 5.4 – Princip stvaranja X-zraka pri EDS analizi (a) i primer spektra EDS analize (Czichos i drugi, 2006)	62
Slika 5.5 – Izgled greške prekida papira nakon savijanja u rotacionoj štampi (Fogra, 2014).....	64
Slika 5.6 – Koraci odvijanja procesa određivanja zaostale zatezne čvrstoće nakon savijanja (UPM, 2008).....	65
Slika 5.7 – Šematski prikaz mehanizma stvaranja površinskog oštećenja prilikom savijanja grede (a) i poprečnog preseka uzorka pri određivanju otpornosti prema prskanju po Mulenu..	66
Slika 5.8 – Šema algoritma za pripremnu obradu i analizu destrukcije površine premaznih papira..	69
Slika 5.9 – Primer originalne slike u boji (a) i izdvojenog crvenog kanala (b).....	70
Slika 5.10 – Primeri jednostruko (a) i višestruko (b) digitalizovanih uzoraka sa odgovarajućim histogramima slike sivih tonova (c-jednostruko, d-višestruk).....	71

Slika 5.11 – Detalj originalne slike (a) i rezultata segmentacije pomoću Kapur (b), Kittler (c), Otsu (d), Thai (e) i Rosin (f) metodama.....	72
Slika 5.12 – Izgled koso postavljenog uzorka pri digitalizaciji (a) i segmentirane slike nakon primene Hafove transformacije sa detektovanom linijom prevoja (b)	73
Slika 5.13 – Definisane zone pri utvrđivanju širine maske za ukljanjanje šuma oko linije savijanja (a), postavljena maska na liniju savijanja (b) i detektovana linija savijanja bez okolnog šuma na slici (c).....	74
Slika 5.14 – Tipičan spektar EDS analize premaza odabranih papira.....	79
Slika 5.15 – Izgled mašine za savijanje Horizon AFC 544 AKT (a) i princip odvijanja procesa savijanja za potrebe istraživanja (b)	81
Slika 5.16 – Skener Canon CanoScan 5600F (a) i način postavljanja uzoraka za skeniranje (b).....	82
Slika 5.17 – Digitalni fotoaparat Canon EOS 550D (a) i način postavljanja uzoraka za fotografisanje (b).....	84
Slika 5.18 – Optički mikroskop Olympus BX – 51 (a) i način pripreme uzoraka za snimanje (b).....	86
Slika 6.1 – Grafički prikaz rezultata procenta belih piksela za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke skeniranih sa rezolucijom od 1200 spi pri različitom geometrijom postavljanja uzoraka (uglovima).....	91
Slika 6.2 – Grafički prikaz rezultata procenta belih piksela za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke skeniranih sa rezolucijom od 2400 spi pri različitom geometrijom postavljanja uzoraka (uglovima).....	92
Slika 6.3 – Grafički prikaz rezultata procenta belih piksela za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke skeniranih sa rezolucijom od 4800 spi pri različitom geometrijom postavljanja uzoraka (uglovima).....	93
Slika 6.4 – Grafički prikaz uporedne analize uticaja rezolucije skeniranja na rezultate procenata belih piksela po smerovima savijanja (paralelno savijanje - a, c, e, g, i; poprečno savijanje - b, d, f, h, j) i po gramaturama uzoraka (90 g/m ² - a,b; 115 g/m ² - c, d; 130 g/m ² - e, f; 150 g/m ² - g, h; 170 g/m ² - i, j).....	95
Slika 6.5 – Grafički prikaz rezultata procenta belih piksela za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke skeniranih sa rezolucijom od 1200 spi.....	96
Slika 6.6 – Grafički prikaz rezultata odnosa obima i površine oštećenja za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke skeniranih sa rezolucijom od 1200 spi i različitom geometrijom (uglovima) postavljanja uzoraka	98
Slika 6.7 – Grafički prikaz rezultata odnosa obima i površine oštećenja za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke skeniranih sa rezolucijom od 2400 spi i različitom geometrijom (uglovima) postavljanja uzoraka	100
Slika 6.8 – Grafički prikaz rezultata odnosa obima i površine oštećenja za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke skeniranih sa rezolucijom od 4800 spi i sa različitom geometrijom (uglovima) postavljanja uzoraka	101
Slika 6.9 – Grafički prikaz uticaja rezolucije skeniranja na rezultate odnosa obima i površine oštećenja po smerovima savijanja (paralelni uzorci - a, c, e, g, i; poprečni uzorci - b, d, f, h, j) i po gramaturama uzoraka (90 g/m ² - a, b; 115 g/m ² - c, d; 130 g/m ² - e, f; 150 g/m ² - g, h; 170 g/m ² - i, j)	102
Slika 6.10 – Prikaz rezultata odnosa obima i površine oštećenja za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke skeniranih sa rezolucijom od 1200 spi	103
Slika 6.11 – Grafički prikaz rezultata odnosa obima i površine oštećenja za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke skeniranih sa rezolucijom od 2400 spi	104

Slika 6.12 – Grafički prikaz rezultata odnosa obima i površine oštećenja za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke skeniranih sa rezolucijom od 4800 spi	105
Slika 6.13 – Grafički prikaz rezultata distribucije oštećenja za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke skeniranih sa rezolucijom od 1200 spi i sa različitom geometrijom (uglovima) postavljajanja uzoraka	107
Slika 6.14 – Grafički prikaz rezultata distribucije oštećenja za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke skeniranih sa rezolucijom od 2400 spi i sa različitom geometrijom (uglovima) postavljajanja uzoraka	108
Slika 6.15 – Grafički prikaz rezultata distribucije oštećenja za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke skeniranih sa rezolucijom od 4800 spi i sa različitom geometrijom (uglovima) postavljajanja uzoraka	109
Slika 6.16 – Grafički prikaz uticaja rezolucije skeniranja na rezultate distribucije oštećenja po smerovima savijanja (paralelno savijanje - a, c, e, g, i; poprečno savijanje - b, d, f, h, j) i po gramaturama uzoraka (90 g/m ² - a, b; 115 g/m ² - c, d; 130 g/m ² - e, f; 150 g/m ² - g, h; 170 g/m ² - i, j).....	111
Slika 6.17 – Grafički prikaz rezultata distribucije oštećenja za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke skeniranih sa rezolucijom od 1200 spi.....	112
Slika 6.18 – Grafički prikaz rezultata procenata belih piksela za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke fotografisanih sa udaljenosti od 30 cm sa različitim uglovima postavljajanja uzoraka	115
Slika 6.19 – Grafički prikaz rezultata procenta belih piksela za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke fotografisanih sa udaljenosti od 21 cm sa različitom geometrijom postavljajanja uzoraka (uglovima).....	117
Slika 6.20 – Grafički prikaz rezultata procenta belih piksela za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke fotografisanih sa udaljenosti od 12 cm sa različitom geometrijom postavljajanja uzoraka (uglovima).....	118
Slika 6.21 – Grafički prikaz uticaja udaljenosti fotografisanja na rezultate procenata belih piksela po smerovima savijanja (paralelno savijanje - a, c, e, g, i; poprečno savijanje - b, d, f, h, j) i po gramaturama uzoraka (90 g/m ² - a, b; 115 g/m ² - c, d; 130 g/m ² - e, f; 150 g/m ² - g, h; 170 g/m ² - i, j)	120
Slika 6.22 – Grafički prikaz rezultata procenta belih piksela za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke fotografisanih sa udaljenosti od 30 cm.....	121
Slika 6.23 – Grafički prikaz rezultata procenta belih piksela za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke fotografisanih sa udaljenosti od 21 cm.....	122
Slika 6.24 – Grafički prikaz rezultata procenta belih piksela za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke fotografisanih sa udaljenosti od 12 cm.....	123
Slika 6.25 – Grafički prikaz rezultata odnosa obima i površine oštećenja za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke fotografisanih sa udaljenosti od 30 cm sa različitim unutrašnjim uglovima postavljajanja uzoraka.....	124
Slika 6.26 – Grafički prikaz rezultata odnosa obima i površine oštećenja za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke fotografisanih sa udaljenosti od 21 cm sa različitim unutrašnjim uglovima postavljajanja uzoraka.....	126
Slika 6.27 – Grafički prikaz rezultata odnosa obima i površine oštećenja za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke fotografisanih sa udaljenosti od 12 cm sa različitim unutrašnjim uglovima postavljajanja uzoraka.....	127
Slika 6.28 – Grafički prikaz uticaja udaljenosti fotografisanja na rezultate odnosa obima i površine po smerovima savijanja (paralelno savijanje - a, c, e, g, i; poprečno savijanje - b, d, f, h,	

j) i po gramaturama uzoraka (90 g/m ² - a, b; 115 g/m ² - c, d; 130 g/m ² - e, f; 150 g/m ² - g, h; 170 g/m ² - i, j).....	128
Slika 6.29 – Grafički prikaz rezultata odnosa obima i površine oštećenja za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke fotografisanih sa udaljenosti od 30 cm	130
Slika 6.30 – Grafički prikaz rezultata odnosa obima i površine oštećenja za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke fotografisanih sa udaljenosti od 21 cm	131
Slika 6.31 – Grafički prikaz rezultata odnosa obima i površine oštećenja za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke fotografisanih sa udaljenosti od 12 cm	132
Slika 6.32 – Grafički prikaz rezultata distribucije oštećenja za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke fotografisanih sa udaljenosti od 30 cm i sa različitom geometrijom postavljanja .	133
Slika 6.33 – Grafički prikaz rezultata distribucije oštećenja za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke fotografisanih sa udaljenosti od 21 cm i sa različitom geometrijom postavljanja .	135
Slika 6.34 – Grafički prikaz rezultata distribucije oštećenja za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke fotografisanih sa udaljenosti od 12 cm i sa različitom geometrijom postavljanja .	136
Slika 6.35 – Grafički prikaz uticaja rezolucije skeniranja na rezultate distribucije oštećenja po smerovima savijanja (paralelno savijanje - a, c, e, g, i; poprečno savijanje - b, d, f, h, j) i po gramaturama uzoraka (90 g/m ² - a, b; 115 g/m ² - c, d; 130 g/m ² - e, f; 150 g/m ² - g, h; 170 g/m ² - i, j).....	137
Slika 6.36 – Grafički prikaz rezultata distribucije oštećenja za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke fotografisanih sa udaljenosti od 30 cm.....	139
Slika 6.37 – Grafički prikaz rezultata distribucije oštećenja za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke fotografisanih sa udaljenosti od 21 cm.....	140
Slika 6.38 – Grafički prikaz rezultata distribucije oštećenja za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke fotografisanih sa udaljenosti od 12 cm.....	141
Slika 6.39 – Grafički prikaz rezultata procenta belih piksela za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke digitalizovanih pomoću optičkog mikroskopa	142
Slika 6.40 – Grafički prikaz rezultata odnosa obima i površine oštećenja za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke digitalizovanih pomoću optičkog mikroskopa.....	144
Slika 6.41 – Grafički prikaz rezultata distribucije oštećenja za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke digitalizovanih pomoću optičkog mikroskopa	146
Slika 6.42 – Grafički prikaz uticaja uglova postavljanja na rezultate distribucije oštećenja za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke digitalizovanih pomoću optičkog mikroskopa.....	147
Slika 6.43 – Grafički prikaz rezultata gramature ispitanih papira.....	149
Slika 6.44 – Grafički prikaz rezultata debljine ispitanih papira.....	149
Slika 6.45 – Grafički prikaz rezultata sadržaja pepela ispitanih papira.....	150
Slika 6.46 – Grafički prikaz rezultata hrapavosti površine ispitanih papira.....	151
Slika 6.47 – Grafički prikaz rezultata zatezne čvrstoće ispitanih papira	152
Slika 6.48 – Grafički prikaz rezultata izduženja pri kidanju	152
Slika 6.49 – Grafički prikaz rezultata indeksa zatezanja ispitanih papira	153
Slika 6.50 – Zaostala zatezna čvrstoća ispitanih papira	153
Slika 6.51 – Grafički prikaz rezultata veličine deformacije pri prskanju po Mulenu	155
Slika 6.52 – Rezultati otpornosti na prskanje epruveta sa i bez savijanja.....	156
Slika 6.53 – Primer dijagrama rasturanja za procenat belih piksela i zaostale zatezne čvrstoće.....	159

Slika 7.1 – Uporedni prikaz detektovanih oštećenja na uzorcima paralelno savijenih papira sa gramaturama od 90 g/m ² (a), 115 g/m ² (b), 130 g/m ² (c), 150 g/m ² (d) i 170 g/m ² (e)	164
Slika 7.2 – Tipični primeri detektovanih oštećenja na uzorcima paralelno (a) i poprečno (b) savijenih papira gramature 130 g/m ²	164
Slika 7.3 – Uporedni prikaz detektovanih oštećenja paralelno savijenih uzoraka gramature 90 g/m ² skerinarnih sa rezolucijom 1200 spi (a), 2400 spi (b) i 4800 spi (c)	165
Slika 7.4 – Uporedni prikaz poprečno savijenih uzoraka gramature 90 g/m ² skeniranih sa rezolucijom od 1200 spi sa unutrašnjim uglovima postavljanja od 15° (a), 45° (b) i 180° (c).....	166
Slika 7.5 – Uporedni prikaz paralelno savijenih uzoraka gramature 90 g/m ² fotografisanih sa udaljenosti od 30 cm (a), 21 cm (b) i 12 cm (c).....	167
Slika 7.6 – Uporedni prikaz poprečno savijenih uzoraka gramature 90 g/m ² fotografisanih sa udaljenosti od 12 cm sa unutrašnjim uglovima postavljanja od 15° (a), 45° (b) i 180° (c) .	168
Slika 7.7 – Uporedni prikaz paralelno savijenih uzoraka papira 90 g/m ² sa unutrašnjim uglovima postavljanja od 90° (a) i 180° (b) kao i poprečno savijenih papira gramature 130 g/m ² sa unutrašnjim uglovima postavljanja od 90° (c) i 180° (d).....	169
Slika 7.8 – Karakteristični primeri obima detektovanih oštećenja na paralelno i poprečno savijenim uzorcima gramature 90 g/m ² (a i d), 130 g/m ² (b i e) i 170 g/m ² (c i f).....	171
Slika 7.9 – Uporedni prikaz obima detektovanih površina paralelno savijenih uzoraka gramature 130 g/m ² skerinarnih sa rezolucijom 1200 spi (a), 2400 spi (b) i 4800 spi (c)	172

Spisak tabela

Tabela 2.1 – Najvažnije karakteristike glavnih pigmenata premaza.....	24
Tabela 5.1 – Ispitane osnovne karakteristike i odgovarajući standardi	61
Tabela 5.2 – Osnovne karakteristike papira za umetničku štampu Simbol Freelifa Gloss.....	79
Tabela 5.3 – Prosečni maseni i atomski udeo (%) u analizi sastava premaza ispitanih papira	79
Tabela 5.4 – Osnovne tehničke karakteristike mašine za štampu KBA Rapida 75.....	80
Tabela 5.5 – Osnovne tehničke karakteristike mašine za savijanje Horizon AFC 544 AKT.....	81
Tabela 5.6 – Tehničke karakteristike ravnog skenera Canon CanoScan 5600F	83
Tabela 5.7 – Osnovni parametri skeniranih uzoraka.....	83
Tabela 5.8 – Tehničke karakteristike digitalnog fotoaparata Canon EOS 550D	85
Tabela 5.9 – Osnovni parametri fotografisanja uzoraka	85
Tabela 5.10 – Tehničke karakteristike optičkog mikroskopa Olympus BX - 51.....	86
Tabela 5.11 – Osnovni parametri snimljenih digitalnih uzoraka	86

Rezime

Premazni papiri imaju vrlo široku primenu u gafičkoj industriji zahvaljujući pre svega izvanrednoj reprodukciji originala, međutim oni ispoljavaju i izražen stepen destrukcije površinskih slojeva prilikom savijanja. Greške u obliku oštećenja premaza i baznog papira, nastale usled prekomernog opterećenja na istezanje spoljašnjih slojeva materijala u procesu savijanja mogu biti estetskog karaktera ali isto tako mogu ugroziti i samu upotrebu gotovih proizvoda. S obzirom na to da savijanje predstavlja jednu od najčešće korišćenih obradnih operacija grafičke proizvodnje i tako greške nastale usled te operacije predstavlja značajan ekonomski i ekološki teret, poboljšavanje otpornosti premaznih papira prema površinskim oštećenjima postalo je aktuelna oblast istraživanja. Pored uobičajnih ispitivanja mehaničkih karakteristika premaznih papira, u poslednjih nekoliko godina se pojavila i računarski potpomognuta kontrola. Data metoda sa digitalizovanih materijalnih uzoraka formira objektivnu procenu količine oštećenja premaznih papira putem softverske analize. Pozitivne odlike metode su očigledne, međutim uočeni su značajni nedostaci u pogledu primene date metode i upotrebi parametra za procenu oštećenosti površine.

Istraživanja sprovedena u okviru disertacije imaju za cilj unapređenje kontrole kvaliteta premaznih papira u smislu uniformisanja procesnih parametara pri izvođenju kontrole kvaliteta, odnosno uvođenja novih, strukturnih parametara ili obeležja opisa površine oštećenja uz jasno definisane korake obrade i analize digitalnih slika.

Određen je osnovni set parametara izrade materijalnih uzoraka, digitalizacije istih, zatim i uticajni i kontrolni parametri od značaja za istraživanje. Postavljeni su zahtevi prema algoritmu za pripremnu obradu i analizu destrukcije posmatrane površine, odnosno definisana su obeležja digitalnih slika za procenu otpornosti premaznih papira ka površinskoj destrukciji pri savijanju (procenat belih piksela, odnos obima i površine oštećenja, distribucija oštećenja). Instrumentalnim istraživanjem su utvrđene sve relevantne karakteristike korišćenih materijala kao i referentni rezultati opisa oštećenja pomoću mehaničkih karakteristika premaznih papira. Analiza podobnosti upotrebe varijabilnih parametara pripreme uzoraka, digitalizacije kao i predloženih obeležja je izvršena pomoću uporedne analize rezultata objektivne vizuelne kontrole i referentnih merenja.

Rezultati referentnih metoda određivanja otpornosti premaznih papira prema površinskom oštećenju, kao i kontrolni parametri pripreme uzoraka su ukazali da razvijeni algoritam ispunjava postavljene zahteve i da predložena obeležja digitalizovanih uzoraka verno opisuju nastala oštećenja. Nijedan ispitani uticajni parametar pripremnih operacija digitalizacije uzoraka (rezolucija, ugao, metod digitalizacije) se ne izdvaja sa superiornim prednostima u svakom pogledu, tako da nije bilo moguće formirati set preporučenih podešavanja jedinstvene primene. Saznanja o njihovom uticaju na konačne rezultate definisanih obeležja dobijena istraživanjem će doprineti unapređenju kontrole uniformisanjem parametara pripreme uzoraka i procesa digitalizacije po oblastima implementacije. Dobijeni rezultati predloženih obeležja, kao i korelacione analize omogućuju primenu tih obeležja u funkciji kontrole kvaliteta kao osnove razvoja objektivne procesne kontrole premaznih papira u procesu savijanja.

Abstract

Coated papers are widely used in the graphic industry mostly because of their outstanding reproduction quality, but they also show a significant rate of surface destruction during the folding process. Damages of the coating layer and base paper caused by high tensile stresses on the outer side of the folding line can lead to decreased aesthetic appearance or even to complete loss of product functionality. Since the folding process is one of the most commonly used operations in the graphical production and the damages during this process can have significant economical and environmental effects, the improvement of the fold cracking resistance of coated papers has become a significant field of research. Along the usually employed measurements of the mechanical characteristics of coated papers, in the last couple of years the computer aided quality control gained ground. This method derives an objective assessment of surface damages by running a software analysis on digitalized samples. Although, the positive features of this method are obvious, significant deficiencies are noticed in its application as well as in the used parameters for the quality assessment.

Research conducted in this thesis aims to improve the objective quality control of coated papers by means of uniformisation of the quality control process and also by introducing new, structural features extracted from the digitalized samples along with their definition.

Determination of basic parameters for specimen preparation and digitalisation process was done along with the determination of the variable and control parameters relevant for the investigation. The algorithm requirements for the pre-processing and image analysis methods were defined and features of digitalised samples were proposed for the fold cracking resistance assessment (i.e. white pixel percentage, perimeter-surface ratio and distribution of damages). All relevant characteristics of the selected coated paper samples were determined by instrumental measurements and the referent mechanical measurements used for surface damage evaluation were also done. The analysis of applicability of variable parameters of sample preparation, digitalization as well as the proposed features is conducted by comparative analysis of objective visual assessment and referent measurements.

Results of the referent measurements of the fold crack resistance along with control parameters of sample preparation indicated that the developed algorithm fulfills the set requirements and the proposed features of digitalised samples faithfully describe the analysed surface damages. None of the sample preparation and digitalisation parameters show superior performances at all points, therefore a single set of best parameters for unique implementation cannot be proposed. The acquired knowledge of their influence on the final results of proposed features derived from investigation contributes to the quality control improvement by uniformisation of sample preparation and digitalisation process on different fields of implementation. The obtained results of the proposed features along with their correlation analysis contribute to their usage in objective process quality control of coated papers in the folding process.

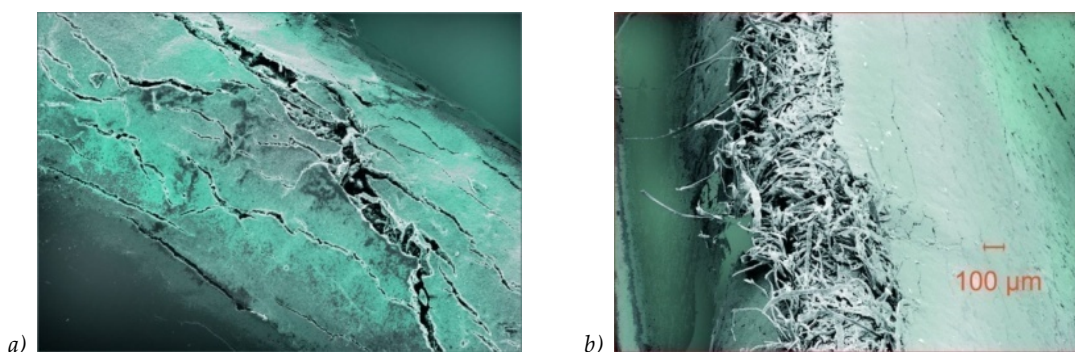
Sadržaj

1. Uvod	16
1.1. Pregled sadržaja disertacije	18
2. Aktuelno stanje u oblasti istraživanja	19
2.1. Premazni papiri	19
2.1.1. Bazni papir	21
2.1.2. Premazi	22
2.1.3. Proces premazivanja papira	25
2.1.4. Savijanje premaznog papira	26
2.1.5. Otpornost premaznih papira prema površinskom oštećenju	34
2.1.6. Metode ispitivanja otpornosti premaznih papira na površinska oštećenja	41
2.2. Softverska obrada slike	45
2.2.1. Digitalna slika	45
2.2.2. Digitalna obrada slike	48
2.2.3. Primena digitalne obrade slike	49
3. Predmet i cilj istraživanja	51
3.1. Način rešavanja postavljenog zadatka	52
3.2. Očekivani rezultati i njihov značaj	53
4. Hipoteza istraživanja	54
5. Metodologija istraživanja	55
5.1. Plan rada i metode istraživanja	56
5.1.1. Predefinisani i varijabilni parametri izvođenja eksperimenta	57
5.1.2. Metode ispitivanja osnovnih karakteristika premaznih papira	61
5.1.3. Metode ispitivanja otpornosti premaznih papira na površinska oštećenja	63
5.1.4. Objektivna vizuelna metoda	67
5.1.5. Obrada rezultata i statističke metode	78
5.2. Uređaji, materijali i softverski alati	78
5.2.1. Karakteristike korišćenih materijala	78
5.2.2. Karakteristike korišćenih uređaja i pribora	80
5.2.3. Karakteristike korišćenih softverskih alata za analizu	88
6. Rezultati istraživanja	89
6.1. Rezultati kvantitativne i kvalitativne analize detektovanih oštećenja nastalih na premaznim papirima u procesu savijanja	89

6.1.1. Rezultati skeniranih uzoraka	89
6.1.2. Rezultati fotografisanih uzoraka	114
6.1.3. Rezultati uzoraka digitalizovanih pomoću optičkog mikroskopa	141
6.2. Rezultati otpornosti premaznih papira na površinska oštećenja pri savijanju	148
6.2.1. Pregled rezultata osnovnih karakteristika premaznih papira.....	148
6.2.2. Rezultati zaostale zatezne čvrstoće	153
6.2.3. Rezultati ispitivanja otpornosti prema prskanju – određivanje veličine deformacije.....	155
6.2.4. Rezultati otpornosti prema prskanju savijenih papira.....	156
6.3. Usporedna analiza rezultata referentnih metoda ispitivanja otpornosti premaznih papira na površinska oštećenja i predloženih obeležja objektivne metode.....	158
6.3.1. Skenirani uzorci.....	159
6.3.2. Fotografisani uzorci	160
6.3.3. Mikroskopski snimci.....	161
7. Diskusija	163
7.1. Procenat belih piksela	163
7.2. Odnos obima i površine oštećenja.....	170
7.3. Distribucija oštećenja.....	173
8. Zaključci	176
9. Naučni doprinos istraživanja i mogućnosti primene u praksi	180
10. Literatura.....	181
11. Prilozi	190
Prilog I - MATLAB kod razvijenog algoritma	191
Prilog II - Tabelarni prikaz rezultata obeležja po metodama digitalizacije	195
Prilog III - Tabelarni prikaz rezultata statističke analize po metodama digitalizacije	202
Prilog IV - Tabelarni prikaz rezultata analize korelacije	278
Biografija	280

1. Uvod

Premazni papiri predstavljaju grupu proizvoda papirne industrije, čija je površina oplemenjena premazom s jedne ili obe strane. Primena premaznih papira u velikoj meri zavisi od količine premaza, pa tako papiri sa manjim nanosom premaza uglavnom se primenjuju za izradu skromnijih revijalnih izdanja, reklamnih brošura, letaka, dok papiri sa većim nanosom se upotrebljavaju pri izradi visokokvalitetnih grafičkih proizvoda, kao što su ilustrovane knjige, kalendari, časopisi, etikete i slično. Zajednička osobina svih premaznih papira jeste mogućnost postizanja visokog kvaliteta štampe sa izvanrednim reprodukcijama originala bilo da je reč o konvencionalnim ili digitalnim tehnikama štampe. Pored visokokvalitetne štampe i niza drugih pozitivnih odlika premaznih papira (mogućnost površinskog oplemenjivanja putem lakiranja, oslojavanje filmovima ili folijama, itd.) premazni papiri imaju i nedostatke i to pre svega u području završne grafičke obrade, tj. u fazi prerade i oblikovanja papira u gotove grafičke proizvode. Nedostaci, kao problemi prilikom obrade materijala se javljaju u operacijama rezanja, lepljenja, šivenja i drugih oblika povezivanja, međutim, ti nedostaci u većini slučajeva ne utiču na vizuelni izgled konačnog proizvoda. Za razliku od spomenutih operacija, gde se papir kao materijal za obradu opterećuje ravnomerno, savijanje predstavlja operaciju preoblikovanja materijala gde se javljaju različita opterećenja: spoljašnji slojevi su opterećeni na zatezanje, dok su unutrašnji osetljivi na pritisak. Usled tih opterećenja premazni papiri ispoljavaju izražen stepen destrukcije površinskih slojeva prilikom savijanja. Površinska oštećenja se javljaju u obliku prekida materijala (premaznog sloja ili/i osnovnog papira) zbog povišenog opterećenja na zatezanje i kao rezultat po liniji savijanja se pojavljuju razna oštećenja premaza i baznog papira (Slika 1a i b) (Fogra, 2014).



Slika 1.1 - Tipični primeri premaznog papira veće gramature sa površinskim oštećenjima premaza (a), odnosno oštećenja i premaza i baznog papira (b) prilikom savijanja (Fogra, 2014)

Reklamacije povodom takvih oštećenja su najznačajnije u domenu rotacione ofset štampe sa heat-set bojama, međutim, ekonomski aspekti takvih grešaka u tabačnoj ofset štampi predstavljaju količinski isto značajne gubitke (Metz, 2010).

Oštećenja su izraženija ukoliko se radi o papiru veće gramature, samim tim i veće debljine, jer su tada veće i sile zatezanja na spoljašnjoj strani prevoja papira. Često kao prevencija od površinske destrukcije, primenjuje se operacija formiranja ili utiskivanja žljeba, jedna od

najraspostranjenijih operacija pre-definisanja mesta savijanja. Formiranjem žljeba se mogu ublažiti negativni efekti savijanja, ali ne i potpuno eliminisati.

Kako je savijanje jedna od osnovnih operacija završne grafičke obrade i kao takva, nezaobilazna u izradi većine grafičkih proizvoda, proizvođači papira neprekidno rade na poboljšanju mehaničkih karakteristika premaznih papira, kako bi što više smanjili površinska oštećenja. U razvojnom procesu novih premaza proizvođači papira se većim delom služe kvantitativnim metodama putem objektivnih ispitivanja mehaničkih karakteristika papira ili samog premaza (npr. zaostala zatezna čvrstoća, otpornost na savijanje i slično). Sa pomenutim metodama je omogućeno egzaktno upoređivanje kvaliteta premaza različitih sastava što obezbeđuje podlogu za objektivnu evaulaciju mere oštećenja površine premaznih papira. Prednost je u objektivnosti i ponovljivosti ovih metoda, koje opravdavaju primenu tih dugotrajnih ispitivanja. Pored tih metoda, za bolje razumevanje mehanizma procesa savijanja papira, odnosno destrukcije površine premaza u toku savijanja, često se primenjuju metode vizuelnih analiza pomoću različitih optičkih sistema i pri različitim uvećanjima. Putem tih metoda moguće je dobiti kvalitativne informacije o samom procesu odvijanja oštećenja kao i o strukturi oštećene površine. Ključna stvar kod ovih metoda jeste da sama analiza predstavlja kvalitativni opis posmatranih površina. Metode opisnih evaulacija kvaliteta i ocenjivanja pomoću referentnih površina su takođe poznate, mada su one prevashodno rasprostranjene pri obradi papira (pri savijanju) u industrijskim uslovima. Prednost vizuelne kontrole se ogleda u brzini izvođenja, ali zbog nedostatka objektivnih merila, neponovljivosti, odnosno subjektivnosti posmatrača, vizuelna kontrola nije bila podesna za egzaktno definisanje proizvodnih i obradnih parametara sve dok se nisu počeli primenjivati računarski i programski sistemi i u ovoj oblasti. Digitalizacijom materijalnih uzoraka savijenih papira i analizom dobijenih slika otvorile su se nove mogućnosti primene vizuelne kontrole i sa tim je započeto premošćavanje problema subjektivnosti ljudske vizuelne kontrole.

Upotreba računara i programskih alata za digitalnu obradu slike pri analizi i proceni otpornosti premaznih papira prema površinskom oštećenju u procesu savijanja započeta je sa jednom, vrlo intuitivnom kvantitativnom merom: merom oštećenja površine premaza. U dostupnoj literaturi postoji više različitih opisa ove metode objektivne procene otpornosti premaza prema površinskom oštećenju sa definisanjem načina pripreme epruvete, njene digitalizacije, odnosno matematičke osnove za proračun vrednosti mere oštećenja površine premaza. Iako opisane metode se međusobno razlikuju u operacijama pripreme, digitalizacije i evaulacije, one ipak dele zajedničku suštinsku osnovu: epruvete pre savijanja se odštampaju nekom tamnijom bojom kako bi nakon savijanja oštećenja bila uočljiva i registrovana u obliku belih površina. Količine tih belih površina se zatim predstavljaju jednom vrednošću - procentom oštećenja, tj. odnosom površine oštećenja u odnosu na celu sliku, tj. posmatranu površinu.

Prednosti spomenute metode su više nego očigledne i sa velikom dozom sigurnosti se može pretpostaviti da će zauzeti (ako već nije zauzela) važno mesto u razvojnom i proizvodnom procesu industrije papira, ali ipak ovoj metodi se mogu pripisati tri osnovna nedostatka. Prvi nedostatak je nepostojeća uniformna primena metode, odnosno njena standardizacija. U literaturi se susreću opisi metode sa različitim instrukcijama za pripremu i digitalizaciju uzoraka papira, ali takođe varira predmet i veličina površine

posmatranja. Kao drugi nedostatak se izdvaja primena samo jednog parametara za okarakterisanje oštećenosti površine. Iako postoji mogućnost za definisanje dodatnih strukturnih parametara, posmatrane površine oštećenja premaznog sloja papira se opisuju samo jednim parametrom: površinom oštećenja premaza izraženom u procentima u odnosu na kompletnu posmatranu sliku ili u mm² po definisanoj dužini ili površini. Treći nedostatak se ogleda u nedostatku informacija o primenjenim tehnikama digitalne pripreme i analize digitalizovane slike. Od primenjenih tehnika poboljšavanja slike kao i od algoritma segmentacije i definisanja površine od interesa u velikoj meri zavise rezultati oštećenja dobijenih sa digitalizovanih slika materijalnih uzoraka.

Automatski sistemi za analizu slike su već zauzeli svoja mesta skoro u svim granama proizvodne industrije, pa tako i u grafičkoj industriji i industriji papira, pa je za očekivati u skoroj budućnosti i unapređenje vizuelne kontrole kvaliteta premaza papira pomoću računarskih i programskih resursa i njena integracija u kontrolni i proizvodni proces.

1.1. Pregled sadržaja disertacije

Disertacija se može grubo podeliti u dve celine: teorijske osnovne i eksperimentalni deo. U prvoj celini su dati teorijski prilazi neophodni pri rešavanju problema istraživanja, dok u drugoj celini prikazani rezultati eksperimentalnih istraživanja.

Nakon uvodnih razmatranja poglavlje aktuelnih istraživanja daje pregled literaturnih nalaza iz oblasti istraživanja, obuhvatajući osnovne pojmove u vezi sa premaznim papirima, njihovim karakteristikama, specifičnostima procesa savijanja, uticajnih parametara kvaliteta savijanja kao i metode ispitivanja otpornosti premaznih papira prema površinskom oštećenju u procesu savijanja. Pored pomenutih, obrađena je i tematska oblast softverske obrade slike sa sažetim prikazom aktuelnih istraživanja u vezi sa problematikom rada.

U delu definisanja predmeta rada i ciljeva istraživanja, odnosno načina rešavanja postavljenih zadataka su koncizno dati svi bitni elementi od značaja za izvođenja eksperimenta radi dobijanja relevantnih rezultata, koji čine podlogu za donošenje relevantnih zaključaka o hipotezi rada.

U drugoj celini disertacije je data metodologija istraživanja, odabir varijabilnih i predefinisanih parametara izvođenja eksperimenta, opis korišćenih metoda ispitivanja osnovnih karakteristika premaznih papira kao i ispitivanja otpornosti premaznih papira na površinska oštećenja, a poseban akcenat je dat razvoju algoritma za objektivnu vizuelnu kontrolu kao i definisanju obeležja digitalnih uzoraka na osnovu kojih se vrši kvantitativna i kvalitativna analiza oštećenja premaznih papira u procesu savijanja. Dobijeni rezultati su predstavljeni u posebnom poglavlju, nakon čega sledi njihova analiza i diskusija. Na kraju disertacije pored formiranih neophodnih zaključaka dat je i pregled naučnog doprinosa istraživanja kao i mogućnosti primene dobijenih rezultata u praksi.

2. Aktuelno stanje u oblasti istraživanja

Aktuelna istraživanja u predmetnoj oblasti se mogu podeliti na dve grupe. Prvu grupu čine istraživanja vezana za premazne papire i za njihovu kontrolu kvaliteta sa posebnim akcentom na istpitivanje otpornosti premaznih papira na površinska oštećenja u procesu savijanja. Druga grupa obuhvata literaturne izvore u vezi sa primenom računarskih i programskih aplikacija u kontrolnim sistemima. Pregled aktuelnog stanja prati pomenutu podelu oblasti istraživanja.

2.1. Premazni papiri

Premazni papiri predstavljaju najveću grupu među podlogama za štampu u grafičkoj industriji. Imaju široku primenu zbog dobrih površinskih karakteristika koje su poboljšane u odnosu na nepremazne papire primenom raznih mineralnih i sintetičkih dodataka pri proizvodnji papira i doradi. Osnovni zadatak premazivanja je poboljšanje kvaliteta površinskog sloja papira i kartona. Poboljšanja mogu biti usmerena ka optičkim osobinama, kao što su belina, sjaj i opacitet, zatim ka taktilnim osobinama u vidu glatkoće, a najznačajniji vid unapređenja kvaliteta premazivanjem se ogleda u poboljšanju štamparskih karakteristika i kvaliteta reprodukcije – otiska. Nanošenjem pigmenata (najčešće visoke beline) na bazni papir povećava se njegova belina, opacitet, tj. neprovidnost (*engl. shine through*), ujednačava se hrapava površina baznog papira što direktno utiče na konačnu glatkoću i sjaj površine papira. Premaznim slojem se smanjuje penetracija a time i razlivanje štamparske boje što ima pozitivan uticaj na oštrinu reprodukcije slike. Debljina nanosa je ujednačenija kod premaznih papira uz znatno manju potrošnju štamparske boje, upoređujući sa nepremaznim papirima. Mogućnosti primene premazivanja u svrhu postizanja specijalnih funkcija proizvoda su danas sve značajnije (Holik, 2013).

Ekonomski aspekti proizvodnje premaznih papira su postali veoma značajni, ako ne i najznačajniji. Mineralni pigmenti, kao glavni sastojci premaze suspenzije, mnogo su jeftiniji u odnosu na celulozu i druge vlaknaste sirovine, pa je upotreba tih jeftinih mineralnih sirovina u što većoj količini umesto vlaknastih sirovina radi smanjenja troškova proizvodnje papira više nego poželjna, mada zahteva posebne metode optimizacije. Naime, iako mineralne sirovine u mnogim slučajevima poboljšaju ciljane karakteristike papira, prekomernom upotrebom se mogu javljati problemi u štampi i kod operacija završne grafičke obrade (Sixta, 2006; Andersson, 2008).

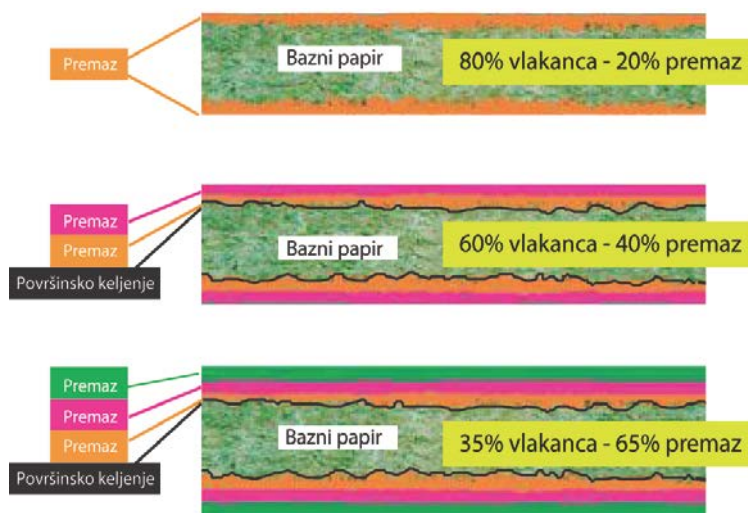
Trendovi razvoja premaznih papira uključuju daljnja unapređenja same tehnologije premazivanja, u cilju dobijanja kvalitetnijih podloga za unapređene sistema grafičke industrije (štamparske mašine i mašine za obradu). Istraživanja su, takođe, usmerena ka rešavanju potencijalnih problema ekologije i zaštite životne sredine pri proizvodnji i upotrebi papira kao zbrinjavanju otpada od papira, koji predstavlja značajan izvor ne samo sekundarnih vlaknastih materijala već i mineralnih sirovina, što za sobom povlači potrebu i za unapređenje primene premazne suspenzije, kao i razvoj novih sirovina istih (Ek i drugi, 2009; Holik, 2013).

Premazni papiri čine posebnu grupu grafičkih papira sa bezdrvnim ili srednjefinim baznim papirom čija je površina oplemenjena sa jedne ili sa obe strane vodenom suspenzijom. Jednostrano premazani papiri (hromopapiri) prevashodno služe za izradu etiketa i omota za čokolade, dok su obostrano premazni papiri u upotrebi za visokokvalitetnu višebojnu ilustracionu štampu, tj. štampu umetničkih slika, višebojnih reprodukcija, knjiga, kataloga, prospekata i slično. Obostrano premazni papiri, poznati i kao papiri za umetničku štampu (*nem. Kunstdruck Papier*) predstavljaju grupu premaznih papira sa najvećom količinom premaza, jer po definiciji originalnog kunstdruk papira (*lat. Pro arte imprimendi*) težina premaza ne sme biti manja od jedne trećine ukupne težine gotovog premaznog papira (Perić, 2004).

Postoje različite podele premaznih papira u dostupnoj literaturi. Jedna od najsveobuhvatnijih podela se nalazi u (Holik, 2013) po kojem se premazni papiri mogu podeliti na osnovu sirovinskog sastava papira, pa tako postoje papiri sa sadržajem drvenjače, tj. srednjefini papiri (*WC, engl. wood-containing*) i bezdrvni papiri (*WF, engl. wood-free*), po gramaturi i količini premaza papira. Na osnovu tih karakteristika premazni papiri nose oznake po sledećem (Annus i drugi, 2003; Holik, 2013):

- ULWC (*engl. ultra light weight coated*) papiri su ultra lagano premazni, srednjefini, gramature 35-48 g/m² sa sadržajem premaza od 5-7 g/m²,
- FCO (*engl. film coated*) papiri su pigmentirani srednjefini papiri sa gramaturom od 45-65 g/m² i nanosom premaza od 5-10 g/m²,
- LWC (*engl. light weight coated*) papiri su lako premazani srednjefini papiri gramature od 35 g/m² do 80 g/m² i sadržajem premaza do 6-12 g/m²,
- MFC (*engl. machine finished coated*) papiri su mašinski premazani srednjefini ili bezdrvni papiri gramature 48-80 g/m² i sadržaja premaza od 5-15 g/m²,
- MWC (*engl. medium-weight coated*) papiri predstavljaju premazne srednjefine papire srednje težine sa količinom premaza 12- 25 g/m², gramature 70-120 g/m²,
- HWC (*engl. high-weight coated*) papiri su premazani srednjefini papiri velike mase, gramature 100-135 g/m² i količine premaza 25-35 g/m²,
- WFC (*engl. wood-free coated*) papiri su bezdrvni premazni papiri, gramature 85-155 g/m² količine premaza od 25-35 g/m²,
- papiri za umetničku štampu (*engl. art paper, nem. Kunstdruck Papier*) imaju bezdrvni bazni papir i nanos premaza od 20% do 40% i ukupnu gramaturu 100-230 g/m².

Premazne papire je moguće podeliti i na osnovu svojstva površine papira, pa tako postoje mat, polumat, sjajni i visokosjajni premazani papiri. Broj premaza i tehnike nanošenja tih premaza su se razvijali tokom vremena, pa danas su najviše u upotrebi papiri sa tri sloja premaza kada su u pitanju papiri visokog kvaliteta (HWC, WFC i papiri za umetničku štampu), dok se papiri sa manjom količinom premaza proizvode sa jednim (ULWC, FCO i LWC) ili dva sloja (MWC, HWC i WFC). Na slici 2.1 su dati poprečni preseki premaznih papira sa posebnim osvrtom na procentualni odnos vlaknastih materijala i mineralnih i drugih pigmenata (Annus i drugi, 2003; Holik, 2013).



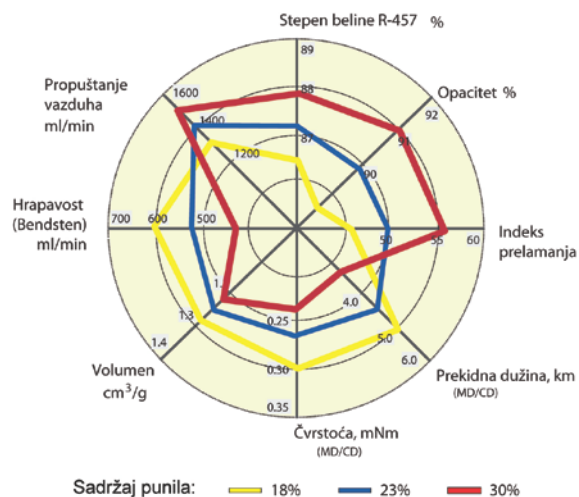
Slika 2.1 – Poprečni presezi jednostrukog, dvostrukog i trostrukog premaznog papira

2.1.1. Bazni papir

Za proizvodnju kvalitetnog premaznog papira neophodan je kvalitetan bazni ili osnovni papir. Osnovni papir za premazivanje se izrađuje kao bezdrvni, eventualno kao srednje fini, mašinski gladak, puno keljeni koji mora imati potpuno ravnu površinu, odnosno mora imati odgovarajuću mekoću da bi se mogao postići ravnomeran nanos premaznih sredstava sa visokovrednim pigmentima. Da bi se to sve postiglo, mora se koristiti adekvatna kombinacija kratkovlakanaste-lišćarske celuloze i dugovlakanaste-četinarske drvenjače sa visokim stepenom mlevenja i minimalnim procentom trski (Perić, 2004).

Bazni papiri moraju imati ravnomernu prozračnost, minimalno odstupanje u gramaturi, debljini i vlažnosti, na površini ne smeju imati otisnuta obeležja od sita ili filca (pogrešno je misliti da će se to pokriti premazom, jer premaz samo ističe vidljivost tih defekata). Kako su mehaničke osobine gotovog premaznog papira u najvećem delu uslovljene mehaničkim osobinama baznog papira, one su od posebnog značaja. Bazni papiri predviđeni za rotacionu štampu moraju imati gramaturu 45-50 g/m², dok za višebojnu tabačnu ofset štampu oni se izrađuju gramaturama od 60 g/m² do 200 g/m². Baze za premazne kartone su gramature od 200 g/m² do 300 g/m² (Ek i drugi, 2009; Holik, 2013).

Uz bazne papire, moraju se pomenuti i punila, koja predstavljaju sastavni deo svakog papira, pa tako i baznih za proizvodnju premaznih papira. Punila povećavaju neprozirnost papira, zatvaraju površinu papira poboljšavajući time štamparske karakteristike, povećavaju stepen beline (svojom bojom), opacitet i voluminoznost papira, poboljšavaju dimenzionu stabilnost, pospešuju mekoću papira i snižavaju cenu proizvodnje. Dodavanjem punila smanjuju se mehaničke karakteristike, posebno čvrstoća papira. Čestice punila prekidaju neposrednu vezu vlakancu prema vlakancu i to dovodi do smanjenje otpornosti papira na kidanje, savijanje i na cepanje. Naravno, ove osobine zavise i od upotrebljenog punila – ne utiču svi identično (Holik, 2013). Uticaj količine punila na neke značajne karakteristike papira je prikazan grafički na slici 2.2.



Slika 2.2 – Uticaj količine punila na osobine papira (Holik, 2013)

Punila, kao anorganske materije nisu zapaljiva, pa prilikom sagorevanja pri određivanju pepela, dobijena količina pepela se aproksimira i poistovećuje sa količinom punila u papiru (svega 1-2% sadržaja pepela može da potiče iz vlaknastih materijala ili pomoćnih materijala, hemikalija). Količina punila zavisi od tipa papira i njegove primene, pa tako može da varira od 3% do 30%. Primarni punioci su prirodni i istaloženi kalcijev karbonat, kaolin i u posebnim slučajevima talk (Perić, 2004; Sixta, 2006; Grönfors, 2010). Kako primarni punioci predstavljaju i primarne pigmente premaznog sloja, detaljnije o njima će biti reči u sledećem poglavlju.

2.1.2. Premazi

Premazna suspenzija papira ima nekoliko komponenata od kojih su najbitniji beli pigmenti (glina, kalcijum karbonat, talk, titan dioksid) i sredstva za vezivanje (skrob i lateks) s obzirom na njihovu količinu u samom premazu i cenu. Pored pomenutih, specifični dodaci su još od posebnog značaja jer pomoću njih se može uticati na razne proizvodne karakteristike premaza (sadržaj čvrste komponente u suspenziji, reologija, vezivanje vode, imobilizacija premazne suspenzije, itd.) kao i na fizičke i optičke karakteristike premaza (dispergatori, sredstva protiv penušanja, retencionna sredstva) (Perić, 2004; Holik, 2013).

Voda predstavlja osnovnu komponentu premazne suspenzije, omogućivši mešanje svih sastavnih komponenata premaza kao i ravnomerno raspoređivanje premaza u procesu nanošenja. Nakon isparavanja vode, premazni sloj se očvrstne i veziva formiraju adekvatnu čvrstu vezu između čestica pigmenta i baznog papira. Kako sadržaj vode direktno utiče na troškove proizvodnje zbog energetske potrošnje u operaciji sušenja, sadržaj čvrste komponente u premaznim suspenzijama treba da bude što veći i danas može da postigne čak i 70% (Holik, 2013).

2.1.2.1. Pigmenti premaza

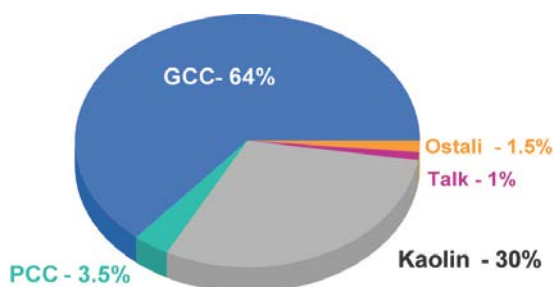
Pigmenti su glavne komponente premaza raznih papira i kartona, koji čine 80-95% težinskog sadržaja suve materije, odnosno 70-80% zapreminskog udela suve materije gotovog premaza. Najvažnije karakteristike pigmenata su veličina i distribucija veličine čestica, oblik i distribucija oblika čestica, indeks loma čestica, rasipanje i apsorpcija svetlosti na česticama, kao i gustoća ili zbijenost čestica u samom premazu. Osobine premazne suspenzije i gotovog premaza u velikoj meri zavise od ovih karakteristika pigmenata. Oblik i veličina čestica, odnosno distribucija veličine čestice su najznačajniji uticajni faktori procesa premazivanja, mada od oblika i raspodele čestice u premazu zavisi još i sušenje papira, poroznost i volumen, zatim vezivanje i upijanje štamparske boje, čvrstoća, prašenje, hrapavost (glatkoća) površine premaza kao i sjaj (Chinga-Carrasco, 2002; Holik, 2013).

Pigmenti se mogu podeliti u tri grupe (Holik, 2013):

- glavni pigmenti: prirodno granulisan kalcijum karbonat (*GCC – engl. ground calcium carbonate*), kaolinska glina i taložen kalcijum karbonat (*PCC – engl. precipitated calcium carbonate*),
- specijalni pigmenti: talk, kalcijum sulfat, polimerni pigmenti i barium sulfat,
- dodatni pigmenti: kalcinirana glina, titan dioksid i aluminijum trihidrat, itd.

Prema podacima za 2010. godinu, potrošnja mineralnih pigmenata u proizvodnji papira je iznosila 32 miliona tona. Nešto više od polovine te količine (tačnije 16.2 miliona tona) je upotrebjeno u procesima premazivanja, a procentualni udeo glavnih pigmenata kalcijum karbonata je najznačajniji (Slika 2.3). Najbitnije granulometrijske karakteristike glavnih pigmenata su prikazane u tabeli 2.1 (Holik, 2013).

Prirodno granulisan kalcijum karbonat predstavlja najznačajniji mineralni pigment u proizvodnji premaznih papira. Ima izuzetno visok stepen beline (87-95%) i sitnozrnastu strukturu (veličine ispod 2 μm i do 99% ukupne količine čestica). Takve granulometrijske osobine omogućavaju visok sadržaj čvrste komponente premazne suspenzije (i do 76%) što pozitivno utiče na energetska efikasnost proizvodnje, jer se postiže visoka radna brzina (1800 m/min) i smanjuje se potrošnja energije pri sušenju premaza (Perić, 2004; Grönfors, 2010; Vrkljan, 2010; Holik, 2013).



Slika 2.3 – Procentualni udeo korišćenih pigmenata u proizvodnji premaznih papira (Holik, 2013)

Taložni kalcijum karbonat predstavlja veštački, industrijski proizveden kalcijum karbonat (97% CaCO₃, 3% MgCO₃) koji se dobija hemijskim taloženjem ili precipitacijom iz rastvora pod definisanim uslovima. Takva proizvodnja pigmenta omogućava potpunu ili strogu kontrolu nad bitnim parametrima kao što su veličina čestice, distribucija veličine čestice i oblik. U poslednjim decenijama postaje sve značajnija sirovina industrije papira pre svega zbog visoke čistoće i homogenosti dobijenih čestica (Perić, 2004; Vrkljan, 2010; Holik, 2013).

Kaolin je zapravo bela glina ili drugom nazivom porcelanska zemlja (*China Clay*), a po hemijskom sastavu je aluminijev silikat. Kaolin je bele boje sa stepenom beline od 70 do 90%. Kvalitet kaolina uslovljen bojom (što je belji to je kvalitetniji) i granulacijom, veličinom zrnaca (što ravnomernije to bolje, ali najmanje 55% mora biti veličine 5-10 mikrona) i čistoćom (što manje primesa, to je kvalitetniji kaolin). Kaolin se upotrebljava i kao boja za premaz pri proizvodnji premaznih papira i kartona – svugde gde je bitno postići visoki sjaj (Perić, 2004; Conceicao i drugi, 2005; Grönfors, 2010; Holik, 2013).

Tabela 2.1 – Najvažnije karakteristike glavnih pigmenta premaza

Osobina	GCC	Kaolin	PCC
Oblik	romb	ploča	romb, igličast
Hemijska formula	CaCO ₃	Al ₂ O ₃ ·2SiO ₂ ·2H ₂ O	CaCO ₃
Indeks prelamanja	1.56	1.56	1.59
Stepen beline – R457 [%]	87-95	80-92	92-97
Površinska energija [J/cm ²]	75-80	500-600	75-80
Gustina [g/cm ³]	2.7	2.6	2.7
Veličina čestice [μm]	0.3-5	0.3-5	0.1-1

2.1.2.2. Veziva premaza

Veziva predstavljaju drugu najvažniju komponentu premaza. Njihova osnovna funkcija je povezivanje komponente premaza sa baznim papirom, međusobno povezivanje komponenta premaza, kao i popunjavanje rupa u strukturi premaza, zatim pozitivan uticaj na viskoznost i na zadržavanje pigmenta premazne suspenzije u strukturi papira u toku proizvodnje. Postoje razna veziva prirodnog i veštačkog porekla. Od prirodnih najčešće se skrob upotrebljava, mada su proteini i celulozni derivati takođe poznati. Među najpoznatijim sintetičkim vezivima su ona iz grupe sintetičkih kaučuka: stiren-butadien (SB) kaučuk, stiren-akrilat (SA) kaučuk i polivinilacetat (PVAc) kaučuk (Holik, 2013).

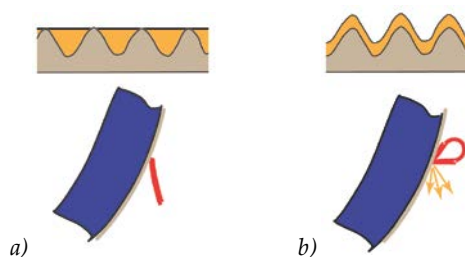
Skrob i njegovi derivati, bili su jedina korišćena veziva u ranim godinama proizvodnje premaznih papira. Danas su najviše upotrebljeni u kombinaciji sa dopunskim vezivima i modifikatorima premaza. U poređenju sa ostalim vezivima, skrob i njegovi derivati su jeftiniji, pogotovo oni dobijeni od kukuruza ili krompira. Primenjuje se u praškastom obliku, inače se sastoji od malih granula. Iako se intenzivno razvijaju nova veziva, pre svega sintetička, skrob i dalje ima značajan udeo (od 33%) među upotrebljenim vezivima (podatak za 2010. godinu). Potreba za novim i efikasnijim materijalima pri velikim brzinama proizvodnje, pokrenula intenzivniji razvoj na sintetičkim vezivima. Pomoću tih novih veziva, postignute su visoke brzine rada (2000 m/min, a na pilot mašinama 3300 m/min) i to sa povećanim udelom čvrste komponente premazne viskoznost. Od svih poznatih veziva,

stiren-butadienski kaučuk (koriti se i pod nazivom lateks) je jedan od najviše korišćenih danas u proizvodnji premaznih papira (udeo 54%). Stiren-butadienski kaučuk je kopolimer stirena (25 do 30%) i butadiena. Dobija se emulzijskom polimerizacijom radikalnim mehanizmom, koji se odvija u micelama emulgatora uz dodatak odgovarajućeg inicijatora polimerizacije (Maurer, 2009; Holik, 2013).

2.1.3. Proces premazivanja papira

Mašinskim premazivanjem se dobijaju premazni papiri (LWC, ULWC, MFC, itd.) za masovnu proizvodnju ilustrovanih časopisa i drugih višebojnih publikacija sa nižom količinom premaza (5-15 g/m²). Po kvalitetu (debljini i sjaju) zaostaju iza onih papira koji se premazuju na posebnim uređajima, ali zbog cene su više prisutni pri masovnoj primeni (Holik, 2013).

Premazivanje van papir mašine se vrši na tzv. premaznim mašinama. Postupci premazivanja prema tehničkoj izvedbi se mogu podeliti u direktne (debljina premaza se određuje nakon nanošenja) i indirektne postupke (debljina premaza se definiše pre nanošenja). Premazivanje valjcima spada u direktno premazivanje gde se suspenzija premazne boje najpre ravnomerno raspoređuje u sistemu za razribavanje, zatim prolaskom papirne trake između cilindra sa gumenom oblogom i cilindra za pritisak nanosi se premaz u ravnomernom sloju. Premazivanje se vrši valjkom, koji distribuira premaz na površinu papira a pritiskom tog valjka (kroz penetracijski pritisak) se definiše količina premaza. Zbog nedostatka ove metode u pogledu mogućih komplikacija pri nanošenju premaza usled kojih se smanjuje homogenost sloja, umesto valjaka danas je sve više u upotrebi mlaznica za nanošenja premaza. Za konačno određivanje debljine premaza se mogu koristiti različiti elementi, kao što su čelični ili gumeni noževi, merne šipke ili pak vazdušne četke. U zavisnosti od primenjenog elementa, konačna premazana površina papira može biti izuzetno glatka, ali sam premaz je neuniformne debljine (Slika 2.4a) ili pak manje glatka, ali ravnomernim nanosom i adekvatnim pokrivanjem baznog papira (Slika 2.4b) (Holik, 2013).



Slika 2.4 – Poprečni presek premaznog papira dobijenog pomoću rakel noža (a) i vazdušne četke (b)

Indirektno premazivanje predstavlja alternativno rešenje za nanošenje premazne suspenzije sa visokim sadržajem čvrstog dela. U takvim sistemima, količina potrebnog premaza se definiše prvo na valjku velikog prečnika, sa kojeg se pomoću pritiska manjeg valjka prenosi na podlogu, tj. na bazni papir (Holik, 2013).

2.1.4. Savijanje premaznog papira

Tehnologija grafičke obrade papira obuhvata sve neophodne operacije u procesu konačnog oblikovanja proizvoda od papira i kartona. Postoje različite operacije obrade materijala koje su uključene u završnu obradu grafičkih i ambalažnih proizvoda, a operacije preoblikovanja čine jednu značajnu grupu tih operacija (Kipphan, 2001). Osnovni zadatak preoblikovanja, kao procesne operacije završne grafičke obrade, jeste postizanje promene u stanju materijala bez promene u težini ili dimenziji polaznog materijala, pa tako preoblikovanje najčešće predstavlja promenu iz 2D oblika u 3D oblik (Holik, 2013).

Operacija savijanja se može uvrstati među operacije preoblikovanja po standardu DIN 8580, u kojem su operacije preoblikovanja podeljene po primenjenom mehaničkom opterećenju na (Holik, 2013):

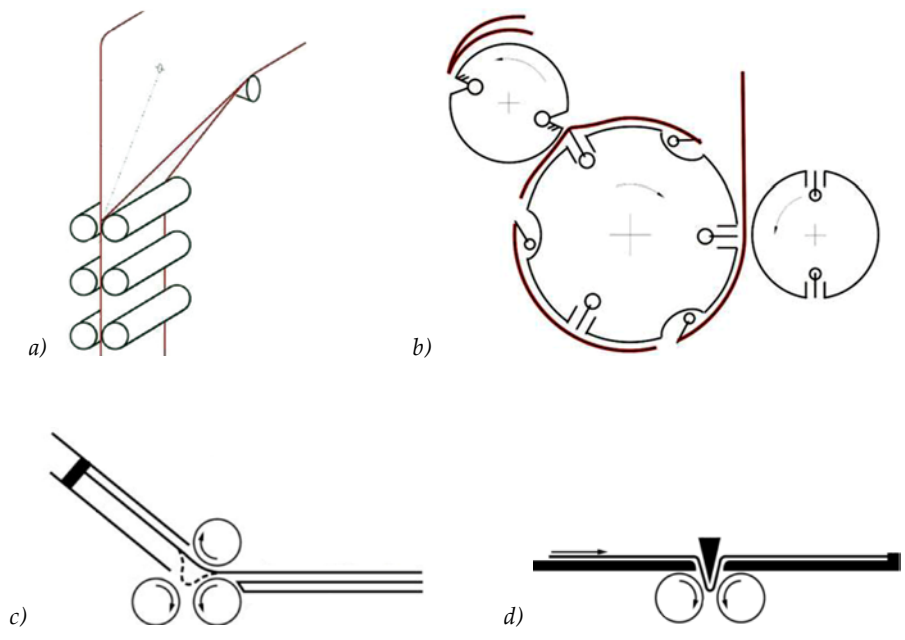
- operacije preoblikovanja pritiskom, gde se materijali oblikuju isključivo silama pritiska koje mogu delovati u jednoj ili u više osa;
- operacije preoblikovanja zatezanjem i pritiskom, koje uključuju obradne operacije u kombinaciji sile istezanja i pritiska;
- operacije preoblikovanja zatezanjem, pri kojima se obradni materijali prerađuju isključivo silama zatezanja u jednom ili u više osa;
- operacije preoblikovanja savijanjem, kod kojih se materijali formiraju naprezanjima savijanja;
- operacije preoblikovanja smicanjem, gde su prisutni samo naponi smicanja pri obradi materijala.

Savijanje spada u grupu najčešće primenjivanih metoda tehnologije plastičnog deformisanja (Plančak i Vilotić, 2007). Kako je savijanje jedna od osnovnih operacija završne grafičke obrade, i kao takva nezaobilazna u izradi većine grafičkih proizvoda, njegova analiza je od posebnog značaja (Liebau i Heinze, 2001).

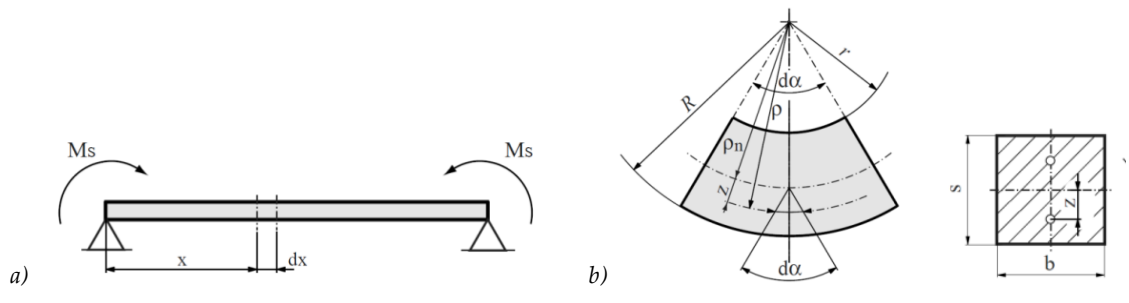
U zavisnosti od oblika materijala, operacija savijanja se deli na savijanje traka i tabaka, a u zavisnosti od načina formiranja linije prevoja postoje tehnike sa formiranjem linije prevoja paralelno sa pravcem kretanja materijala i normalno na pravac kretanja materijala. Trake paralelno sa pravcem kretanja materijala se najčešće savijaju principom levka (Slika 2.5a), dok poprečno na kretanje materijala principom klapni (Slika 2.5b). Tabaci u oba pravca kretanja materijala se najčešće savijaju primenom principa savijanja džepovima (Slika 2.5c) i noževima (Slika 2.5d) (Liebau i Heinze, 2001).

Prilikom preoblikovanja materijala savijanjem, deformacije se javljaju usled sile zatezanja i sile pritiska (Slika 2.6a). U većini slučajeva, savijanje karakterišu lokalne deformacije, tj. da su one koncentrisane samo na manji deo zapremine materijala (Plančak i Vilotić, 2007). Najjednostavniji matematički model opisa deformacija koje se javljaju usled savijanja se mogu islustrirati pomoću elementarne teorije čistog pravog savijanja grede (Slika 2.6b). Pod dejstvom opterećenja momenta savijanja u posmatranom elementu materijala dolazi do promene dužina pojedinih vlakana. Sa unutrašnje strane krivine savijenog materijalnog

elementa za vrednosti poluprečnika od r do ρ_n vlakna se skraćuju, tj. u tim površinama vladaju naponi pritiska, dok sa spoljašnje strane savijenog materijalnog elementa za vrednosti poluprečnika krivine od ρ_n do R nastaju naponi zatezanja, odnosno dolazi do povećanja prvobitne dužine vlakana materijala (Plančak i Vilotić, 2007).



Slika 2.5 - Principi savijanja materijala levkom (a), klapnama (b), džepom (c) i nožem (d)



Slika 2.6 - Osnovna geometrija određivanja deformacija pri savijanju

Zanemarujući efekat napona smicanja i u granicama elastičnosti, deformacija pri nekoj udaljenosti (z -koordinata) od neutralne površine (poluprečnik krivine ρ_n) se može izraziti pomoću (Plančak i Vilotić, 2007):

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} = \frac{z \cdot d\alpha}{\rho_n \cdot d\alpha} = \frac{z}{\rho_n} \quad (1)$$

gde je: z – tekuća koordinata – udaljenost posmatrane tačke od neutralne površi,
 ρ_n – poluprečnik neutralne površine u kojem nema deformacije.

Najveće deformacije se javljaju u graničnim površinama materijala, tj. za vrednosti poluprečnika r i R , koje se definišu prema sledećim (Plančak i Vilotić, 2007):

$$\varepsilon_r = \frac{r - \rho_n}{\rho_n} < 0 \quad (2)$$

$$\varepsilon_R = \frac{R - \rho_n}{\rho_n} > 0 \quad (3)$$

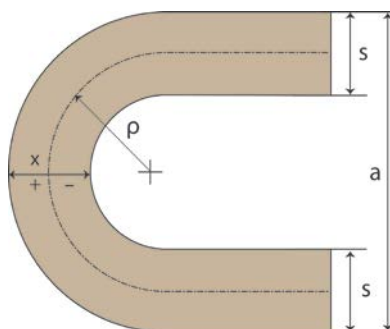
gde je: r – najmanji poluprečnik tj. unutrašnja stana savijenog materijala,
 R – najveći poluprečnik, spoljašnja strana savijenog materijala,
 ε_r – deformacija (pritiskivanje) unutrašnjih vlakana,
 ε_R – deformacija (izduženje) spoljašnjih vlakana.

Posmatrajući pojednostavljen model papira na slici 2.7, debljine s , najveći napon i njemu odgovarajuća najveća deformacija se može definisati (Barbier i drugi, 2002; Metz, 2010; Rättö i Hornatowska, 2010):

$$\sigma_{max} = \frac{M \cdot t}{I} = \frac{E_x s}{2\rho} \quad (4)$$

$$\varepsilon_{max} = \frac{s}{2\rho} \quad (5)$$

gde je: σ_{max} – najveći napon na spoljašnjoj strani savijenog elementa,
 ε_{max} – najveća deformacija na spoljašnjoj strani savijenog elementa,
 M – moment savijanja,
 t – udaljenost spoljašnje površine od neutralne ose (po pretpostavci je polovina debljine papira),
 s – debljina papira,
 E – modul elastičnosti,
 ρ – poluprečnik krivine savijanja,
 $E_x s$ – zatezna čvrstoća,
 l – dužina krivine.



Slika 2.7 – Osnovna geometrija savijanja papira

Prilikom savijanja, poluprečnik krivine se konstanto smanjuje sve dok ne postigne svoju graničnu vrednost, koja se na osnovu slike 2.7 lako definiše pomoću osnovne geometrije

savijenog papira. Kada je papir potpuno savijen (formira se unutrašnji ugao od 0°) jednačina za deformaciju (5) postaje (Metz, 2010):

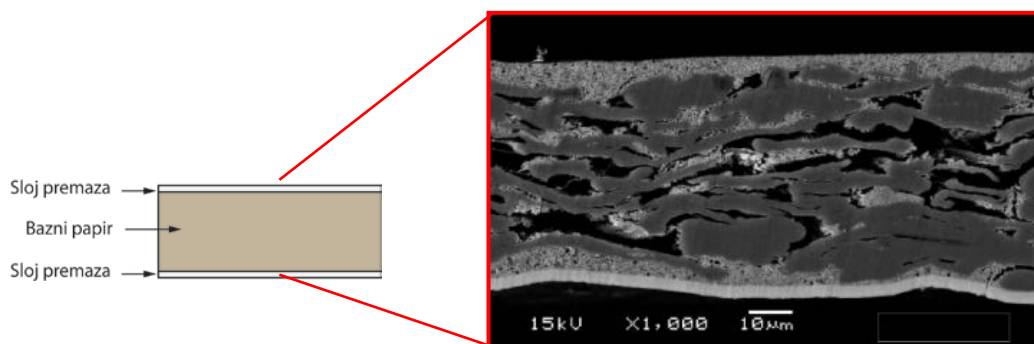
$$\varepsilon_{max} = \frac{s}{2\rho} = 1, \quad \text{zbog: } a = 2 * s \quad \text{i} \quad \rho = \frac{s}{2} \quad (6)$$

gde je: ε_{max} - najveća deformacija na spoljašnjoj strani savijenog elementa,
 s – debljina papira,
 a – udaljenost između spoljašnjih strana materijala pri savijanju od 180° ,
 ρ – poluprečnik krivine savijanja.

Jednačina (6) označava 100% izduženje vlakana na spoljašnjoj strani materijala i 100% skraćivanje vlakana sa unutrašnje strane krivine savijenog elementa (Metz, 2010).

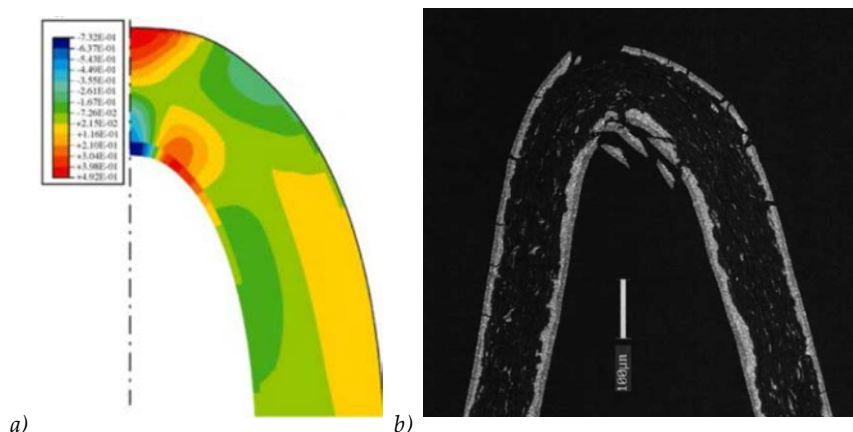
Jednačine (4) i (5) predstavljaju pojednostavljen sistem savijanja (premaznih papira) pri čemu su usvojene pretpostavke o homogenosti materijala, o sličnostima u čvrstoći materijala pri zatezanju i pritisku, odnosno naponi smicanja i sve deformacije usled smicanja su zanemarene (Barbier i drugi, 2002; Rättö i Hornatowska, 2010). Prema tim pretpostavkama za neki dati poluprečnik savijanja indukovani naponi zatezanja sa spoljašnje strane prevoja su direktno proporcionalni sa zateznom čvrstoćom, a indukovane deformacije sa debljinom materijala. Iz toga proizilazi da površinska oštećenja pri savijanju premaznih papira se mogu izbeći ukoliko bi zatezna čvrstoća materijala (premaza) bila dovoljno velika da savlada napone na spoljašnjoj strani materijala pri savijanju, odnosno ako bi se smanjila debljina materijala (zajednička debljina baznog papira i premaza) ili ako bi se povećala poluprečnik krivine savijanja (Barbier i drugi, 2002; Rättö i Hornatowska, 2010). Međutim, pojava površinskih deformacija tokom savijanja premaznog papira predstavlja višestruki i kompleksan problem (Fogra, 2014).

Pre svega, slojevita struktura premaznih papira ne može biti zamenjena homogenim materijalom ni pri računarskim simulacijama procesa savijanja ukoliko se želi dobiti realna aproksimacija naponskog stanja. U takvim sistemima se najčešće usvoji model troslojnog kompozitnog materijala za strukturu premaznog papira, koji se sastoji od debelog baznog papira, sačinjen od mreže vlakanca i punila i dva tanka sloja premaza formiran od raznih pigmenta i veziva (Slika 2.8a-b) (Barbier i drugi, 2005a-b).



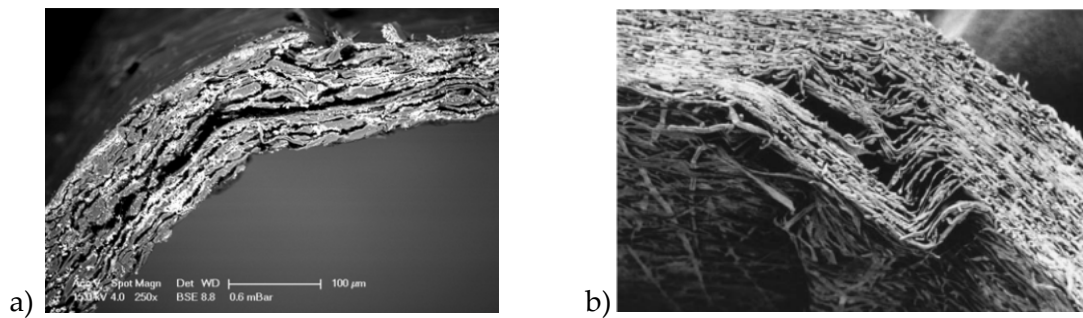
Slika 2.8 – Kompozitna struktura premaznog papira za modeliranje ponašanja pri savijanju (Barbier, 2005)

Takva osnovna struktura sa odgovarajućim matematičkim modelima korišćenih materijala i kriterijumima deformacija omogućuje uspešnu i detaljnu numeričku analizu napona i deformacija pomoću metoda konačnih elemenata. Na slici 2.9a je dat model savijenog premaznog papira (model troslojnog kompozitnog materijala) sa označenim veličinama deformacija, dok je na slici 2.9b dat poprečni presek konkretnog uzorka savijenog premaznog papira (Barbier i drugi, 2005a-b). Prema prikazanim slikama se lako vidi da do površinskog oštećenja ne dolazi samo u spoljašnjim slojevima materijala (usled napona zatezanja), već ona se mogu javljati i sa unutrašnje strane linije savijanja, gde premaz, usled sile pritiska takođe može stradati (Barbier i drugi, 2005a-b; Alam i drugi, 2009).



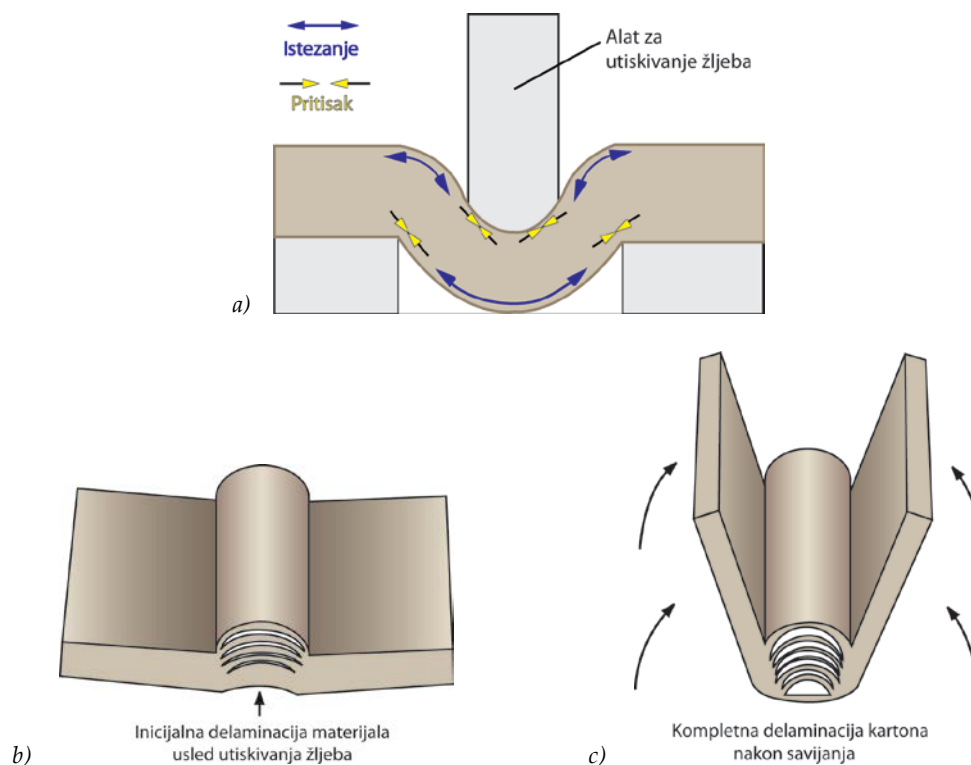
Slika 2.9 – Primer modela savijenog premaznog papira sa obeleženim veličinama deformacija (a) i realnog uzorka sa vidljivim oštećenjima u premaznom sloju (b) (Barbier i drugi, 2005a-b)

Dugačka i tanka vlakna baznog papira su vrlo nestabilna pri opterećenju na pritisak i sklona su izvijanju. Velika otpornost premaza prema pritisku (karakteristika tipa pigmenta premazne suspenzije) u kombinaciji sa jakom vezom između papira i premaza samo još više podstakne izvijanje vlakana i razaranje unutrašnjih veza među vlaknima, rezultujući raslojavanje unutar papira (Alam i drugi, 2009; Barbier i drugi, 2012). Tako da, iako su slojevi premaza opterećeni najvećim naprezanjima, u mnogim slučajevima deformacije u baznom papiru se mnogo ranije javljaju nego u premaznom sloju. Raslojavanje papira u domenu štampe, kada se pokidaju unutrašnje veze među vlaknima odnosno slojevima vlakana usled jakih adhezionih sila između štamparske boje i podloge za štampu (izražena lepljivost štamparske boje), ima negativnu konotaciju rezultujući značajne gubitke pri proizvodnji. Međutim, u toku savijanja raslojavanjem u predelu linije prevoja se smanjuju naponi zatezanja i pritiska u slojevima premaza papira, tako smanjujući mogućnosti pojave površinskih deformacija. Na slici 2.10a je dat poprečni presek tanjeg papira u savijenom obliku, gde je prikazano karakteristično raslojavanje materijala u blizini neutralne površine savijanja (Barbier i drugi, 2012). Pojava takvog odvajanja slojeva vlakana usred baznog papira sa jedne strane objašnjava delovanjem različitih napona ispod i iznad neutralne površine (Fogra, 2014), dok su sa druge strane uključeni i naponi smicanja u konačne deformacije papira (Alam i drugi, 2009). Ukoliko se razdvojeni slojevi vlakana odvoje dovoljno od ostatka papira, najčešće izvijanjem prema unutrašnjosti prevoja (Slika 2.10b), oni omogućavaju nezavisnu deformaciju zaostalog papira sa smanjenim površinskim oštećenjima ili bez njih (Barbier i drugi, 2002; Ek i drugi, 2009; Choi i drugi, 2012; Fogra, 2014).



Slika 2.10 – Poprečni presek premaznog papira sa raslojenim baznim papirom (a) odnosno nepremaznog papira sa više, izvijenim slojevima papira (b) (Barbier i drugi, 2012)

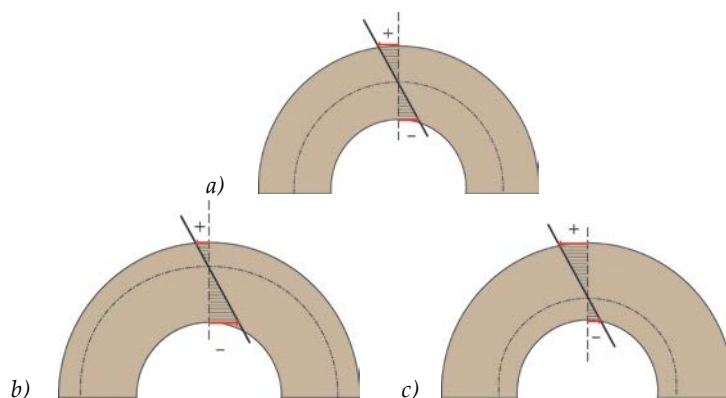
Pozitivan uticaj raslojavanja na smanjenje naponskih opterećenja pri savijanju, pri čemu se ne smanjuje značajno zatezna čvrstoća baznog materijala (Alam i drugi, 2009; Barbier i drugi, 2012), primenjuje se i u operaciji utiskivanja žljeba debljih papira i kartona. Na slikama 2.11a-c su prikazane faze utiskivanja žljeba i savijanja značajne u pogledu raslojavanja kartona u predelu linije savijanja (Ek i drugi, 2009; Barbier i drugi, 2012; Holik, 2013; Kirwan 2013; Fogra, 2014).



Slika 2.11 – Proces formiranja žljeba (a) sa inicijalnom delaminacijom (b) i konačnom delaminacijom kartona u predelu prevoja (c) (Kirwan, 2013)

Pretpostavka o približnim vrednostima čvrstoće materijala pri zatezanju i pritisku bi trebalo takođe da se suspenduje radi dobijanja realnije slike o ponašanju papira, pogotovo premaznog papira pri savijanju. Naime, pri različitim otpornostima materijala na zatezanje i na pritisak, neutralna površina se pomera na onu stranu gde su veće vrednosti otpornosti materijala (Slika 2.12a-c) (Metz, 2010). Kako su razlike u čvrstoći premaza pri različitim

uniaksijalnim opterećenjima često izrazite (pigmenti premaza su više otporni na pritisak nego na zatezanje) kod obostrano premaznih papira neutralna površina je uvek pomerena prema unutrašnjoj strani prevoja indukujući veće napone zatezanja sa spoljašnje strane prevoja. Radi savladanja tih većih, indukovanih opterećenja na zatezanje mora se postići adekvatna čvrstoća i pri zatezanju, i ukoliko se radi o istom sastavu premaza to se postiže povećavanjem debljine premaza. Međutim, sa time se automatski povećava i debljina celog papira za savijanje, pa tako se stvaraju još veći naponi u spoljašnjim slojevima premaznog papira (Metz, 2010; Rättö i Hornatowska, 2010). Rešenje problema površinskih oštećenja premaznih papira pri savijanju prema tome leži u karakteristikama premaza. Naime, na asimetričnost položaja neutralne površine najviše utiču sastav premazne suspenzije, broj, debljina i redosled odnosno modul elastičnosti slojeva premaza (Metz, 2010).

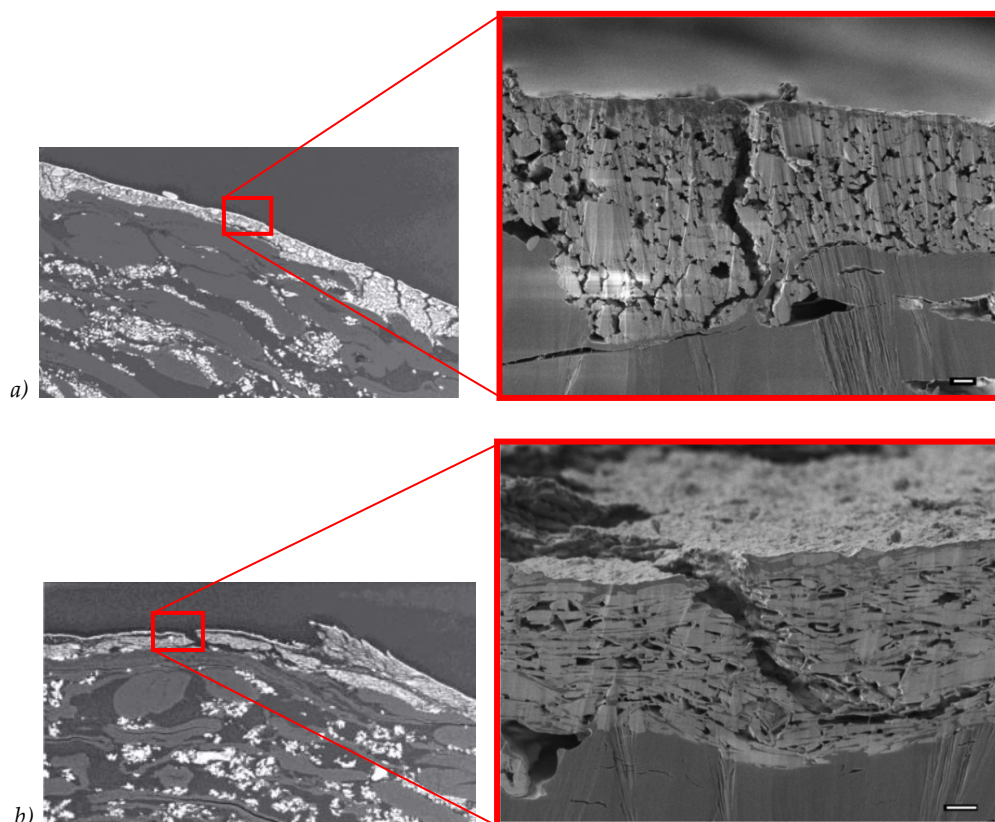


Slika 2.12 – Simetričan položaj neutralne površine pri savijanju (a), odnosno pomerena površina ka spoljašnjim (b) i ka unutrašnjim (c) slojevima materijala - papira (Metz, 2010)

Zanemarivanje napona smicanja pri savijanju može biti validna samo u slučajevima kada dužina krivine savijanja značajno veća u odnosu na debljinu materijala i kada modul klizanja ima isti red veličine kao i modul elastičnosti pri zatezanju i pritisku (Anon, 1974). Kako ti uslovi nisu ispunjeni kod premaznih papira, deformacije koje se javljaju u toku savijanja su indukovane ne samo čistim savijanjem već i smicanjem materijala. Smicanje u velikoj meri utiče na sve slojevite sturkture materijala: kako na bazni papir tako i na sam premaz. Rättö i Hornatowska (2010) pomoću SEM mikrografa su ustanovili da sa pljosnatim oblikom kaolin formira slojevitou strukturu premaza, koji je zbog toga manje otporan na napone smicanja, pa ima tendenciju raslojavanja u procesu savijanja za razliku od premaza od prirodnog kalcijum karbonata (Slika 2.13a i b).

Ukoliko se doda prethodno izloženim nalazima i izražena anizotropna priroda papira i uticaj vlažnosti pre svega na mehaničke karakteristike papira, formira se prava slika koliko je kompleksan problem savijanja premaznih papira. Anizotropno ponašanje pri mehaničkim opterećenjima je posledica orijentacije vlakanaca u toku proizvodnje papira. Tako postoji: mašinski pravac papira, koji odgovara pravcu kretanja papirne trake pri proizvodnji (MD – *engl. mashine direction*), poprečni pravac koji je normalan na pravac kretanja papira pri proizvodnji (CD – *engl. cross direction*), odnosno treći pravac, pravac debljine papira (ZD – *engl. thickness direction*). Anizotropna priroda papirnih materijala dolazi do izražaja skoro pri svim operacijama preoblikovanja, pa tako i u operaciji savijanja, zbog toga poznavanje ponašanja i osnovnih karakteristika papira u tim pravcima je od posebnog značaja (Ek i drugi, 2009). Na one operacije preoblikovanja papira u kojima

se mehanička opterećenja igraju ulogu, uticaj sadržaja vlažnosti papira je značajan. Sa povećanjem vlažnosti, oslabljuju se vodonične veze između vlaknaca papira, pa se time smanjuje i zatezna čvrstoća, odnosno snižava se granica između elastične i plastične deformacije, dok se izduženje pri zatezanju se povećava. Pri snižavanju relativne vlažnosti, vlakanca gube svoju prirodnu elastičnost i papir postaje krt, sklon pucanju. Operacije preoblikovanja se mnogo jednostavnije mogu obaviti ukoliko je papirima obezbeđen adekvatan nivo relativne vlažnosti, tj. ako su adekvatno kondicionirani (Ek i drugi, 2009; Holik, 2013; Kirwan, 2013).



Slika 2.13 – Formirane linije prekida materijala usled savijanja premaznog papira sa premazom od 100% prirodnom kalcijum karbonatom (a) i kaolinom (b) (Rättö i Hornatowska, 2010)

Izloženi mehanizmi ponašanja premaznih papira predstavljaju samo osnovne teorijske prilaze. Savremenim metodama simulacija i modeliranja, upotrebom računarskih resursa je omogućeno precizno definisanje ponašanja premaza i baznog papira u cilju dobijanja realnih podataka o naponima koji se javljaju u toku savijanja, kao mehaničke obrade. U tim sistemima reološki model papira mora odgovarati realnim osobinama i karakteristikama materijala (papira) pa pojednostavljene veze između napona i deformacija (4) i (5) sa idealizovanim karakteristikama materijala i osnovnim geometrijskim pretpostavkama nisu više aktuelne (Nygårds i drugi, 2005; Nygårds i drugi, 2009; Huang i Nygårds, 2010; Giampieri i drugi, 2011; Huang i Nygårds, 2011; Huang, 2012). One mogu biti validne samo u slučaju malih deformacija, međutim, pri velikim deformacijama, što je zapravo i savijanje, te pojednostavljene veze se mogu koristiti samo u funkciji diferenciranja uticaja posmatranih parametara u početnim fazama ispitivanja radi provere radnih hipoteza (Barbier i drugi, 2002; Rättö i drugi, 2011).

2.1.5. Otpornost premaznih papira prema površinskom oštećenju

Odgovarajući kvalitet premaznih papira u pogledu otpornosti prema površinskom oštećenju pri savijanju poslednjih godina predstavlja važan zahtev. Pored estetskih aspekta, otpornost prema površinskom oštećenju pri savijanju ima i funkcionalni značaj prema tome uticajnim parametrima kvaliteta premaznim papirima se mora posvetiti posebna pažnja. Na osnovu aktuelnih istraživanja, uticajne faktore savijanja premaznih papira je moguće podeliti u dve osnovne grupe (Fogra, 2014). U prvu grupu spadaju uticajni parametri izrade, tj. proizvodnje papira kao što su na primer sirovinski sastav baznog papira, veza između baznog papira i površinskog premaza, karakteristike pigmentata i veziva premaza, broj, debljina i mehaničke karakteristike premaza i slično. Drugu grupu uticajnih parametara čine faktori prerade papira sa specifičnostima tehničko-tehnoloških uslova proizvodnje grafičkih proizvoda od štampe preko svih neophodnih operacija završne grafičke obrade (UPM, 2008).

U nastavku je dat sažet literaturni pregled svih značajnijih uticajnih faktora otpornosti premaznih papira prema površinskim oštećenjima iz obe grupe parametara sa posebnim akcentom na metode ispitivanja.

2.1.5.1. Uticajni parametri proizvodnje premaznih papira

Colley (1982a) je predložio sistematski pristup pri upoređivanju zatezne čvrstoće premaznih papira pre i posle savijanja i utiskivanja žljeba. Pomoću predložene metode Colley (1982b) je utvrdio da bazni papir ima veliki uticaj na pojavu ispucalosti premaza i da sa optimizacijom stepena mlevenja vlakana bi se moglo smanjiti, pa čak i potpuno izbeći, površinsku destrukciju pri savijanju.

Prema (Guyot i drugi, 1992) otpornost premaznih papira na površinska oštećenja je povezana sa penetracijom premazne boje u bazni papir i time i sa otpornošću na izvijanje sa unutrašnje strane prevoja. Po njima sa povećanjem penetracije se smanjuju površinska oštećenja. Zaostala zatezna čvrstoća (zatezna čvrstoća papira pre i posle savijanja) je korišćena kao objektivna mera oštećenosti. Pored spomenutog uticaja penetracije, autori su zaključili da sa povećanjem količine premaza povećava se sila kidanja, kako kod savijenih, tako i kod nesavijenih uzoraka. Na osnovu rezultata, autori prema oštećenju koja nastaju u toku savijanja premaznih papira predložili su podelu premaznih papira u četiri grupe. U prvu grupu spadaju papiri kod kojih do deformacije i do oštećenja dolazi samo u premaznom sloju sa spoljašnje strane prevoja. Drugu grupu čine papiri sa manjim oštećenjem baznog papira (pored ozbiljnih oštećenja premaza). Treća grupa predstavlja premazne papire sa intenzivnim prekidom vlakana baznog papira sa spoljašnje strane, dok u četvrtu grupu prezamnih papira su svrstani papiri sa prekidom premaznih slojeva sa obe strane linije savijanja (što prethode oštećenja baznog papira).

Jopson i Towers (1995) su se bavili ispitivanjem povezanosti baznog papira sa slojem premaza upoređivanjem zatezne čvrstoće papira pre i nakon savijanja. Manji gubitak zatezne čvrstoće su povezali sa visokim otpornošću papira prema površinskom oštećenju pri savijanju.

Usporednom numeričkom i eksperimentalnom analizom varijabilnih faktora zatezne čvrstoće savijenih premaznih papira je utvrđeno da na zaostalu zateznu čvrstoću negativno utiče povećanje broja premaznih slojeva, smanjenje debljine baznog papira, povećanje količine veziva (skroba) u premaznom sloju kao i redukcija upotrebe hemijske celuloze u sastavu baznog papira (Rudat i drugi, 1993).

Otpornost papira na površinska oštećenja u toku savijanja uslovljen i debljinom baznog papira. Eksperimentalna ispitivanja u (Barbier i drugi, 2002) su bila usmerena na utvrđivanje dominantnih mehanizama loma u premaznim papirima u toku savijanja. Po rezultatima analize napona preko debljine papira i poluprečnika krivine savijanja, debljina baznog papira ima veliki uticaj na pojavu površinskih deformacija. Mikroskopskom analizom je utvrđeno da pri savijanju dolazi do delaminacije, tj. do raslojavanja baznog papira i to sa unutrašnje strane linije savijanja.

Za detaljniju analizu papira predložili su primenu numeričkih metoda i analizu konačnih elemenata, što su i objavili u (Barbier i drugi, 2005a). Pomenuti autori koristeći numeričku analizu naponskih stanja pri savijanju su došli do zaključka da raslojavanje ne smanjuje značajno napone u površinskom sloju. Pomoću analize konačnih elemenata su nagovestili da brzina i dinamika odvijanja procesa savijanja nema uticaja na konačno naponsko stanje i oštećenja premaza (Barbier i ostali, 2005b).

Mogućnosti optimizacije krutosti pri savijanju premaznih papira i otpornosti na površinska oštećenja pri savijanju su bile analizirane metodom konačnih elemenata i u (Salminen i drugi, 2008a). Pomoću modela obostranog, dvostruko i trostruko premazanog papira sa različitim sadržajem sintetičkog veziva (stiren-butadien lateks) sa različitim modulima elastičnosti je utvrđena najbolja kombinacija broja, debljine i elastičnosti slojeva premaza za maksimalizaciju krutosti a i otpornosti premaznih papira prema površinskom oštećenju. Na osnovu rezultata modeliranja predložen sistem premaza se sastoji od tankog i veoma otpornog predpremaza, debelog sloja manje krutog srednjeg premaza i od tankog i otpornog gornjeg (potkrovnog) premaza. Eksperimentalna istraživanja opisana u (Salminen i ostali, 2008b) su usmerena na standardna ispitivanja krutosti papira prema savijanju i zaostale zatezne čvrstoće (% zatezne čvrstoće papira nakon savijanja), čiji rezultati su potvrdili numeričku analizu. Navedeni rezultati numeričke i eksperimentalne analize su bili potvrđeni i u (Alam i drugi, 2009) pri čemu, pored dvoslojnih i troslojnih u analizu su bili uključeni i jednoslojni premazni papira u cilju dobijanja najveće moguće krutosti pri savijanju i otpornosti na površinska oštećenja pri savijanju.

Rezultati dobijeni u (Salminen i drugi, 2008a-b; Alam i drugi, 2009) su implementirani od strane Yang i Xie (2011) pri realnim proizvodnim uslovima, testirajući uticaj ukupne količine premaza i procenat sadržaja lateksa na otpornost pri savijanju. Premazni papiri su ispitivani pomoću objektivne vizuelne analize oštećenja, razvijene od strane autora. U radu je dat poseban akcenat proveriti primenljivosti te predstavljene vizuelne metode. Na osnovu rezultata probne proizvodnje je utvrđeno da papiri sa većim nanosom premaza, ali sa manjim % masenog udela lateksa u premazu su manje otporni na površinska oštećenja rezultirajući veći procenat ispucale površine. Autori su istakli da je optimizacija količine premaza i lateksa samo jedan od mogućih prilaza unapređenja otpornosti premaznih papira na površinska oštećenja pri savijanju. Sa smanjenjem debljine baznog papira, sa

snižavanjem otpornosti premaza na pritisak, i sa povećanjem elastičnosti premazne boje, mogu se postići isto tako dobri rezultati, mada se značajno smanjuje krutost pri savijanju.

Uticao lateksa sa različitim granulometrijskim karakteristikama i temperaturom kristalizacije je bio predmet ispitivanja i u (Kim i drugi, 2010), gde su pored različitih optičkih i površinskih karakteristika premaznih kartona, analizirane i deformacije i oštećenja pri utiskivanju žljeba i savijanju. Autori su ustanovili da veća površinska hrapavost ukazuje na intenzivniju destrukciju površine premaza pri savijanju i da prisustvo lateksa sa manjim veličinama čestica i sa niskom temperaturom kristalizacije poboljšava otpornost premaza ka površinskom oštećenju. Vizuelna kontrola površinskog oštećenja je vršena mikroskopom uz prateći softver za analizu digitalnih slika, pri čemu su date samo približne vrednosti procenata ispucale površine (bez definisanja veličine posmatrane površine i metodike dobijanja brojevanih vrednosti oštećenja).

U temeljnom istraživanju o uticaju kompozicije premazne boje na ponašanje premaza i na pojavu površinskih oštećenja u procesu utiskivanja žljeba premaznih papira kreda i kaolin su bili korišćeni kao pigmenti u kombinaciji sa 100%-nim lateksom i sa mešanim vezivom 50% lateksa i 50% skroba u različitim ukupnim sadržajem u sastavu premaza (Rättö i Hornatowska, 2010a). Vizuelna analiza ponašanja premaza pri utiskivanju žljeba, koja je vršena pomoću SEM mikrografova, ukazala da na mehanizam stvaranja loma u velikoj meri utiče korišćen pigment: prirodna kreda rezultuje manji broj, sitnijih preloma, normalnih na ravan opterećenja (na ravan premaza), dok kaolin, zbog geometrije pigmenta, daje veće i slojevite linije preloma paralelnih sa ravnom opterećenja. Te razlike su potvrđene i pri analizi veličine površinskih oštećenja određenih kvantitativno primenom jedne verzije objektivne vizuelne metode. Kreda u kombinaciji sa čistim lateksom je rezultovala značajno manja površinska oštećenja u odnosu na kaolin. Posmatrajući uticaj veziva na ispuicalost površine, 100%-ni lateks se pokazao bolji i u kombinaciji sa kaolinom upoređujući sa vezivom mešavine 50% lateksa i 50% skroba. Pored eksperimentalnog ispitivanja u radu su prikazane neke osnovne teorijske analize i pretpostavke o mehanizmu ponašanja samog premaza i premaznog papira pri utiskivanju žljeba i savijanju. Autori svoja istraživanja su proširili i na dinamičke aspekte opterećenja pri savijanju (Rättö i Hornatowska, 2010b). Vizuelnim praćenjem (termokamerom) premaznih papira na aksijalno opterećenje (na zatezanje) ustanovili su da kaolin-bazni premazi kasnije puknu u odnosu na kredu, da 100% lateks vezivo uspori dinamiku kompletnog prekida epruvete, a sa povećanjem sadržaja veziva prolongira inicijaciju površinskog oštećenja i usporava prostiranje linije preloma u premazu. Kvantitativna provera oštećenja je izvršena pomoću objektivne metode opisane u (Rättö i Hornatowska, 2010a). Istraživanje u (Rättö i drugi, 2011) je obuhvatilo SEM analizu nastanka i odvijanja prostiranja linije prekida u premazima različitog sastava pri većim uvećanjima (4500x i 7000x). Upoređivanjem eksperimentalnih rezultata sa teorijskim modelima deformacije i loma pokazalo se da oblik pigmenata u velikoj meri uslovljava mesto stvaranja i način prostiranja loma kroz premaz. Kreda rezultuje površinske naprsline i nastale linije prekida prostiru kroz cele debljine premaza manje-više normalno na ravan premaza. Premazi sa kaolinom imaju tendenciju prostiranja linije prekida pod uglom, a mesto inicijacije prekidne linije može biti i gornja i donja strana premaza. Zbog romboidnog oblika čestice prirodnog kalcijum karbonata (GCC), ona ima izražene osobine izotropnog materijala, dok

kaolin zbog pločaste strukture pigmenta se ponaša više kao ortotropni (u opštem smislu anizotropni) materijal sa smanjenom čvrstoćom u z-pravcu.

Razlike u ponašanju premaznog papira i kartona u procesima savijanja i utiskivanja žljeba u zavisnosti od sastava premaza je predmet analize u (Barbier i drugi, 2012). Istraživanje je obuhvatilo eksperimentalno utvrđivanje površine ispucalosti premaza u procesima savijanja i utiskivanja žljeba, SEM analizu poprečnih preseka prevoja kao i numeričku analizu napona i deformacije u premaznom sloju pri spomenutim operacijama pomoću metode konačnih elemenata. Na osnovu SEM slika i FEM analize utvrđeno je da se pri savijanju papira i kartona javljaju potpuno drugačija opterećenja stoga i deformacije. Kod kartona, pored čistog savijanja silama, smicanje igra veliku ulogu pri deformaciji materijala kod kojeg dolazi do višestrukog raslojavanja kartona, dok kod premaznih papira do raslojavanja dolazi samo po sredini baznog papira i formira se skoro pravilna krivina, što ukazuje da kod tih materijala naponi zatezanja i pritiska su dominantni. Površinska oštećenja pri utiskivanju su više uslovljeni pigmentima (kaolin rezultira veća oštećenja), dok pri savijanju veziva imaju veći uticaj na pojavu pukotina u premazu (premaz u kombinaciji sa 100%-nim lateksom povećava otpornost premaza prema površinskom oštećenju).

Ispitivanje mehaničkih osobina samostalnog, nepodupretog premaznog sloja predstavlja bitan segment za bolje razumevanje površinske destrukcije premaznih papira. Wildberger i Bouer (2008) su putem ispitivanja osnovnih mehaničkih osobina kao i krutosti premaza pri savijanju analizirali uticaj odnosa lateks-skrob veziva i tipa pigmenta na karakteristike mehaničke otpornosti premaza. Rezultati ukazuju da zamena lateksa sa prirodnim skrobom ima veliki uticaj na elastičnost premaza: veći udeo skroba povećava krutost i čvrstoću premaza.

Husband i drugi (2009) su na bazi teorijskih osnova mehanike elastičnih tela (napona i deformacije savijanja) ustanovili da krutost pri savijanju i otpornost pri zatezanju imaju najveći uticaj od svih mehaničkih karakteristika premaza na površinska oštećenja. Stoga su svoja istraživanja usmerili na analizu uticaja oblika kaolinskog pigmenta i procenta sadržaja sintetičkog veziva (stiren-butadiena) na spomenute mehaničke karakteristike. Povećanjem odnosa veličine i debljine pigmenta povećava se zatezna čvrstoća i krutost pri savijanju, dok sa dodavanjem više lateksa u sastav premaza povećava se modul elastičnosti.

Kako raspodela napona u savijenom materijalnom elementu zavisi i od zatezne čvrstoće kao i od čvrstoće materijala pri pritisku (Metz, 2010), stoga ispitivanje premaznog sloja i na kompresiju predstavlja bitan segment analize uticaja proizvodnih parametara na pojavu površinskih destrukcija premaznog papira pri savijanju. Jopson i Trowel (1995) su prvo predložili metodu ispitivanja otpornosti papira prema pritisku sa malim zazorom za ispitivanje mehaničkih osobina premaza. Ponašanje samog premaznog sloja pri kompresiji i zatezanju je tema u (Alam i drugi, 2007), gde su otpornosti na zatezanje i pritisak testirani pomoću kockastih epruveta, a dobijeni rezultati su upoređeni sa različitim matematičkim modelima (Voigt, Reuss i Halpin-Tsa). Po njima, zatezanje ne prati nijednu pomenutu funkciju, dok se za pritisak Voit model pokazao kao primenljiv. U svom istraživanju Puhakka i drugi (2011) su testirali primenljivost ispitivanja samog (nepodupretog)

premaznog sloja prema metodi ispitivanja otpornosti papira prema pritisku sa malim zazorom. Studija obuhvatila uporednu analizu uticaja izbora pigmenta (kaolin, prirodna kreda i sintetički istaložena kreda), odnosno odabira količine i temperature kristalizacije stiren-butadien lateksa na otpornost premaza prema pritisku i prema zatezanju. Na osnovu rezultata je utvrđeno da oblik pigmenta ima izuzetan uticaj na mehaničke osobne premaza: kaolin sa pločastim oblikom pigmenta daje najveću zateznu čvrstoću, dok prirodna kreda sa kockastom strukturom čestica pigmenta smanjuje čvrstoću prema pritisku. Temperatura kristalizacije sintetičkog veziva takođe modifikuje ispitane osobine: sa povećanjem temperature povećava se i otpornost prema pritisku kao i zatezna čvrstoća.

Pored debljine baznog papira (Barbier i drugi, 2002), sirovinski sastav i kompozicija papirne pulpe utiče na površinska oštećenja. Razna mehanička ispitivanja papira su bila primenjena u (Sim i drugi, 2012), u kojem su papiri sa različitim udelom četinarske i lišćarske beljene celuloze i sa različitim stepenima mlevenja datih vlakanaca bili testirani radi analize uticaja vlaknastog sastava i stepena mlevenja vlakanaca baznog papira na otpornost premaznih papira na površinska oštećenja pri savijanju. Pored mehaničkih ispitivanja, uzorci savijenih papira su bili i vizuelno ocenjeni, pomoću digitalne obrade slike. Rezultati vizuelne metode su bile povezane sa rezultatima mehaničkih ispitivanja, radi dobijanja kompletnije slike o posmatranim uticajnim parametrima. Primena smeše lišćarske i četinarske celuloze u odnosu 90:10 se pokazala najotpornije na oštećenja pri savijanju. Povećavanjem stepena mlevenja vlakanaca poboljšaju se mehaničke otpornosti papira, ali ne i otpornost na površinska oštećenja.

Problem oštećenja spoljašnje površine papira pri savijanju se javlja i u drugim granama grafičke industrije. Mogućnosti određivanja sklonosti lajner papira (grupni/zajednički naziv gornjeg, ravnog sloj talasaste lepeneke – u domaćoj literaturi su najviše korišćeni izrazi teslajner i kraftlajner, koji tačno definišu tip i karakteristike ravnog sloja) na površinske deformacije i oštećenja u procesima savijanja kutija putem fizičkih ispitivanja papira su analizirane u (Popil, 2010). Pri ispitivanju sklonosti papira ka površinskoj destrukciji razne metode su bile primenjene, neke već uveliko korišćene i neke nove. Uporednom analizom dobijenih rezultata nekih rasprostranjenih metoda (npr. otpornost na dvostruko savijanje) i predloženih metoda je potvrđeno da predstavljena modifikovana metoda određivanja otpornosti prema prskanju po Mulenu ima dobre potencijale za automatizovanu implementaciju on-line kontrole kvaliteta lajner papira, dok je modifikovana zatezna čvrstoća previjenih epruveta adekvatna za brza laboratorijska ispitivanja.

2.1.5.2. Uticajni parametri grafičke obrade premaznih papira

Carlsson i drugi (1982) su modelirali savijanje papira u cilju utvrđivanja razlike u naponima prilikom savijanja papira sa različitim smerovima vlakanca. Prema rezultatima su zaključili da su naponi veći pri savijanju poprečno na smeru vlakanca (linija prevoja normalna na smer vlakanaca označava poprečno savijanje).

Smer vlakanaca papira po Jopson-nu i Towers-u (1995) je jedan od uticajnih parametara obrade papira na pojavu površinske deformacije u toku savijanja. U svom istraživanju su

zateznu čvrstoću koristili za upoređivanje uticaja smera savijanja na pojavu površinskih oštećenja.

Eklund i drugi (2002) u svom opsežnom istraživanju pomoću vizuelne analize su ispitivali uticaj korišćene tehnike digitalne štampe, nanos boje, površinsku karakteristiku papira (nepremazni, mat i sjajno premazni), smer vlakana, formiranja žljeba, relativnu vlažnost papira kao i primenjen princip savijanja na konačan izgled savijanih papira i na pojave u toku obrade. Među najbitnijim zaključcima su istakli da formiranje žljeba igra bitnu ulogu u postizanju vizuelno prihvatljivog prevoja i da su nepremazni papiri manje osetljivi na površinska oštećenja u toku savijanja.

Barbier i drugi (2002) u svojim ispitivanjima ponašanja premaznih papira sa različitim gramaturama, smera vlakanca pri različitim vrednostima relativne vlažnosti, preko mikroskopskih snimaka su odredili poluprečnike krivina savijanja zatim izračunali napone pri kojima je došlo do površinskih oštećenja. Rezultati su ukazali da su papiri sa većom gramaturom (većom od 100 g/m²) skloniji površinskom pucanju, da anizotropnost baznog papira utiče na pojavu oštećenja pri savijanju, jer papiri imaju različito ponašanje u MD i CD odnosno da povišena relativna vlažnost (RH 86%) nema značajnog uticaja na nivo opterećenja pri savijanju.

Barbier i drugi (2003) ispitivanjem zaostale zatezne čvrstoće su analizirali uticaj štampe sa različitim nanosima (kserografska štampa, crna boja sa 0%, 50% i 100% nanosa) odnosno uticaja formiranja žljeba na pojavu površinskih oštećenja premaznih papira pri savijanju. Na osnovu rezultata su zaključili da različiti nanosi štampe ne utiču značajno na zateznu čvrstoću papira (uzorci su bili klimatizovani pre ispitivanja), dok priprema mesta savijanja formiranjem žljeba značajno smanjuje pojavu oštećenja i da se razlike u zateznoj čvrstoći papira u MD i CD smeru se smanjuju sa povećavanjem registrovanih oštećenja. Pored mehaničkog ispitivanja, autori su koristili i numeričku analizu opterećenja čiji rezultati su u osnovi potvrdili eksperimentalna ispitivanja, mada su istakli da su neophodna dalja usavršavanja modela.

Vizuelna kontrola i ocenjivanja kvaliteta pomoću referentnih površina su korišćene i pri analizi uticaja geometrije primenjenog alata za utiskivanje žljeba kod premaznih kartona štampanih digitalnom štampom sa 400% nanosa crne (Gidlöf i drugi, 2004). Ocenjivanje je vršeno pri kontrolisanim uslovima osvetljenja (D 50) i postavljanja epruveta (savijeni pod uglom od 90°) prema skali ocenjivanja od 1 do 5 (1 – neprimetne naprsline, 5 – jako neprijatna oštećenja). Rezultati su ukazali da je adekvatna primena alata za utiskivanje od presudnog značaja za poboljšanje otpornosti premaznih kartona prema površinskom oštećenju.

Jedna od edukativnih brošura u serijalu svetsko poznatog proizvođača papira Sappi Fine Paper Europe, bavi se problematikom savijanja premaznih papira nakon tabačne štampe (Sappi, 2006). Vizuelnom kontrolom i ocenjivanjem pomoću referentnih slika (na skali od 0 – vrhunski kvalitet do 4 – neprihvatljiv kvalitet) je vršeno testiranje premaznih papira. Posmatrani parametri su: smer vlakana, primena formiranja žljeba, relativna vlažnost papira, štampa i korišćena boja pri štampi. Manje se oštećuje papir u toku savijanja ukoliko se savija paralelno sa smerom vlakana, ako se primeni operacija formiranja žljeba pre

savijanja, pre svega kod viših gramatura, ukoliko se izbegne štampa preko prevoja pogotovo sa UV bojama, lakovima i bojama sa većim sadržajem veziva u boji (svi ti agensi smanjuju fleksibilnost papira i premaza) i ukoliko se ne smanjuje relativna vlažnost papira ispod neke minimalne vrednosti.

Utvrđivanje optimalnih radnih parametara sistema za savijanje u proizvodnim uslovima je tema u (Apro i drugi, 2008), gde su bile praćene promene u pojavi površinskih oštećenja kod premaznih i nepremaznih papira u zavisnosti od modifikacije veličine zazora između valjaka za savijanje. Za potrebe istraživanja bila je razvijena test forma za kontrolu kvaliteta savijanja, a prilikom savijanja epruveta najznačajniji uticajni parametri su uzeti u obzir: površinske karakteristike, gramatura, smer vlakanca korišćenih papira i povećanje polazne veličine zazora valjaka za savijanje. Rezultati su saglasni sa literaturnim nalazima povodom razlike u ponašanju premaznih i nepremaznih papira, smeru vlakanca pri savijanju i debljini papira. Dobijeni rezultati još ukazuju na mogućnost smanjenja oštećenja na papiru sa povećavanjem zazora između valjaka za savijanje, mada su tako smanjene neke funkcionalne performanse mašine (npr: tačnost pozicioniranja i savijanja tabaka kao i nesmetan transport).

Ispitivanjem zaostale zatezne čvrstoće su analizirali uticaj toplotnog opterećenja, tj. IR sušenja u procesu rotacione štampe na savijanje premaznih papira. Sa povećavanjem temperature sušenja, smanjuje se zaostala zatezna čvrstoća i iznad temperature od 130° dolazi i do površinskih oštećenja na liniji prevoja, što su pratili vizuelnom analizom štampanih i savijenih papira uzoraka (UPM, 2008 i 2010).

Prilikom ispitivanja uticaja količine lateksa u premaznom sloju, Kim i drugi (2010) su proverili i uticaj smeru vlakancu na količinu oštećenja koja se javlja prilikom utiskivanja žljeba i savijanja kod prethodno štampanih premaznih kartona (laboratorijska oprema za štampu, 100% cijan boje). Rezultati su u skladu sa literaturnim izvorima: po linijama savijanja paralelnim sa smerom vlakancu bila su značajno manja oštećenja (autori su koristili drugačije označavanje savijanja).

Opširno istraživanje je sprovedeno u (Metz, 2010) sa ciljem unapređenja kvaliteta savijanja premaznih papira predviđenih kako za tabačnu tako i za rotacionu štampu. Analizirane su mogućnosti primene nanošenja različitih funkcionalnih sredstva na površinu premaznih papira pre štampe u cilju povećanja otpornosti prema površinskom oštećenju u procesu savijanja. Istraživanje je obuhvatilo detaljno ispitivanje uticaja tih funkcionalnih premaza na opšti kvalitet štampe, na hrapavost, osnovne mehaničke karakteristike papira, kao i na mogućnost reciklaže. Tip papira (predviđenih za tabačnu ili za rotacionu štampu), gramatura, površinske karakteristike (sjajno i mat premazni), smer vlakancu kao i relativna vlažnost su bili osnovni varijabilni faktori, pri čemu su metode ispitivanja obuhvatile vizuelnu analizu i ocenu kvaliteta na osnovu SEM snimaka, određivanje zaostale zatezne čvrstoće i određivanja topografskog profila linije prevoja pomoću posebno razvijene metode. Prema rezultatima je zaključeno da, iako oštećenja nisu u potpunosti eliminisana, postignuta su značajna poboljšanja u pogledu otpornosti papira prema površinskom oštećenju primenom funkcionalnih premaza (nisu istakli tačno sastav premaza). Predložena metoda određivanja topografskog profila linije prevoja se takođe pokazala adekvatnom (po autoru čak i najboljom) za procenu stepena unapređenja kvaliteta premaznih papira. Autor je istakao da vizuelna kontrola nije bila dosledna zbog

subjektivnosti ocenjivanja (od 1 do 6) i zbog neadekvatne površine prikaza uzoraka putem SEM analize (snimci nisu bili reprezentativni za date materijale). Isto tako je naveo problematičnu primenu određivanja zaostale zatezne čvrstoće zbog nemogućnosti dovoljnog diferenciranja uticaja raznih funkcionalnih premaza. Primenljivost nove, predložene metode nije potvrđena od strane drugih autora.

2.1.6. Metode ispitivanja otpornosti premaznih papira na površinska oštećenja

Na osnovu analiziranih literaturnih izvora o uticajnim parametrima otpornosti premaznih papira na površinska oštećenja pri savijaju moguće je zaključiti da u poslednjih nekoliko decenija objavljeno je veći broj stručnih i naučnih radova sa izučavanjem ponašanja premaznih papira pri savijanju pod različitim uslovima, metodama određivanja kvaliteta savijanja i kontrole kvaliteta premaza, kao i teorijskim osnovama reološkog modela papira kao inženjerskog materijala.

Metode kontrole kvaliteta savijanja prema osnovnoj funkciji se mogu grubo podeliti na metode koje se:

- primenjuju pri proizvodnji papira sa osnovnom razvojnom funkcijom,
- primenjuju pri grafičkoj obradi premaznih papira sa zadatkom kontrole kvaliteta obradnog procesa.

Prema vrsti ispitivanja, korišćene metode se mogu grupisati u sledeće grupe:

Grupa 1 - ispitivanja optičkih, mehaničkih i površinskih karakteristika na osnovu standardnih ili modifikovanih standardnih metoda.

Grupa 2 - računarski potpomognuta analiza putem modeliranja „sistema“ premaznog papira i simulacija odvijanja operacije savijanja i formiranja žljeba radi analize naponskog stanja, opterećenja i deformacije - *u razvoju*.

Grupa 3 - vizuelna analiza sa optičkim instrumentom ili bez njega (lupa, optički mikroskop, SEM, itd.) radi dobijanja kvalitativnih informacija.

Grupa 4 - računarski potpomognuta vizuelna analiza - novi koncept primene vizuelne analize, kao ne-destruktivne metode za objektivno određivanje i okarakterisanje površinskih oštećenja - *u razvoju*.

Kako predmet istraživanja ove disertacije predstavlja unapređenje objektivne vizuelne kontrole površinskih oštećenja premaznih papira u procesu savijanja, u nastavku je data detaljna analiza korišćenih, računarsko potpomognutih vizuelnih metoda.

Primenjene metode dele zajedničku suštinsku osnovu prema kojem su uzorci papira pre savijanja odštampani nekom tamnijom bojom kako bi nakon savijanja oštećenja bila uočljiva i registrovana u obliku belih (ili svetlijih) površina na digitalnim slikama (uzorcima). Šematski prikaz osnovnog principa određivanja je predstavljen na slici 2.14. Razlike se ogledaju pre svega u različitim instrukcijama za pripremu i digitalizaciju uzoraka, a isto tako se varira predmet i veličina površine posmatranja. Podešavanja, kao

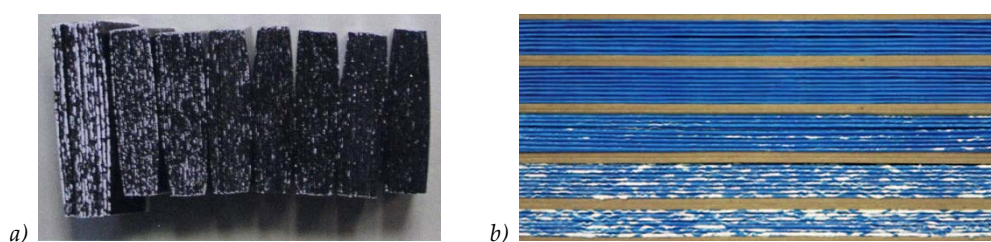
što su izlazne dimenzije slika, rezolucija, prostor boja, uvećanje pri snimanju takođe variraju, onemogućavajući tako upoređivanje rezultata dobijenih u različitim istraživanjima. Uporedna literaturna analiza razlike primenjenih metoda je data u nastavku.



Slika 2.14 – Šematski prikaz toka određivanja količine oštećenja površine premaza papira

Boja štampe

U istraživanjima autori Kim i drugi (2010), Rättö i Hornatowska (2010a), Barbier i drugi (2012), Pál i drugi (2013) su koristili cijan boju i to sa 100%-nim nanosom za obezbeđenje adekvatnog kontrasta za diferenciranje oštećenja. Za istu svrhu u (Barbier i drugi, 2003; Gildöf i drugi 2004; UPM, 2008; Yang i Xie, 2011) je korišćena crna (Slika 2.15a), dok u (Sim i drugi; 2012) crvena boja. Eklund i drugi (2002) su višebojnu štampu primenjivali sa 170% i 320% nanosa boja, dok su Apro i drugi (2008, 2009a-b, 2011, 2013) koristili posebnu test formu sa različitim nanosima cijan i crne boje odnosno sa simulacijom višebojne štampe. Primena cijan boje, kao kontrastne boje, korišćeno je i od strane svetski poznatog proizvođača premaznih papira Sappi Fine Paper Europe (Slika 2.15b), objavljeno u specijalnom izdanju serijala edukativnih brošura, koje se bave problematikom savijanja premaznih papira (Sappi, 2006).



Slika 2.15 – Primeri različitih epruveta za vizuelnu analizu u laboratoriji UPM-a (a) i Sappi-a (b)

Tehnika štampe

Štampanje površine materijalnih uzoraka u više slučajeva je vršeno ofset tehnikom ili simulacijom ofset tehnike, pre svega radi simulacije realnih uslova industrijske proizvodnje (Sappi, 2006; Apro i drugi, 2008; UPM, 2008; Apro i drugi, 2009a-b; Kim i drugi, 2010; Rättö i Hornatowska, 2010a; Apro i drugi, 2011; Yang i Xie, 2011; Barbier i drugi, 2012; Sim i drugi, 2012; Apro i drugi, 2013; Pál i drugi, 2013), mada i tehnike digitalne štampe su prisutne (Eklund i drugi, 2002; Barbier i drugi, 2003; Gildöf i drugi, 2004).

Savijanje

Realizacija savijanja uzoraka varira od primene industrijskih mašina za savijanje raznih konstrukcija, korišćenjem osnovnih principa savijanja (Eklund i drugi, 2002; Sappi, 2006; Apro i drugi, 2008; Apro i drugi, 2009a-b; Apro i drugi, 2011; Pál i drugi, 2012; Apro i drugi, 2013; Pál i drugi, 2013), preko upotrebe uređaja za formiranje prevoja pri kontrolisanim laboratorijskim uslovima (UPM, 2008; Fogra, 2014) i korišćenje mašine za probni otisak ili nekog drugog aparata za obezbeđenje konstantnog pritiska (Yang i Xie, 2011; Sim i drugi, 2012) sve do ručnog savijanja (Gildöf i drugi, 2004) i savijanja pomoću različitih pribora i alata (Barbier i drugi, 2002; Barbier i drugi, 2012).

Sistem za digitalizaciju

Za digitalizaciju materijalnih uzoraka radi dobijanja digitalnih snimaka ciljanih područja neki autori su se opredelili za upotrebu stonog (ravnog) skenera, kako bi obezbedili jednostavnu digitalizaciju celog područja od interesa u visokoj rezoluciji sa sopstvenim osvetljenjem (Rättö i Hornatowska, 2010a; Apro i drugi, 2011; Barbier i drugi, 2012; Sim i drugi, 2012; Apro i drugi, 2013; Pál i drugi, 2013). Radi simulacije polazne subjektivne kontrole i ljudskog doživljaja oštećenja premaza i digitalni fotoaparati su korišćeni u većem broju istraživanja (Eklund i drugi, 2002; Gildöf i drugi, 2004; Sappi, 2006; Apro i drugi, 2008; Apro i drugi, 2009a-b; Apro i drugi, 2011; Apro i drugi, 2013), dok optički mikroskop sa mogućnošću digitalnog zapisa je takođe u upotrebi sa težnjom da se formira što detaljnija slika o savijenim uzorcima sa oštećenjima (Barbier i drugi, 2003; Kim i drugi, 2010; Yang i Xie, 2011). Korišćenje skenera, kao uređaja za digitalizaciju papirnih uzoraka je opisano i u (Gidlöf i drugi, 2004), mada se taj deo ispitivanja je fokusirao na adheziju tonera kod premaznih kartona.

Predmet posmatranja i geometrijski položaj uzoraka

Predmeti posmatranja su takođe različiti: u većini slučajeva je ispitan samo jedan ili dva lista papira u otvorenom (Rättö i Hornatowska, 2010a; Pál i drugi, 2013) ili savijenom položaju sa uglom od 30° (Sim i drugi, 2012), 45° (Yang i Xie, 2011), 90° (Gildöf i drugi, 2004) ili 0° (Barbier i drugi, 2002; Barbier i drugi, 2003; Kim i drugi, 2010) između savijenih listova, dok u nekim drugim radovima je poređano 15-20 potpuno savijenih listova papira formirajući tako veću pravougaonu površinu za posmatranje (Eklund i drugi, 2002; Sappi, 2006; UPM, 2008; Apro i drugi, 2008; Apro i drugi, 2009a-b; Apro i drugi, 2011; Apro i drugi, 2013).

Veličina posmatrane površine

Iako su dimenzije epruveta u većini radova poznate, dimenzije posmatrane površine na njima često su izostavljene u opisu korišćene metode. Površina od 0,8 x 25 mm je analizirana u (Sim i drugi, 2012), od 4 x 25 mm u (Pál i drugi, 2013) zatim dve linije prevoja dužine 29 mm (Rättö i Hornatowska, 2010a) odnosno 31 mm u (Barbier i drugi, 2012).

Broj uzoraka

Eklund i drugi (2002), odnosno Apro i drugi (2008, 2009a-b, 2011 i 2013) zbog specifičnosti površine posmatranja, najmanje 30 uzoraka su pripremili u svakoj kombinaciji savijanja, dok su Gildöf i drugi (2004) ukupno 8 uzoraka analizirali (po 4 savijenih u MD i u CD) a Yang i Xie (2011) po 8 digitalnih uzoraka u oba pravca. U radovima (Kim i drugi, 2010) i (Barbier i drugi, 2012) su definisani samo smer savijanja (u oba smera vlakanca i samo u CD, respektivno), ne i broj uzoraka, dok u (Sim i drugi, 2012) je određen samo broj uzoraka (5) zbog specifičnosti ispitivanja (korišćeni su ručni papiri, kod kojih nema jasno definisan smer vlakanca). Pál i drugi (2013) su analizirali 20 uzoraka po kombinaciji ispitanih parametara.

Definisanje mere oštećenosti površine ili ocena oštećenja

Odabrana veličina za definisanje mere oštećenosti površine može biti procenat (%) zauzetosti površine oštećenja na posmatranoj slici u odnosu na površinu cele slike (Kim i drugi, 2010; Yang i Xie, 2011; Sim i drugi, 2012; Pál i drugi, 2013), odnosno mm² na posmatranom uzorku (Rättö i Hornatowska, 2010a; Rättö i drugi, 2011; Barbier i drugi, 2012). Ocenjivanje prema referentnih uzoraka je korišćeno u (Gildöf i drugi, 2004; Sappi, 2006; Apro i drugi, 2008; Apro i drugi, 2009a-b).

Parametri digitalizacije i softverske analize oštećenja

O samoj proceduri pripreme, obrade i analize digitalizovanih slika nema puno informacija u literaturnim izvorima. U radovima (Rättö i Hornatowska, 2010a; Sim i drugi, 2012) je dat podatak o veličini rezolucije pri skeniranju (2400 dpi), dok primenjen RGB prostor boja pri skeniranju je definisan samo u (Rättö i Hornatowska, 2010a). Naziv softvera za digitalnu analizu slike je objavljen jedino u (Sim i drugi, 2012), u kojoj su autori napomenuli, da se skenirana slika prvo konvertuje u binarnu (crno-beluu), ali procedura odvijanja nije objavljena niti analizirana. Yang i Xie (2011) su izveštavali o veličini uvećanja pri digitalizacije (9.1x) i o načinu određivanja "belih" površina: u nekom softveru za analizu monohromatskih slika sa manuelnim određenim nivoom (praga) sive su definisani regioni od interesa, tj. računanja oštećene površine.

Na osnovu analize aktuelne literature se vidi da primenjene tehnike vizuelne analize količine oštećenja premaznih papira u toku savijanja dele osnovnu ideju objektivnosti metode, ali se u mnogome razlikuju. Sa takvom primenom, rezultati dobijeni u različitim istraživanjima nisu uporedivi, sprečavajući time razvoj i unapređenje tehnologije. Pored toga, nedostajući detaljan opis konkretnih koraka softverske obrade i analize slike takođe predstavlja prepreku u procesu razvoja ove metode. Razne operacije za poboljšavanje kvaliteta slike, tehnike izdvajanja ivica i filtriranja, kao i različiti algoritmi za segmentaciju slike imaju značajan uticaj na konačne rezultate obrade i analize oštećenja premaznih papira pri savijanju. Bez tačno definisanih koraka digitalne obrade, rezultati datih analiza takođe ne mogu biti overeni od strane drugih istraživača.

Prema izloženim se može zaključiti da oblast unapređenja objektivne vizuelne kontrole otpornosti premaznih papira prema površinskih oštećenja u procesu savijanja predstavlja

multidisciplinarnu problematiku, za čije rešenje pored znanja o tehnološkim uslovima proizvodnje grafičke industrije i o specifičnim karakteristikama premaznih papira, moraju se uključiti i saznanja iz oblasti računarskih tehnika i telekomunikacija.

2.2. Softverska obrada slike

Softver predstavlja sastavni deo računarskih sistema i po analogiji određivanja hardvera, kao materijalnog dela računara, softver se može definisati kao nematerijalni deo tog sistema. U opštem smislu, softver je skup računarskih programa i datoteka sa osnovnom namenom realizacije određenih zadataka zahtevanih od strane korisnika. Predstavlja značajnu komponentu u industrijskim, transportnim, medicinskim, telekomunikacionim i ostalim vrstama sistema. Pojmovno, softveri se dele na sistemske (operativni) i aplikativne (korisnički) softvere. Sistemski softveri omogućavaju funkcionisanje računara i sastoje se od operativnog sistema i pomoćnih sistemskih programa. Za razliku od njih, aplikativni softveri imaju specifičnu namenu, tj. služe za izvršavanje konkretnih aktivnosti obrade podataka korisničke potrebe, pri čemu je veoma izražena interakcija sa korisnikom pa se može reći da je izvršavanje programa strogo diktirano od strane korisnika (Heineman i Councill, 2001; Graves, 2008).

Softveri za digitalnu obradu slike od interesa za ovu disertaciju predstavljaju grupu aplikativnih softvera. Softveri opšte namene, čiji osnovni zadatak prikazivanje i obrada slika u računaru na rasterski tj. bitmapirani (BMP, JPG, itd.) i vektorski način (CDR i slično), koriste se za unos slika u računar pomoću odgovarajućeg uređaja (skenera, digitalnog fotoaparata i slično) i njihovu obradu (npr. Adobe Photoshop). Ovi programi imaju mogućnost čitanja slika različitih formata kao i konverziju u neki od formata. Postoji i veliki broj alata za obradu slika (npr.: promena osvetljenosti, kontrasta, različiti efekti, pikselizacija, popunjavanje, itd.). Pored softvera opšte namene, postoje i softveri za naučna računanja i vizuelizaciju, koji pretvaraju apstraktne matematičke pojmove i relacije u vizuelne objekte (npr. MATLAB®, MATHEMATICA®). Takvi softveri su od posebnog značaja u nekom razvojnom procesu, jer za razliku od softvera opšte namene, korisniku daju veću slobodu i kontrolu nad izborom primenjenih algoritama i koraka obrade slike pa samim tim i obezbeđuju veću transparentnost i mogućnost naučne analize dobijenih rezultata. U opštem slučaju, ti softveri uključuju interaktivno okruženje tipa pitanje-odgovor, adekvatan programski jezik, kao i alate za interaktivno kreiranje dokumenata koji sadrži tekst, numeričke izraze i grafiku (Cvetković, 2006; Bojković i Martinović, 2011). Softveri za digitalnu obradu slike, posebno oni koji omogućavaju korisniku kreiranje sopstvenog koda u okviru upotrebe datih softvera, predstavljaju nezaobilazni element sistema digitalne obrade slike opšte namene (González i Woods, 2002).

2.2.1. Digitalna slika

Pod pojmom slike (u tehničkom smislu) se podrazumeva kontinualna funkcija dve promenljive $f(x,y)$. Koordinate x i y su koordinate neke tačke u ravni slike, pa tako predstavljaju prostorne koordinate, dok je vrednost funkcije intenzitet ili nivo sivog na slici

u toj tački (sa koordinatama x,y). Za sliku, za koju postoji samo jedna funkcija intenziteta kaže se da je monohromatska ili slika sivih tonova, koja je ništa drugo, no dvodimenzionalna raspodela intenziteta. Sa diskretizacijom kontinualne funkcije za tu sliku dobija se digitalna monohromatska slika, gde su intenzitet i koordinate x i y imaju diskretizovane vrednosti. Pa tako, digitalna slika predstavlja skup konačnog broja diskretnih elemenata koji se može predstaviti matricom, čiji indeksi vrste i kolona predstavljaju koordinate tačke u slici (x, y), a vrednost matrice u toj tački predstavlja intenzitet ili nivo sivog te tačke. Element slike sa diskretizovanim koordinatama i vrednostima intenziteta se zove piksel ili pel (*engl. picture element*, tj. element slike). Po toj definiciji, digitalne slike se sastoje od velikog broja piksela poređanih u vrste i kolone (Efford, 2000; González i Woods, 2002; Popović, 2006).

2.2.1.1. Formiranje digitalne slike

Sam proces formiranja digitalne slike je vrlo raznolik, a često oblasti primene digitalne obrade slike se vezuju za poreklo analiziranih slika. Najvažniji energetski izvor za formiranje slika je elektromagnetno zračenje i to po celoj širini spektra od Gamma-zračenja (npr. oblast nuklearne medicine i astronomskih istraživanja), preko vidljivog dela spektra (npr. oblast optičke mikroskopije) sve do radio-talasa (npr. primena magnetne rezonance u medicini). Drugi oblici izvora energije, kao što su zvučni (akustični) i ultrazvučni talasi ili elektroni visoke energije su takođe u primeni. Veštačke ili sintetičke slike generisane pomoću računara za modelovanje, simulaciju i vizualizaciju procesa su takođe od velikog značaja u sadašnjem svetu (González i Woods, 2002).

Iz velikog broja navedenih izvora energije može se predviđati da su i tehnike formiranja digitalne slike, odnosno digitalni zapisi vizuelne informacije mnogobrojne. Kako vidljivi deo elektromagnetnog spektra prati sve čovekove aktivnosti, digitalne slike formiranih na osnovu tog vidljivog „sveta“ i njihova primena u raznim procesima ljudske delatnosti je najučestalija. Tehnike formiranja digitalnog zapisa tih prirodnih slika se dele na tehnike digitalizacije fotografija dobijenih analognim putem i direktnim snimanjem digitalnim uređajem. Za obe tehnike se primenjuju principi pretvaranja vidljivog svetla u digitalni zapis sadržaja, a za potrebe tog procesa se najčešće upotrebljeni kamere i skeneri sa odgovarajućim optičkim komponentama kao što su sistemi sočiva i optičkih filtera, odnosno senzorskim elementima poput cevni i poluprovodničkih senzora. Cevni senzori se danas retko mogu susresti, njihova primena je svedena na neke specifične oblasti, dok su poluprovodnički senzori, zbog niza prednosti i niže cene, danas dominantni (González i Woods, 2002; Popović, 2006).

Poluprovodnički senzori su se pojavili sredinom osamdesetih godina. Slike dobijene pomoću tih senzora su bile niskog kvaliteta, ali sa napretkom tehnologije su postali nezamenljiv deo svakog vizuelnog uređaja, čak i televizije. Osnovu poluprovodničkog senzora čini matrica poluprovodničkih senzorskih elemenata, gde svaki element predstavlja jedan piksel (buduće) digitalne slike. Postoji više tipova poluprovodničkih senzora, no najčešće korišćenih su CCD elementi (*engl. charge coupled device*), CID elementi (*engl. charge injection device*), CMOS aktivni elementi (*engl. complementary metal-oxide-semiconductor*), koji se koriste u obliku dvodimenzionalnih matrica. Pored njih postoje još i fotodiode, koje se primenjuju u obliku niza integrisanih elemenata. Kako su CCD i CMOS

senzori od posebnog značaja za predmetnu oblast ove teze, u nastavku sledi njihov opis (Efford, 2000; Popović, 2006).

CCD i CMOS senzori imaju veliku primenu u procesima digitalizacije sveta oko nas. Oni se mogu naći kako u jednostavnim digitalnim fotoaparatom tako i u kompleksim računarskim i telekomunikacionim sistemima, ili pak u medicini. Oba senzora, CCD i CMOS stvaraju sliku na istom principu, a naziv CMOS odnosi se na način proizvodnje ovog senzora a ne na tehnologiju za dobijanje digitalnog zapisa. CCD senzori su silicijumski poluprovodnički senzori, kod kojih se vrši transfer nagomilanog opterećenja od jednog senzorskog elementa do drugog formirajući slike u digitalnom zapisu. Koraci formiranja slike pomoću CCD senzora su: pretvaranje fluksa svetlosnog zračenja u nosioce naelektrisanja (elektroni i parovi elektron-šupljina) na pikselima CCD detektora, prenos naelektrisanja u okviru silicijumske podloge, i pretvaranje naelektrisanja u napon i pojačanje izlaznog signala. Senzori imaju zadatak da svetlost pretvore u elektronski signal, a nakon toga, kasnijom obradom, u digitalnu sliku. Određena količina svetlosti pada na površinu senzora, koja se sastoji od miliona svetlosno osetljivih fotodioda (piksela) i na kojoj se stvara električni napon. Takav napon u stvari je analogni signal koji se pomoću analogno-digitalnog konvertora digitalizuje i zatim šalje glavnom procesoru za slike, u kojem se formira digitalna slika. Ugrađeni čipovi su crno-beli senzori i kao takvi nisu u stanju da registruju boje, nego samo jačinu svetlosti koja pada na njih. Kako bi senzor bio osetljiv na boje, na površinu svakog od njih postavlja se određeni optički RGB (*Red, Green, Blue*) filter odnosno Bajerov mozaik (*engl. Bayer pattern*). Bajerov mozaik ima funkciju da rastavlja upadnu svetlost na tri osnovne komponente (boje): crvenu, zelenu i plavu. Svaki pojedinačni piksel registruje samo jednu boju, dok ostale dve komponente određuju softverski na osnovu algoritma za rekonstrukciju (*engl. demosaik algoritam*). Prednosti CMOS senzora uključuju manju pojavu šuma, smanjenu potrošnju energije, brže vreme odziva i nižu cenu proizvodnje u odnosu na CCD senzore, što predstavlja jedini (ali i najbitniji problem) primene CCD senzora (Efford, 2000; Nakamura, 2006; Smith, 2009).

2.2.1.2. *Formati digitalnog zapisa*

Digitalne slike koje se dobijaju pomoću raznih tehnika digitalizacije imaju rasterski format, kod kojih za prikaz slikovnog sadržaja koriste matricu elemenata slike, tj. piksela. Veličina rastera je definisana rezolucijom, to jest širinom i visinom izraženim u pikselima. Za svaki piksel se čuva informacija o boji. Pikselu može biti dodeljena i vrednost za transparentnost (providnost) i druge meta-informacije. Primeri rasterskih formata su BMP, GIF, JPEG, PNG, TIFF i drugi. Osim BMP formata svi ostali podržavaju neku vrstu kompresije koja može biti sa gubicima ili bez njih. Kompresija slike bez gubitaka (*engl. lossless*) se koristi u uslovima gde je veoma bitno da se originalna informacija sačuva bez promene ili mogućeg gubitka (npr. medicinski snimci, digitalizacija uzoraka za razna istraživanja i slično) mada ovo obično ide na uštrb veličine digitalnog zapisa. Ove datoteke su obično znatno veće od onih kompresovanih pomoću metoda sa gubicima (*engl. lossy*) koje su više rasprostranjene u multimedialnim primenama i na internetu, gde potpuna rekonstrukcija originalnih piksela nije toliko značajna kao veličina datoteke za prenos. Primena izvornih formata digitalnih zapisa ili formata sa kompresijom bez gubitaka u istraživanjima je od posebnog značaja, gde se digitalni zapisi formiraju pomoću različitih tehnika kao što su AF, SEM i BEI mikroskopi, optički mikroskopi sa ugrađenim CCD kamerama visoke rezolucije i

slično (Yam i Papadakis, 2004). Grafički format BMP (*engl. BitMaP*) se koristi pod Windows operativnim sistemom ima ekstenziju .bmp. Naziv bitmap potiče od fraze mapa bitova, jer je u originalnom formatu čuvan samo po jedan bit informacije za svaki piksel. Danas se u ovom formatu može koristiti potpun spektar boja za svaki piksel. Zapis unutar datoteke formata BMP je izuzetno jednostavan i zbog toga pogodan za čitanje iz programskog okruženja. Ovaj format ne koristi nikakvu kompresiju, pa je veličina Bitmap datoteke vrlo velika i zbog toga se danas retko koristi. Format TIFF (*engl. Tagged Image File Format*) je fleksibilan format, koji obično čuva 8 ili 16 bita po boji, tako da ukupno ima 24 ili 48-bitne boje. Koristi se .tiff ili .tif ekstenzija datoteke. Ova fleksibilnost predstavlja istovremeno i prednost i manu, pošto ne postoji program koji čita sve vrste TIFF fajlova. TIFF format nudi mogućnost čuvanja slike na nekompresovan i kompresovan način pri čemu kod kompresovanog načina postoji mogućnost za izbor kompresije sa gubicima ili bez njih (Solomon i Breckon, 2011).

2.2.2. Digitalna obrada slike

Osnovu objektivne vizuelne metode čine operacije digitalne obrade slike i analize površine od interesa. Uopšteno rečeno, primenom operacija poboljšavanja slika (kao što je povećanje kontrasta, linearizacija histograma, prostorno filtriranje za ublažavanje ili izoštravanje slike i slično), formiraju se adekvatni preduslovi za segmentaciju i binarizaciju digitalnih uzoraka materijalnih epruveta (bilo kod materijala) sa kojih se pomoću algoritama za analizu sadržaja slike mogu dobiti relevantne informacije za opis iste kako u kvalitetnom tako i u kvantitetnom smislu (Newman, 1995; Wibowo, 2010; Adhikari i drugi, 2012).

Digitalna obrada slike predstavlja skup metoda za obradu slike pomoću računara, odnosno u širem smislu termina obradu bilo kakvih dvodimenzionalnih podataka. Počeci primene digitalne obrade slike sežu sve do dvadesetih godina prošlog veka, dok sa značajnijom finansijskom podrškom primena počinje sa istraživanjem svemira. Intenzivni razvoj elektronike i računarske tehnike su otvorile mogućnosti primene u medicini, fizici, astronomiji, biologiji, kriminalistici, metalurgiji, geologiji, arheologiji, a u poslednjih decenija i u robotici, kontroli proizvoda u industriji, u sistemima za automatsko upravljanje, tako da se danas za pojam digitalne obrade slike veže i pojam interdisciplinarnosti (Efford, 2000; Popović, 2006).

Ne postoji jasna granica između oblasti digitalne obrade slike i mašinskog vida (*engl. computer vision*). Prema jednoj vrlo uskoj definiciji, digitalna obrada slike se može okarakterisati kao tehnička disciplina u kojoj su i ulazni i izlazni podaci u obliku slike. Međutim, koliko je ova definicija veštački postavljena ukazuje i činjenica da po toj definiciji čak ni određivanje srednje vrednosti intenziteta slike ne bi bilo u domenu digitalne obrade slike. Sa druge strane, u nekim oblastima mašinskog vida osnovni cilj je oponašanje ljudskog posmatranja, uključujući učenje i sposobnost zaključivanja/donošenja odluka kao i preuzimanja odgovarajućih akcija na osnovu vizuelnih ulaznih podataka što već spada u domen veštačke inteligencije (González i Woods, 2002; Popović, 2006). Pored pojmova digitalne obrade slike i mašinskog vida neophodno je pomenuti i pojam digitalne analize slike, koji je isto važan segment primene računarskih resursa u procesima proizvodne industrije.

Digitalna obrada slike prema tome se može definisati kao oblast računarske obrade vizuelnih informacija pri čemu rezultat obrade može biti nova slika (prikazana na neki način) ili neki numerički podatak o obrađenoj slici. Njeno jasno pojmovno diferenciranje od mašinskog vida se može izvršiti na osnovu kompleksnosti operacija uključenih u realizaciju postavljenih zadataka. Pa tako, primenjene računarske tehnike su podeljene u tri grupe ili nivoa po težini zadatka (González i Woods, 2002, Popović, 2006):

- U prvu grupu ili najniži nivo složenosti operacija spadaju najjednostavnije operacije, a to su operacije za poboljšavanje, restauraciju i kompresiju slike, kao i obrada slike u boji. Karakteristično za ovu grupu da su i ulazni i izlazni podaci u obliku digitalnih slika.
- Drugu grupu ili srednji nivo formiraju operacije za segmentaciju, morfološke obrade (kao što su dilatacija i erozija, izdvajanje granice objekta), podele slike na objekte, opis tih objekata u obliku pogodnim za dalju računarsku obradu, kao i njihovu klasifikaciju. Rezultati ovih operacija su generalno atributi ulaznih slika kao što su ivice, konture, pojedinačni objekti i slično.
- Treću grupu čine operacije razumevanja skupa izdvojenih objekata sa konačnim ciljem prepoznavanja tih izdvojenih objekata na osnovu vizuelnog impulsa.

Po savremenim shvatanjima u oblasti digitalne obrade slike spadaju operacije prve i druge grupe, dok je područje digitalne analize slike (*engl. image analysis, image understanding*), stoji između oblasti digitalne obrade slike i mašinskog vida.

2.2.3. Primena digitalne obrade slike

Problematika prepoznavanja oštećenja i praćenje vidljivih površinskih promena kao i kontrole kvaliteta raznih površina je u žiži interesovanja i u drugim granama industrije. Metode detekcija linije prskanja ili pucanja na betonskim elementima građevinskih objekata, na mostovima i putevima, tunelima, na čeličnim konstrukcijama sa slojem zaštitnog premaza protiv korozije, detekcija neujednačenosti teksture i površinskih grešaka u tekstilnoj i drvenoj industriji su samo neki od primera objektivne vizuelne kontrole (Newman, 1995; Strouthopoulos i Papamarkos, 2000; Xia i Hutchinson, 2000; Cheng i drugi, 2001; Shouche i drugi, 2001; Aguilar i drugi, 2004; Bialas i drugi, 2005; Lee i drugi, 2006; Ng, 2006; Takemetoyo i drugi, 2007; Park i drugi, 2009; Chen i Hutchinson, 2010; Wibowo, 2010; Barbieri i drugi, 2011; Adhikari i ostali, 2012). Isto tako, postoji veliki broj uspešnih implementacija računarskih elemenata u kontrolne procese konvencionalnih tehnike štampe kao što je tabačna i rotaciona ofset štampa (Bergman i drugi, 2005; Fahlcrantz, 2005; Shang i drugi, 2007; Englund i Verikas, 2008; Sadovnikov, 2010; Verikas i drugi, 2011) ili pak sito štampe (Hewage, 2011), ali takođe postoje primeri i za digitalnu tehniku (Tchan i drugi, 2000; Streckel i drugi, 2003).

Pregledom literaturnih izvora iz predmetne oblasti je utvrđeno da se vizuelna kontrola oštećenja premaznih papira može povezati tematski sa detekcijom naprslina ili linija prekida materijala (oštećenja koja se javljaju za vreme upotrebe proizvoda ili objekta), detekcijom grešaka u toku proizvodnje (procesna i završna kontrola proizvoda) odnosno sa

kvantifikacijom strukturnih parametara objekata od interesa, koji se dobijaju analizom digitalnih slika. Zbog prostornih ograničenja, u nastavku su dati samo najznačajniji primeri pre svega iz područja kontrole kvaliteta premaznih papira kao i detekcija sitnih, pretežno jednobojskih elemenata.

Strukturne karakteristike premaznih papira predstavljaju takođe značajnu primenu računarskih sistema u papirnoj industriji. Mogućnosti objektivnih analiza debljine nanosa premaza i baznog papira, topografskih karakteristika (Dahlström i drugi, 2008), karakterizacija, distribucija baznih, pomoćnih pigmenata i šupljina u strukturi premaza (McMahon, 2000; Kugge i drugi, 2004; Lucia i drugi, 2006, Gélinas i Vidalm, 2010; Ström i drugi, 2010; Dahlström, 2012), penetracija premaznih materijala u strukturu baznog papira (Kritzinger i drugi, 2011) kao i 3D analiza premaza (Donoser i drugi, 2005) u velikoj meri su unapredili proizvodne karakteristike premaznih papira. Chinga-Carrasco (2002) u okviru svoje doktorske teze se detaljno bavio strukturnim analizama premaznih slojeva LWC papira (lako premazani, srednjefini papiri) pomoću digitalne obrade slika sa SEM mikrofotografima. Pomoću Scion Image programa za obradu digitalnih snimaka koristeći operacije poboljšavanja slike (median filter) i segmentacije (ISO-data) i jednostavne matematičke operacije za određivanje debljine premaza, makro i mikrohrapavosti istih, raspoređivanja korišćenih pigmenata i šupljina u premazu, poroznosti baznog papira i slično. Pored navedenih, bavio se i ispitivanjem uticaja strukturnih parametara premaznih papira na kvalitet reprodukcije i neujednačenost štampe, a svoja istraživanja je nastavio i u narednim godinama (Chinga-Carrasco i drugi, 2008; Chinga-Carrasco, 2011). Za razliku od Chinga-Carrasco (2002), Dahlström (2012) za potrebe svojih istraživanja (mikroskopska analiza ujednačenost premaznih papira) je koristila programske pakete Matlab i ImageJ sa ugrađenim ili sa dopunskim algoritmima za pripremne operacije (linearizacija histograma, segmentacija i slično) i analize digitalnih slika premaznih papira (debljina premaza, distribucija veziva i šupljine u premazu).

Drugi značajan vid upotrebe računarskih sistema jeste analiza efektivnosti uklanjanja boje sa celuloznih vlakana u procesu recikliranja papira, koja oblast svakim danom postaje sve značajnije područje primene. U većini slučajeva se primenjuju operacije digitalne obrade slike sa ciljem kvantifikacija posmatranih parametara i to prema zahtevima postojećih standarda za utvrđivanje količine nečistoće u papiru po TAPPI T437 i T563 (broja vidljivih nečistoća u papiru sa površinom većih od 0.02 mm² detektovanih na posmatranoj površini), ili pak po TAPPI T567 i ISO 9416 (primenjuju indirektnu metodu određivanja efektivne koncentracije zaostale boje pomoću Kubelka-Munk formule). Primena in-line inspekcije (Corcadden i Trepanier, 2006), specifičnosti pri digitalizaciji uzoraka, (Gong i drugi, 2012), primena različitih tretmana u procesima uklanjanja boje (Barbaric-Mikocevic i drugi, 2013) su samo neki od mnogobrojnih primera. Detaljan pregled u datoj temi je dat u (Gong, 2013).

3. Predmet i cilj istraživanja

Predmet istraživanja je objektivna vizuelna kontrola otpornosti premaznih papira prema površinskom oštećenju pri savijanju. Kako površinska oštećenja koja se javljaju pri savijanju, često ne utiču samo na estetski izgled gotovog proizvoda već i onemogućavaju samu upotrebu proizvoda, jasno je da su unapređenje kvaliteta premaznih papira u smislu otpornosti prema površinskom oštećenju kao i procesna kontrola kvaliteta prilikom savijanja od izuzetnog značaja. Prema aktuelnim literaturnim izvorima može se zaključiti da računarsko potpomognuta vizuelna analiza postaje sve značajnija u istraživanjima uticajnih parametara proizvodnje i prerade premaznih papira, ali primena te metode nije uniformisana i kao takva nije adekvatna za automatizaciju niti za integraciju u neki kompleksniji proizvodni sistem. Unapređenje objektivne metode, sa ciljem ponovljivosti merenja i poređenja rezultata, stoga je od velikog značaja.

Osnovni cilj istraživanja je unapređenje objektivne vizuelne kontrole premaznih papira u procesu savijanja pomoću digitalne analize slike. Trenutna primena vizuelne kontrole premaznih papira pomoću računarskih i programskih resursa obuhvata analizu digitalizovanih materijalnih epruveta (slika savijanih papira) u cilju dobijanja jednog parametara za kvantitativno opisivanje oštećenja premaza. Pri trenutnoj primeni vizuelne analize priprema materijalnih uzoraka, predmet posmatranja, način digitalizacije, metode obrade i analize samih slika, kao i mehanizam dobijanja parametra se razlikuje od slučaja do slučaja. Sa unapređenjem objektivne vizuelne kontrole kvaliteta površine premaznih papira, te razlike bi se svele na minimum što bi omogućio veću uniformnost pri izvođenju ispitivanja kao i ponovljivost dobijenih rezultata.

Za realizaciju osnovnog cilja, neophodno je definisati podciljeve istraživanja koja treba da obuhvataju:

- Razvoj metodologije pripreme i digitalizacije materijalnih uzoraka sa posebnim osvrtom na mogućnost opšte primene po mogućnosti svih postupaka radi smanjenja uticaja specifičnosti primenjenih aparata, alata, instrumenata.
- Razvoj automatskog algoritma za pripremnu obradu slika, tj. digitalizovanih uzoraka sa osnovnim zadatkom da konačna, segmentirana slika što preciznije opisuje realnu sliku ispucale površine.
- Definisanje dodatnih objektivno merljivih obeležja digitalizovanih uzoraka radi formiranja potpunije slike o prirodi površinskih oštećenja premaznih papira u toku savijanja.
- Provera primenljivosti predloženih koncepata odvijanja procesa objektivne vizuelne kontrole kroz uporednu analizu rezultata dobijenih pomoću primenjenih i kontrolnih metoda.

3.1. Način rešavanja postavljenog zadatka

Nakon definisanog cilja rada može se pristupiti definisanju načina rešavanja postavljenog zadatka koji treba da se ogleda u izradi detaljnog plana rada teorijskog i eksperimentalnog istraživanja.

Program procesa rešavanja postavljenog cilja treba da obuhvata sledeće:

- Definisanje parametara pripreme uzoraka koji se mogu primeniti u svim odabranim metodama digitalizacije materijalnih uzoraka. U okviru ove tačke, neophodno je utvrditi osnovni skup preduslova koja konceptualno prate izradu materijalnih uzoraka (obojavanje ispitane površine pre savijanja i sam proces savijanja), veličinu posmatrane površine (po mogućnosti treba da odgovara svim metodama digitalizacije), zatim i varijabilne uslove koje se izučavaju u delu eksperimentalna istraživanja kao što je ugao postavljanja i broj uzoraka na slici (pod različitim uglovima se posmatraju samo pojedinačni uzorci, dok kod potpuno savijenih papira se odjednom ispituje više uzoraka).
- Utvrđivanje osnovnih podešavanja sistema digitalizacije za formiranje adekvatnih digitalnih zapisa sa materijalnih uzoraka. Pri definisanju podešavanja potrebno je voditi računa o mogućnosti opšte primene (uslov o nezavisnosti tipa i modela uređaja u datoj kategoriji), kao i o izbegavanju naprednih funkcija primene savremenih uređaja za digitalizaciju, koji su često ugrađeni da olakšavaju svakodnevnu upotrebu ali mogu značajno uticati na rezultate istraživanja (automatsko izoštravanje, kompresija, balans bele, kompenzacija sferne distorzije).
- Razvoj odgovarajućeg algoritama za obradu slike radi dobijanja adekvatne podloge (segmentirane slike) za detaljnu analizu destrukcije površine premaznih papira na konkretnim uzorcima kao i izbor relevantnih obeležja digitalnih slika za primenu u objektivnoj analizi kvaliteta premaznih papira. Formiranje potpuno automatskog algoritma za obradu i analizu digitalizovanih materijalnih uzoraka je jedan od ključnih zadataka ove disertacije. Sa potpuno automatizovanim algoritmom greške sistema, koje potiču od subjektivnosti ljudske interakcije pri analizi, svešće se na najmanji mogući nivo.
- Utvrđivanje podobnosti upotrebe definisanih parametara pripreme i digitalizacije materijalnih epruveta, kao i analiziranih obeležja snimljenih slika vršiće se pomoću uporedne analize dobijenih rezultata objektivne vizuelne kontrole i osnovnih ispitivanja mehaničkih karakteristika premaznih papira među kojima je najznačajnija zaostala zatezna čvrstoća, ali za dodatnu vršiće se određivanje otpornosti na prskanje po Mulenu u dve modifikacije primene.

Definisanje toka eksperimenta i načina uzorkovanja, definisanje adekvatnih statističkih metoda za obradu i analizu dobijenih rezultata kao i njihovo prikazivanje obezbediće podlogu za induktivno izvođenje značajnih zaključaka o hipotezi rada.

3.2. Očekivani rezultati i njihov značaj

Rezultati, koji se očekuju analizom uticajnih parametara pripreme i digitalizacije materijalnih uzoraka na odabrana obeležja analizirane slike (i to sa posebnim osvrtom na statističku značajnost razlike između dobijenih rezultata), formiraće podlogu za odabir optimalnog skupa parametara radi dobijanja kvalitetnih digitalnih uzoraka za dalju analizu. Parametri pripreme i obrade uzoraka će se izvoditi uz precizno definisanje svih neophodnih uslova, kako bi se smanjile merne greške i da bi time dobijeni rezultati mogli što tačnije prikazati stepen primenljivosti pojedinih sistema pripreme i digitalizacije uzoraka, kao analize obeležja slike u konkretnim proizvodnim uslovima. U poređnom analizom rezultata predloženih obeležja digitalnih slika formiranih sa konkretnih materijalnih uzoraka i rezultata osnovnih mehaničkih ispitivanja otpornosti premaznih papira na površinska oštećenja pri savijanju, očekuju se odgovori na pitanja da li su odabrana obeležja reprezentativna za kvantitativnu i kvalitativnu analizu. Faktori determinacije, odnosno Pirsonovi koeficijenti linearne korelacije između rezultata referentnih metoda i vizuelnih ispitivanja, utvrdiće mogućnost primene vizuelne kontrole na bazi digitalne analize slike kao objektivne metode ispitivanja ponašanja premaznih papira u toku savijanja i otpornosti istih na površinsku destrukciju pri povišenim naponskom opterećenju.

Značajnost rezultata se ogleda u unapređenju trenutno primenjene objektivne vizuelne kontrole kvaliteta otpornosti premaznih papira prema površinskom oštećenju. Unapređenjem vizuelne kontrole direktno će se uticati na uniformnost izvođenja eksperimenta i na ponovljivost dobijenih rezultata, što je prvi korak ka standardizaciji procesa i ka integraciji u kontrolni, razvojni i proizvodni proces grafičke i papirne industrije. Pored spomenutih konkretnih primena dobijenih rezultata, predloženi algoritam za pripremnu obradu i analizu digitalizovanih uzoraka, kao i definisana obeležja kvalitativne i kvantitativne analize destrukcije površine obogatiće bazu računarskih i programskih sistema u datoj tematskoj oblasti, pa i šire, i predstavljaće podlogu za dalji razvoj i primenu u drugim segmentima proizvodne industrije.

4. Hipoteza istraživanja

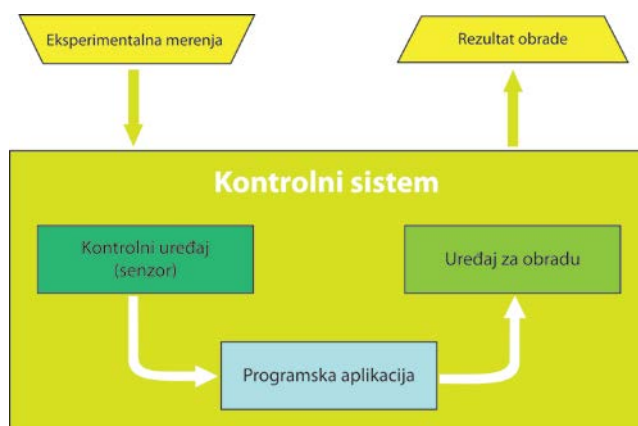
Pregledom aktuelnih istraživanja u oblasti ispitivanja kvaliteta premaznih papira, stečeno je znanje o prethodnim i trenutnim stavovima i shvatanjima u istraživačkoj oblasti, sa posebnim akcentom na ispitivanje ponašanja premaznih papira u toku savijanja primenom različitih metoda ispitivanja površinske destrukcije, odnosno na primeni digitalne analize slike u raznim oblastima procesne industrije u funkciji kontrole kvaliteta. Formirane su osnovne smernice za teorijsko razmatranje (najvažnijih) parametara objektivne vizuelne kontrole premaznih papira kao i pristup unapređenju kvantitativne i kvalitativne karakterizacije površinskog oštećenja premaznih papira u toku savijanja.

Na osnovu rezultata aktuelnih istraživanja moguće je definisati hipotezu istraživanja da je *moguće razviti model objektivne kontrole površinskih oštećenja premaznih papira u procesu savijanja kojim će se unaprediti kontrolni proces u realnim uslovima.*

Za dokaz hipoteze neophodno je realizovati prethodno postavljene ciljeve, stoga eksperimentalna istraživanja će se usmeriti ka utvrđivanju optimalnih parametara pripremnih procesa kao i procesa digitalizacije materijalnih uzoraka, razvoju i testiranju algoritma za pripremu i analizu digitalnih slika, odnosno proveru primenljivosti obeležja digitalnih uzoraka u funkciji objektivno okarakterisane površine čije povezivanje će stvoriti model objektivne kontrole. Za rezultate dobijene i statistički obrađene u okviru eksperimentalnih istraživanja očekuje se doprinos svetskim istraživanjima u tematskoj oblasti.

5. Metodologija istraživanja

Pre nego što se pristupi prikazu plana rada i korišćenih metoda istraživanja dat je osvrt na konačnu funkciju primene objektivne vizuelne kontrole otpornosti premaznih papira na površinska oštećenja u toku savijanja. U poslednjih nekoliko godina upotreba računara i softverskih alata za digitalnu obradu slike omogućila je iskorak u primeni kontrole, kao objektivne metode za procenu i karakterisanje oštećenosti površine premaznih papira pri savijanju. Kao krajnji cilj primene računarskih resursa i programskih aplikacija jeste unapređenje procesa proizvodnje grafičkih proizvoda pomoću in-line kontrole kvaliteta savijanja. Za takav sistem se predviđa autonomno izvršavanje operacija procesne kontrole na osnovu digitalne slike materijalnih uzoraka (formiranih pomoću senzora) uz primenu adekvatnih programskih aplikacija za obradu tih slika i analizu njihovog sadržaja radi dobijanja kvantitativnih i kvalitativnih procena kvaliteta operacija savijanja. Na osnovu tih procena kvaliteta uz pomoć odgovarajuće aplikacije vrši se evaulacija kvaliteta same obrade i po potrebi odgovarajuća podešavanja same obrade. Pojednostavljen prikaz jednog takvog sistema je dat na slici 5.1.



Slika 5.1 – Šematski prikaz primene računarskih i programskih resursa u in-line sistemu procesne kontrole

Za realizaciju datih zadataka je neophodno uključiti odgovarajuće računarske tehnike od kojih neke spadaju u domen digitalne obrade slike, druge u oblast mašinskog vida ili pak veštačke inteligencije. Ukoliko se uz to dodaju i uticajni parametri pripreme materijalnih epruveta, odabira senzora i podešavanja pri procesu digitalizacije kao i formiranja relevantnih obeležja za objektivno definisanje kvaliteta savijanja, lako se uviđa da uprkos jednostavnim šematskim prikazu, složenost problematike uz veliki broj uticajnih parametara prevazilazi mogućnosti i razumne okvire jedne disertacije. Pa tako, u ovoj disertaciji su uključeni samo najznačajniji elementi celog sistema. Eksperimentalna istraživanja metodološki obuhvataju analizu varijabilnih faktora pripremnih procesa kao i procesa digitalizacije materijalnih uzoraka sa ciljem utvrđivanja seta optimalnih parametara pripremnih operacija. Isto tako, u okviru istraživanja je predviđen i razvoj algoritma za pripremnju obradu i analizu digitalnih slika, zatim i definisanje relevantnih obeležja digitalizovanih uzoraka kao i provera primenljivosti predloženih obeležja u funkciji objektivne analize oštećenih površina premaznih papira. Ovde je neophodno

napomenuti da će razvijeni algoritam zadovoljavati osnovne kriterijume postavljene u funkciji jednostavnosti izvođenja digitalne obrade slike i analize sadržaja, odnosno dobijanje brojčanih vrednosti definisanih obeležja. Za konkretnu primenu u realnim sistemima mora se izvršiti odgovarajuća adaptacija algoritma kao i optimizacija procesa.

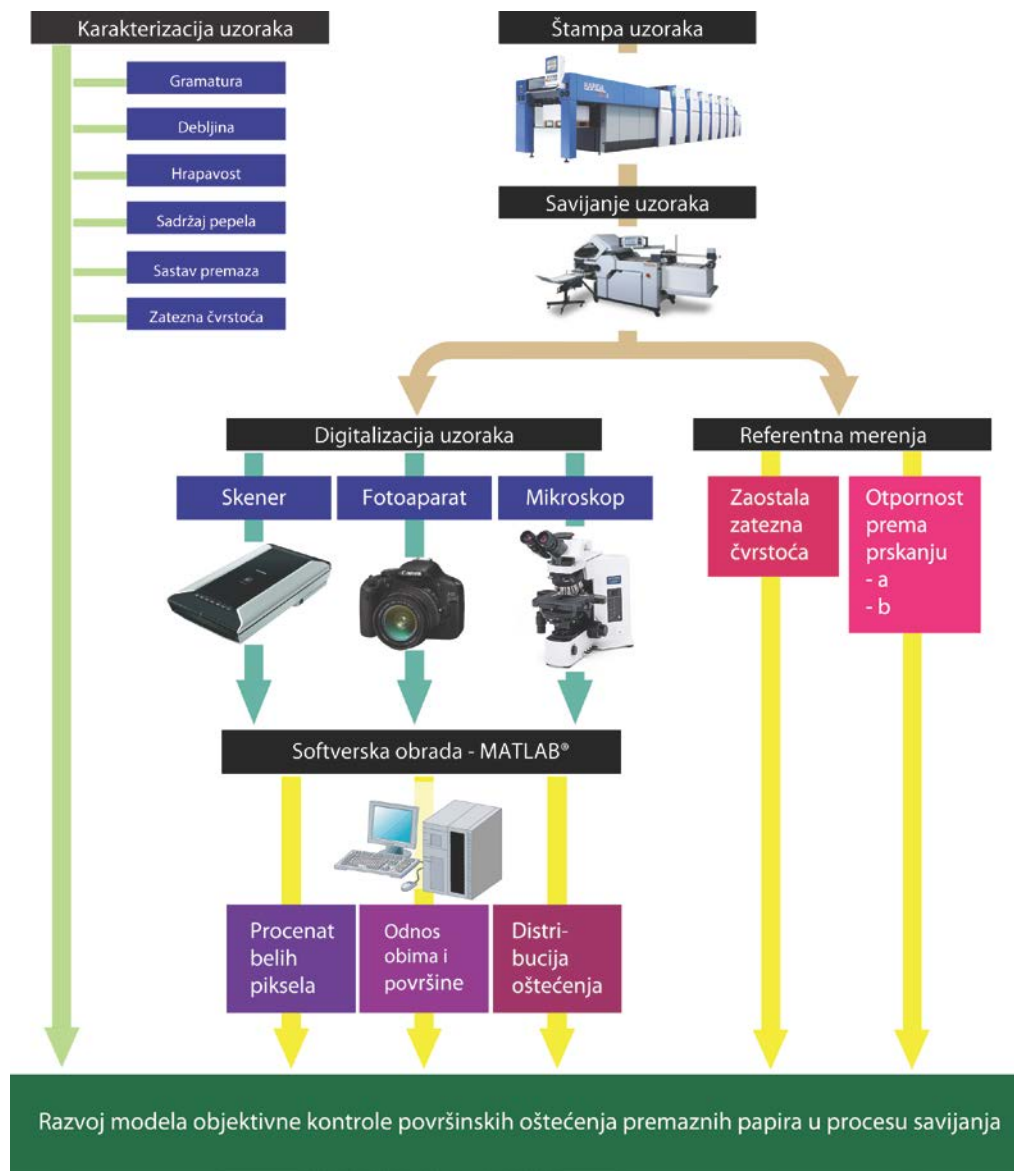
Racionalizacija eksperimenta i tehničke mogućnosti izvođenja nalažu da se određuje osnovni set predefinisanih parametara izrade i digitalizacije materijalnih uzoraka, zatim da se utvrde osnovni zahtevi prema algoritmu za pripremnu obradu i analizu destrukcije posmatrane površine premaznih papira. Izbor relevantnih obeležja digitalnih slika se bazira na strukturi površinskih oštećenja konkretnih uzoraka, ostavljajući prostor za buduće predloge novih obeležja za uzorke premaznih papira sa drugačijim sastavom premaza i baznog papira.

Analiza podobnosti upotrebe varijabilnih parametara pripreme uzoraka, digitalizacije kao i analiziranih obeležja snimljenih slika izvršena je pomoću uporedne analize rezultata objektivne kontrole i osnovnih ispitivanja mehaničkih karakteristika premaznih papira. Nakon eksperimentalne obrade uzoraka i kvantifikacije statističkih značajnih veličina dato je objašnjenje dobijenih rezultata.

5.1. Plan rada i metode istraživanja

Razradom plana rada eksperimentalnog dela formira se struktura potrebnih koraka za realizaciju postavljenih ciljeva istraživanja. Prikaz plana odvijanja procesa je dat grafički na slici 5.2.

Prva faza eksperimentalnog dela obuhvatiće kvantitativnu analizu relevantnih karakteristika materijalnih uzoraka (gramatura, debljina, sadržaj pepela, hrapavost, sastava premaznog sloja i zateznu čvrstoću). Ovim analizama se definišu parametri od interesa kod materijalnih uzoraka u cilju preciznog definisanja polaznih uslova izvođenja eksperimenata. U drugoj fazi, nakon štampe i savijanja uzoraka pristupiće se digitalizaciji, zatim i softverskoj analizi savijenih uzoraka. Paralelno sa digitalizacijom vršiće se i određivanje otpornosti premaznih papira prema površinskom oštećenju pomoću objektivnih ispitivanja mehaničkih osobina papira (zaostale zatezne čvrstoće i otpornosti na prskanje po Mulenu (dve modifikovane metode), formirajući tako bazu referentnih rezultata. U trećoj fazi eksperimenta, pomoću tih rezultata referentnih merenja proceniće se podobnost različitih pripremnih parametara objektivne vizuelne kontrole kao i mogućnosti primene predloženih obeležja digitalizovane slike savijenih premaznih papira u procesima kontrole kvaliteta. Nakon eksperimentalne obrade uzoraka i kvantifikacije statističko značajnih veličina biće data analiza dobijenih rezultata.



Slika 5.2 – Šematski prikaz odvijanja toka eksperimenta

5.1.1. Predefinisani i varijabilni parametri izvođenja eksperimenta

Realizaciji planiranog eksperimenta prethodi utvrđivanje predefinisanih i varijabilnih parametara značajnih za uspešno i racionalno izvođenje eksperimentalnog istraživanja.

Premazni papir

Odabrani set premaznih papira treba da obezbeđuje reprezentativnu promenu površinskih oštećenja usled savijanja papira. Osnovna ideja za rešavanje datog zadatka je uzimanje papira iz iste proizvodne grupe datog proizvođača sa različitom gramaturom. Sa povećanjem gramature povećava se i debljina, stoga i količina očekivanih oštećenja (Barbier i drugi, 2002) kao i smanjenje zaostale zatezne čvrstoće (Colley, 1982a-b; Guyot i drugi, 1992; Rudat i drugi, 1993), tako savijeni uzorci u određenom stepenu trebalo bi da prate

trend linearnog povećavanja pojave oštećenja pri savijanju. Uticaj smera vlakana baznog papira potvrđen je u (Carlsson i drugi, 1982; Sappi, 2006; Apro i drugi, 2008; Kim i drugi, 2010), jer zbog mehaničkog ponašanja baznog papira, očekuju se veće sile zatezanja na spoljašnjoj strani prevoja tako rezultujući veću (ukupnu) površinu oštećenja pri poprečnim savijanjem uzoraka. Prema tim izvorima, analiza smera vlakana odabranih premaznih papira će se uključiti u ovo istraživanje. Prema tehnološkim mogućnostima izvođenja eksperimenta, odabrani papiri su uzeti od komercijalno dostupnog proizvođača papira predviđeni za tabačnu ofset štampu. Predefinisane parametre papira kao ispitanog materijala stoga predstavljaju sastav premaza i kompozicija baznog papira i relativna vlažnost, dok su varijabilni parametri gramatura i smer vlakana.

Boja štampe

Jednoboju štampom polazna bela površina ispitanih papira se priprema za lakše i jednostavnije registrovanje oštećenja usled povećanog kontrasta. Prirodan izbor boje štampe diktirao bi odabir crne boje kao kontrastne boje. Ta boja je korišćena uglavnom pri vizuelnoj kontroli pri proizvodnim uslovima (Barbier i drugi, 2003; Gildöf i drugi 2004; UPM, 2008; Yang i Xie, 2011). Međutim, u digitalnom zapisu, štampana crna boja često ne obezbeđuje potpuno zacrnjenje, pri čemu bi bilo neophodno korišćenje nekog mehanizma za povećanje kontrasta ili ujednačavanje histograma slike. Prednost digitalne obrade slike, pored toga što omogućava objektivne rezultate, jeste mogućnost upotrebe samo jednog kanala digitalizovane slike u boji (u našem slučaju RGB slike) za obezbeđenje potpune crne boje štampe uzoraka. Ta prednost se ogleda u primeni komplementarnih boja RGB i CMYK prostora boja, što su u (Sappi, 2006; Rättö i Hornatowska, 2010a; Kim i drugi, 2010; Barbier i drugi, 2012) odnosno u (Sim i drugi, 2012) i koristili autori za filtriranje štampe u cijan i crvenoj boji. Preliminarne analize su ukazale da bi primena cijan boje bila pogodnija s obzirom na to da je ona osnovna procesna štamparska boja sa standardom definisanim kolorimetrijskim vrednostima, dok bi crvenu boju dobili mešanjem osnovnih procesnih boja (Pál i drugi, 2013). Uz upotrebu cijan boje, jednostavnim izdvajanjem crvenog kanala iz slike u boji u RGB-modu dobija se crno-bela slika sa površinom štampe u apsolutnoj crnoj boji. Pri odabiru štamparske boje, predefinisani parametar je sama boja (cijan) i sastav štamparske boje (tip pigmenta, veziva, rastvarača, punila i ostalih dodataka su nepromenjeni). U okviru ovog istraživanja neće biti analizirani nikakvi posebni varijabilni parametri boje štampe.

Tehnika štampe

Prilikom odabira tehnike štampe za pripreme uzoraka neophodno je proveriti preporuke proizvođača papira. Naime, sastav premaza najčešće ne odgovara svakoj tehnici štampe, već samo za par tehnika, sličnih tehnoloških zahteva, prema tome treba odabrati odgovarajuću tehniku štampe za date papirne uzorke. Kako su odabrani uzorci papira predviđeni za tabačnu ofset štampu, primenjena tehnika štampe će biti tabačni ofset. Plan istraživanja ovoga rada uključuje samo predefinisane parametre odabira tehnike štampe. Odabrana je ofset tehnika, koja odgovara materijalnim uzorcima i svi uticajni parametri štampe, kao što je štamparska forma, procesni parametri štampe, sredstvo za vlaženje, sredstvo za prašenje, klimatski uslovi štampe, itd. su konstantni tokom pripreme uzoraka. Kvalitet štampe će se pratiti po ISO 12647-2 standardu, za tip papira 1.

Savijanje

Po analogiji odabira tehnike štampe, i pri izboru tehnike savijanja trebalo bi polaziti od toga da za koje tehnološke sisteme je dati papir namenjen. Princip savijanja, brzina rada, način ulaganja i izlaganja, površinske karakteristike valjaka za savijanje, linijski pritisak između valjaka za savijanje su neki od mogućih uticajnih parametara jednog složenog sistema za savijanje. S obzirom na ograničenje ispitanih kombinacija eksperimentalnog istraživanja i uslovi savijanja (kao i štampe) su planirano zadržani konstantnim (princip savijanja, brzina rada, ulaganje, izlaganje, pritisak). Jedino podešavanje na konkretnoj mašini za savijanje treba da prati promenu debljine materijalnih uzoraka.

Sistem za digitalizaciju

Za potrebe digitalne obrade i analize, sa pripremljenih materijalnih uzoraka premaznih papira formiraju se digitalni zapisi tj. snimci ciljanih područja (područja od interesa). U okviru ovog istraživanja predviđeno je korišćenje tri različita uređaja za digitalizaciju: digitalni fotoaparat, stoni (ravan) skener i optički mikroskop. Izabrane metode digitalizacije se najviše razlikuju po načinu dobijanja digitalnog zapisa slike i u detaljima vidljivim na formiranim slikama. Tako različiti uređaji digitalizacije obezbeđuju različite izvorne slike, što će sa jedne strane doprineti boljem sagledanju uzoraka, a sa druge strane omogućiće analizu pogodnosti metode digitalizacije. Digitalni fotoaparat daje prikaz savijenih epruveta premaznih papira u sličnom obliku i formatu kako bi ekspertni posmatrač golim okom mogao da vidi, odnosno u neku ruku omogućava simulaciju primene industrijske kamere za automatsku kontrolu. Nepogodnost ove metode je što zahteva difuzno osvetljenje od čega u velikoj meri zavisi kvalitet dobijenih digitalizovanih uzoraka. Ravan skener svojim karakteristikama obezbeđuje digitalizaciju celokupne površine od interesa sa većom rezolucijom od fotoaparata, a istovremeno obezbeđuje i potrebno osvetljenje, te se ovom metodom digitalizacije dobijaju kvalitetni digitalni prikazi uzoraka. Optički mikroskop sa ugrađenom kamerom za digitalni zapis posmatranih površina predstavlja treći planirani sistem za digitalizaciju, jer svojom funkcionalnošću omogućava kvalitativnu identifikaciju posmatrane površine uz najveće uvećanje testiranih uzoraka. Odabir navedenih sistema digitalizacije je vršeno na osnovu literaturnih nalaza (Yam i Papadakis, 2004; Sadovnikov i drugi, 2005; Rättö i Hornatowska, 2010a, Apro i drugi, 2011; Barbier i drugi, 2012; ISO 24790:2012; Sim i drugi, 2012; Apró i drugi, 2013; Pál i drugi, 2013).

Veličina posmatrane površine savijenih uzoraka

Definisanje veličine posmatrane površine je ključni momenat pripreme eksperimenta, jer sa jedne strane mora da pokriva dovoljno veliku površinu za analizu premaznih papira različitih debljina sa stohastičnim raspoređivanjem oštećenja na liniji savijanja, a sa druge strane mora zadovoljiti tehničke uslove digitalizacije kao i adekvatnu digitalnu obradu i analizu slike u realnom vremenu. Na osnovu pregledane literature (ISO 4628-2, 2003; Takemetoyo i drugi, 2007; Rättö i Hornatowska, 2010a; Barbier i drugi, 2012; Sim i drugi, 2012) i preliminarnih radova (Pál i drugi, 2013) utvrđena je površina posmatranja od 1 cm² sa dimenzijama od 4 x 25 mm, koja se usvaja kao predefinisani parametar u ovom istraživanju. Definisana površina u većini slučajeva odgovara postavljenim uslovima pokrivanja što veće, tj. duže površine linije savijanja uz odgovarajuću širinu, čineći

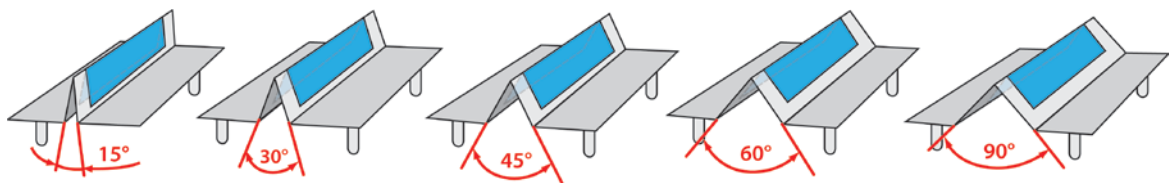
adekvatan „okvir“ i za papire većih gramatura, odnosno ta širina obezbeđuje dovoljan prostor za manipulisanje uzorcima, jer u toku digitalizacije je predviđeno da linija savijanja bude paralelna sa dužom stranom okvira i da se nalazi tačno po sredini, međutim, pri realnim uslovima digitalizacije, takva preciznost se teško postiže. Odstupanja od definisanih dimenzija ciljane površine, zbog tehničkih razloga digitalizacije, se očekuju samo kod optičkog mikroskopa.

Podešavanja pri digitalizaciji i proces odvijanja digitalizacije

Podešavanja sistema i format zapisivanja digitalne slike su ključni parametri procesa digitalizacije u svim sistemima. Preliminarnom analizom je utvrđeno da konstantno i homogeno osvetljenje, isključenje svih naprednih i/ili automatskih funkcija za poboljšanje i modifikaciju izlazne slike, kao i zapisivanje uzoraka u formatu bez gubitaka informacija (BMP, TIFF, RAW ili izvorni-format) moraju predstavljati predefinisane parametre procesa digitalizacije, dok rezolucija digitalnog zapisa ciljanih područja predstavlja varijabilni parametar procesa digitalizacije, jer može uticati na konačan ishod vizuelne analize. Na osnovu literaturnih nalaza u (Sadovnikov i drugi, 2005; Rättö i Hornatowska, 2010a; Barbier i drugi, 2012; ISO 24790:2012; Pál i drugi, 2013) su odabrane sledeće rezolucije skeniranja: 1200spi, 2400spi i 4800spi. Za udaljenosti fotografisanja uzoraka su utvrđene tri dužine i one iznose 12 cm, 21 cm i 30 cm (Yam i Papadakis, 2004). Za optički mikroskop su prvo bila definisana tri najmanja moguća uvećanja od 50x, 100x i 200x, ali preliminarnom analizom je utvrđeno da su uvećanja od 100x i 200x prevelika za dati zadatak. Prema tome, udaljenost snimanja kod optičkog mikroskopa neće biti varijabilni parametar.

Geometrijski položaj postavljanja uzoraka i broj uzoraka na jednoj digitalnoj slici

U pogledu realizacije najjednostavnije u ravnom, nesavijenom obliku postavljati uzorke pri digitalizaciji jer takav položaj ne zahteva neki specijalni držač epruvete (Rättö i Hornatowska, 2010a; Barbier i drugi, 2012; Pál i drugi, 2013), međutim takav položaj ne prikazuje oštećenja u pravom obliku. Savijeni proizvodi u većini slučajeva se koriste u savijenom obliku u kakvom i stižu do potrošača, pa na osnovu toga digitalizacija uzoraka u ravnom položaju tj. sa unutrašnjim uglom od 180° ne može biti reprezentativna. Na osnovu literaturnih izvora je potvrđeno, da pored ravnog postavljanja korišćeni su i drugi, manji unutrašnji uglovi: 0° (Eklund i drugi, 2002; Sappi, 2006; UPM, 2008), 30° (Sim i drugi, 2012), 45° (Yang i Xie, 2011), 90° (Gildöf i drugi, 2004). Po osnovnoj pretpostavci uticaj postavljanja savijenih uzoraka na količinu i površinu detektovanih oštećenja na konačne rezultate digitalne analize je značajan zbog samog izgleda uzoraka savijenih pod različitim uglovima: pri uglu od 0° su oštećenja „najotvorenija“ dok sa povećavanjem ugla, tj. sa otvaranjem savijanih listova, površina oštećenja se postepeno zatvara prema tome unutrašnji ugao postavljanja epruvete pri digitalizaciji predstavlja u ovom istraživanju varijabilni parametar. Analizirani uglovi su: 0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 90° i 180°. Na slici 5.3 su prikazani uglovi 15° - 90°. Broj papirnih epruveta na jednoj digitalnoj slici uslovljen unutrašnjim uglom postavljanja uzoraka pri digitalizaciji: kod potpuno savijenih uzoraka (sa unutrašnjim uglom od 0°) moguće poređati više uzoraka u digitalni „okvir“ (slaganjem uzoraka jedan na drugi), dok kod ostalih uglova (15° - 180°) jedna epruveta će biti digitalizovana na jednoj slici.



Slika 5.3 – Primeri definisanih uglova postavljanja uzoraka pri digitalizaciji

Broj digitalnih uzoraka

Struktura mreže vlaknaca i izražena anizotropnost papira zahteva veći broj uzoraka pri ispitivanju raznih mehaničkih karakteristika. Na primer za određivanje zatezne čvrstoće po standardu ISO 1924-2 se uzima 10-10 uzoraka po smerovima vlaknaca papira. Kako savijanje predstavlja takođe mehaničko opterećenje papira, po analogiji standarda ISO 1924-2, najmanje 10 uzoraka bi trebalo digitalizovati po smerovima savijanja. Međutim, specifičnost premaznih papira, da se stohastično dolazi do površinske destrukcije ukazuje na potrebu analize više uzoraka, jer kako su i rezultati pokazali u (Gildöf i drugi, 2004; Yang i Xie, 2011; Sim i drugi, 2012) relativno mala površina posmatranja sa manjim brojem epruveta (4-8 po smeru vlaknaca) ne može dati reprezentativan set uzoraka za adekvatnu statističku analizu. Preliminarnim analizama je utvrđeno da 20 digitalnih uzoraka predstavlja kompromisno rešenje između tehničkih mogućnosti izvođenja ispitivanja (brzina rada, količina podataka za obradu) i osnovnih zahteva statističkih tehnika u pogledu veličine uzoraka (najčešće grupe sa $n < 30$ su definisane kao male grupe). Broj digitalnih uzoraka prema tome biće predefinisani parametar i iznosiće 20.

5.1.2. Metode ispitivanja osnovnih karakteristika premaznih papira

Ovim metodama se definišu parametri od interesa kod materijalnih uzoraka u cilju preciznog definisanja polaznih uslova izvođenja eksperimenata.

Ispitivanja osnovnih karakteristika odabranih premaznih papira se vrše prema odgovarajućim SRB, ISO i TAPPI standardima. U tabeli 5.1 je dat pregled ispitanih osnovnih karakteristika sa odgovarajućim standardima.

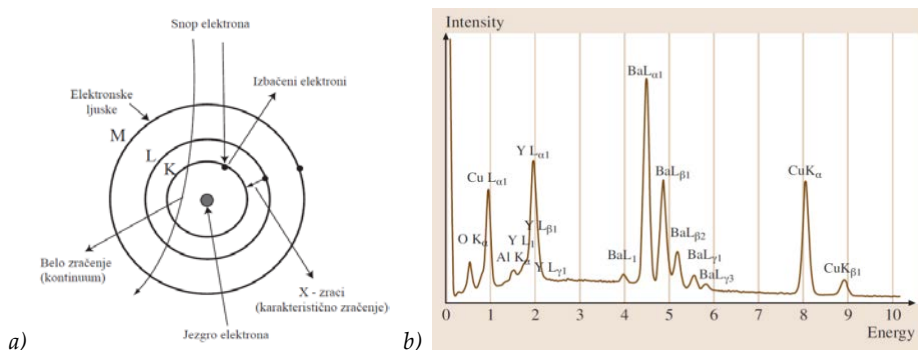
Tabela 5.1 – Ispitane osnovne karakteristike i odgovarajući standardi

Karakteristika	Standard
Gramatura	SRPS ISO 536:1997 - Papir i karton - određivanje gramature
Debljina	SRPS EN ISO 534:2008 - Papir i karton — Određivanje debljine, gustine i specifične zapremine
Hrapavost	SRPS ISO 8791-2:1993 - Određivanje hrapavosti/glatkosti (metode propuštanja vazduha) - Deo 2: Metoda po Bensenu
Sadržaj pepela	T 211 om-93 – TAPPI, Ash in wood, pulp, paper and paperboard: combustion at 525°C
Otpornost prema prskanju	SRPS H.N8.210:1983 – Određivanje otpornosti prema prskanju po Mulenu
Zatezna čvrstoća	SRPS ISO 1924-1:1997 - Određivanje svojstava pri zatezanju - Metoda sa konstantnom brzinom primenjenog opterećenja

Određivanje sastava premaznog sloja se vrši pomoću EDS analize (*engl. Energy Dispersive Spectroscopy* – energetska disperzivna spektroskopija) na SEM (*engl. Scanning Electron Microscope* - skenirajući elektronski mikroskop) mikrografima poprečnih preseka uzoraka premaznih papira (Chinga-Carrasco, 2002; Modgi i drugi, 2006).

Zbog mogućnosti različitih tipova analize, SEM predstavlja jednu od najviše korišćenih metoda za karakterizaciju površine materijala. Opseg uvećanja se kreće od 10x sve do 500.000x ili 1.000.000, a sa detektorom za EDS analizu SEM omogućava i precizno određivanje hemijskog sastava materijala na posmatranoj površini. SEM metoda umesto snopa svetlosti koristi snop elektrona visoke energije za generisanje različitih signala na površini čvrstih uzoraka. Ukoliko elektroni iz snopa izbijaju elektrone iz atoma (spoljašnjih elektronskih omotača atoma) na površini uzoraka nastaju sekundarni elektroni (*SE, engl. Secondary Electron*), dok elektroni iz snopa koji se odbijaju nazad od posmatrane površine postanu elektroni povratnog raspršenja ili odbijeni elektroni (*BSE, engl. Back Scatter Electron*). Podaci o izgledu površine dobijaju se registracijom sekundarnih i odbijenih elektrona. Sekundarni elektroni obezbeđuju prikaz površine u velikoj rezoluciji, pri čemu je kontrast na slici posledica topografije uzoraka. Za razliku od sekundarnih elektrona, odbijeni elektroni sliku uzorka formiraju na osnovu hemijskog sastava uzoraka u nijansama sive gde boje odgovaraju atomskim težinama atoma (Brandon i Kaplan, 2008). Prilikom izbijanja elektrona iz elektronskog omotača atoma, nastaje prazno tzv. vakantno mesto, koje se zatim popuni elektronom iz druge elektronske ljuske više energije pri čemu dolazi do emisije rendgenskih ili X-zraka (Slika 5.4a). Energija tako nastalog X-zračenja je specifična za svaki pojedini hemijski element, stoga je moguće izvršiti hemijsku analizu detekcijom X-zračenja. Ta metoda hemijske analize se naziva energetska disperzivna spektroskopija - EDS. EDS analizom se mogu detektovati atomi sa atomskim brojem od 4 do 92, a područje analize može biti tačka (prečnika 1 μ m), linija ili neka definisana površina (Czichos i drugi, 2006; Brandon i Kaplan, 2008).

Kvalitativnom analizom se teži tome da se odredi prisutnost određenih elemenata u uzorku, temeljeno na njihovim karakterističnim vrhovima unutar dobijenog spektra X-zračenja. Spektar se dobija iscrtavanjem broja X-zraka na vertikalnoj, a energije na horizontalnoj osi. Vrhovi na spektru odgovaraju elementima prisutnim u uzorcima. Na slici 5.4b je dat primer jednog spektra X-zračenja (Czichos i drugi, 2006).



Slika 5.4 – Princip stvaranja X-zraka pri EDS analizi (a) i primer spektra EDS analize (Czichos i drugi, 2006)

Ispitani uzorci za SEM i EDS analizu trebalo bi da imaju elektroprovodljivu površinu kako bi se izbeglo nagomilavanje naboja na površini uzorka, a time i značajna degradacija kvaliteta slike. Na uzorke, čija površina nije elektroprovodna, procesom naparavanja se nanosi tanak sloj zlata, ugljenika, legure zlato-paladijum, volframa, bakra, itd. (Czichos i drugi, 2006; Brandon i Kaplan, 2008).

Metoda EDS analize zbog brzine i relativno pouzdanih rezultata ima vrlo široku upotrebu u raznim istraživačkim poljima, mada kao svaka druga metoda i ona ima nedostatke. Najznačajniji je da usled velikog broja interakcija koje se mogu javljati između karakterističnih X-zraka i atoma uzoraka, ova kvantitativna analiza je vrlo kompleksna (Czichos i drugi, 2006; Brandon i Kaplan, 2008).

5.1.3. Metode ispitivanja otpornosti premaznih papira na površinska oštećenja

Metodama ispitivanja premaznog papira u pogledu otpornosti na savijanje će se dobiti baza referentnih rezultata za procenu podobnosti posmatranih parametara pripreme, digitalizacije, obrade uzoraka kao i mogućnost primene raznih obeležja digitalizovane slike. U nastavku su navedene korišćene metode.

5.1.3.1. Zaostala zatezna čvrstoća

Određivanje zaostale zatezne čvrstoće predstavlja jednu od najčešće korišćenih metoda provere otpornosti premaznih papira prema površinskom oštećenju u procesima savijanja (Colley, 1982a-b; Guyot i drugi, 1992; Rudat i drugi, 1993; Jopson i Towers, 1995; Barbier i drugi, 2003; Salminen i drugi, 2008a-b; UPM, 2008; Alam i drugi, 2009; UPM, 2010).

Osnovna ideja primene zaostale zatezne čvrstoće u funkciji predviđanja sklonosti papira prema površinskom oštećenju dolazi iz odeljenja za rotacionu štampu. Naime, visoke temperature sušenja štamparske boje u kombinaciji sa lakopremaznim papirima niske gramature često prouzrokuju oštećenja papira pri savijanju. Tipična greška prekida papira po liniji savijanja je prikazana na slici 5.5. Operateri rotacionih mašina često su primorani da na licu mesta provere kvalitet, tj. jačinu papira, odštampalog i savijenog tabaka. Prethodno savijeni tabaci se otvaraju po sredini i tako polože na ravnu površinu stola, gde operater rukama pritiskajući sa leve i sa desne strane linije savijanja, rasteže papir, odnosno primenjuje blagu silu zatezanja približno normalno na liniju prevoja. Ukoliko se uz uloženi manji napor tabak razdvoji po liniji savijanja, to je pokazatelj niskog kvaliteta savijenog papira i da će konačan proizvod u velikoj verovatnoći imati funkcionalne greške. Ovo jednostavno subjektivno testiranje je presađeno u metodu određivanja zaostale zatezne čvrstoće pomoću mernih instrumenata (Barbier i drugi, 2003; UPM, 2008; Yang i Xie, 2011; Fogra, 2014).



Slika 5.5 – Izgled greške prekida papira nakon savijanja u rotacionoj štampi (Fogra, 2014)

U (Holik, 2013) je dat opis Brecht-Wesp-ove metode (originalno objavljeno u *Brecht, W. and Wesp, A.: A New Method for Testing Folding Strength, Das Papier 6: 443, 1952*), po kojoj se otpornost na savijanje (ili izdržljivost pri savijanju) takođe može ispitati pomoću zatezne čvrstoće. Po pomenutoj metodi na ispitanim uzorcima, pomoću pari valjaka za savijanje, formira se oštar prevoj i to se ponavlja 50 puta na istom mestu. Nakon toga se odredi zatezna čvrstoća kako savijenih tako i nesavijenih uzoraka, a njihov odnos je definisan kao otpornost na savijanje tj. izdržljivost pri savijanju (Holik, 2013).

Zaostala zatezna čvrstoća se određuje merenjem sile kidanja nesavijenih i savijenih uzoraka papira po ISO 1924-1, i njihovim međusobnim odnosom prema (Salminen, 2009b, izvorno je definisano u metodi Dow EU40):

$$RT = \frac{TS_{savijen}}{TS_{nesavijend}} * 100 [\%] \quad (7)$$

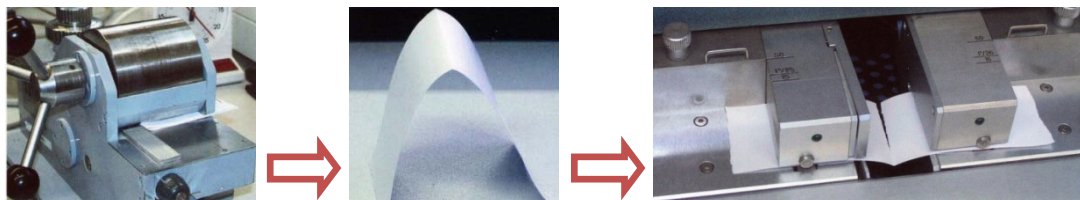
gde je: RT - zaostala zatezna čvrstoća,
 $TS_{savijen}$ - zatezna čvrstoća savijene epruvete,
 $TS_{nesavijen}$ - zatezna čvrstoća nesavijene epruvete.

Mora se napomenuti da se zatezna čvrstoća za papirne proizvode definiše kao sila kidanja po širini epruvete i izražava se u kN/m, za razliku od pojma zatezne čvrstoće u drugim granama proizvodne industrije (gde se maksimalna sila kidanja deli sa površinom poprečnog preseka) (Ek i drugi, 2009; Holik, 2013). Prema izloženom se vidi da je izjednačenje pojmova zaostale zatezne čvrstoće i zaostale sile kidanja opravdano i pored toga što se radi o procentualnom odnosu. Otuda, u daljem tekstu će se koristiti termin zaostala zatezna čvrstoća.

Prilikom izvođenja eksperimenta, jedan set uzoraka se prvo savija (nekom tehnikom) u oba pravca vlakanaca papira (paralelno i poprečno), zatim se određuju sile kidanja i savijenih i nesavijenih uzoraka. Šematski prikaz procesa je dat na slici 5.6.

U ovom istraživanju, merenje sile kidanja će se vršiti prema standardu SRPS ISO 1924-1:1997 (Određivanje svojstva papira pri zatezanju - Metoda sa konstantnom brzinom primenjenog opterećenja). Dimenzije epruveta, i savijenih i nesavijenih uzoraka odgovaraju instrukcijama datog standarda i iznose 15 x 250 mm (za standardno ispitivanje sa

razmakom između čeljusti od 180 mm), pri čemu na uzorcima od savijenih papira, linija prevoja treba da se nalazi približno na sredini epruvete. Predviđeno je testiranje najmanje 20 uzoraka po kombinaciji varijabilnih parametara: gramatura, smer vlakanaca papira, savijanjem/bez savijanja, što će rezultovati ukupno najmanje 400 uzoraka.



Slika 5.6 - Koraci odvijanja procesa određivanja zaostale zatezne čvrstoće nakon savijanja (UPM, 2008)

5.1.3.2. Otpornost prema prskanju

Otpornost papira prema prskanju je izuzetno bitno svojstvo, pre svega, ambalažnih papira. Predstavlja otpornost pritegnute epruvete papira kružnog oblika i definisane površine prema ravnomerno rastućem pritisku koji deluje na jednu stranu epruvete do trenutka probijanja (prskanja). Izražava se u kPa. Pritisak potreban za probijanje epruvete u toku ispitivanja, zavisno od primenjene metode, može se ostvariti pomoću komprimiranog vazduha (metoda po Šoperu (Schopper) i po Dalenu (Dalen) ili gumene membrane i glicerola (metoda po Mulenu) (Perić, 2004; Holik, 2013). Velika prednost ispitivanja otpornosti prema prskanju ogleda se u tome da sa jednom brojčanom vrednošću okarakterise i čvrstoću i elastičnost, kao i izduženje papira.

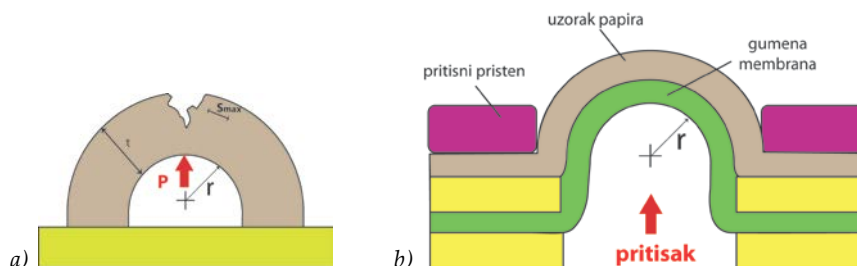
Metoda određivanja otpornosti papira prema prskanju u ovoj disertaciji će se koristiti u dve, modifikovanoj verziji primene:

- Prva modifikovana primena ima zadatak utvrđivanja *veličine deformacije* na spoljnoj površini epruvete radi predviđanja ponašanja papira u procesima završne grafike obrade, pre svega pri savijanju (Popil, 2010).
- Drugi vid modifikacije se odnosi na ispitivanje *otpornosti prema prskanju savijenih epruveta* radi utvrđivanja ponašanja materijala sa definisanim elementom oštećenja (linije prevoja u našem slučaju) (Holik, 2013).

5.1.3.2.1. Određivanje veličine deformacije

Metoda određivanja otpornosti papira prema prskanju u funkciji predviđanja ponašanja papira u procesu savijanja i sklonosti papira prema površinskom oštećenju pri savijanju je odabrana na osnovu literaturnih nalaza. Naime, u istraživanjima koja su bila usmerena ispitivanju otpornosti lajner papira (nepremaznog papira koji se koristi kao spoljašnji sloj kod talasastih lepenki) prema površinskom oštećenju u toku savijanja potvrđeno je da se pomoću ove metode mogu dobiti relevantne informacije o veličini napona na spoljašnjoj strani linije prevoja (Popil, 2010). Podobnost ove metode za određivanje relevantnih

karakteristika premaznih papira se ogleda u sličnosti oblika epruveta pri opterećenju tokom savijanja (Slika 5.7a) i ispitivanja otpornosti prema prskanju po Mulenu (Slika 5.7b).



Slika 5.7 – Šematski prikaz mehanizma stvaranja površinskog oštećenja prilikom savijanja grede (a) i poprečnog preseka uzorka pri određivanju otpornosti prema prskanju po Mulenu

Kao što je na datim slikama predstavljeno, ispitani uzorci se nalaze u savijenom obliku pri određivanju sile pritiska po prskanju. Merenjem sile pritiska pri određivanju otpornosti papira prema prskanju po Mulenu (po standardu SRPS H.N8.210:1983) dobija se podatak o veličini deformacije (ϵ) na spoljašnjoj strani epruvete prema sledećem (Popil, 2010):

$$\epsilon = \left(\frac{rP}{T_{CD} + T_{MD}} \right)^2 \quad (8)$$

gde je: P – pritisak, otpornost prema prskanju,
 r – poluprečnik membrane,
 T_{MD} – zatezna čvrstoća papira u mašinskom pravcu,
 T_{CD} – zatezna čvrstoća papira u poprečnom pravcu.

Neophodno je napomenuti da su razlike između lajner i premaznog papira značajne, kako po sastavu i strukturi, tako i po mehaničkim i obradnim karakteristikama, prema tome mogućnost primene ove metode i kod premaznih papira predstavlja samo teorijsku pretpostavku, što će dobijeni rezultati potvrditi ili oboriti.

5.1.3.2.2. Određivanje otpornosti prema prskanju savijenih papira

Po analogiji zaostale zatezne čvrstoće, i otpornost prema prskanju moguće koristiti u funkciji dobijanja dodatnih informacija o tome kako se ponašaju papiri oštećeni u nekom obliku. U cilju ponovljivosti rezultata, oštećenja moraju biti tačno definisana, npr. u obliku zareza ili kružnog isečka (Holik, 2013). Savijanje i odgovarajuća površinska oštećenja pri savijanju predstavljaju primer kontrolisanog oštećenja papira i čine osnovu za drugu modifikovanu primenu određivanja otpornosti papira prema prskanju po Mulenu.

Mora se istaći, da pomenuta metoda testiranja mehaničke karakteristike sa prethodnim oštećenjem uzoraka, još je predmet diskusije (predložen je nacrt standarda ISO/WGD 15746) (Holik, 2013), međutim, mogućnost primene ove metode je obećavajuća, pre svega zbog činjenice da otpornost papira prema prskanju pokazuje dobru korelaciju sa zateznom

čvrstoćom. Veza između otpornosti papira prema prskanju i zatezne čvrstoće, odnosno izduženja pri kidanju se može aproksimirati prema sledećem (Ek i drugi, 2009):

$$\text{Otpornost na prskanje} = k \left(\sigma_{T,MD}^b + \sigma_{T,CD}^b \left(\frac{\varepsilon_{MD}}{\varepsilon_{CD}} \right)^{0.5} \right) (\varepsilon_{MD})^{0.5} \quad (9)$$

gde je: $\sigma_{T,MD}^b$ - zatezna čvrstoća u mašinskom pravcu,
 $\sigma_{T,CD}^b$ - zatezna čvrstoća u poprečnom pravcu,
 ε_{MD} - deformacija u mašinskom pravcu,
 ε_{CD} - deformacija u poprečnom pravcu,
k – konstanta proporcije, specifičnost materijala.

Postavljena veza ukazuje na to da se otpornost papira prema prskanju može poboljšati povećanjem zatezne čvrstoće i izduženja pri kidanju u mašinskom pravcu, odnosno povećavanjem zatezne čvrstoće ali istovremenim smanjenjem izduženja u poprečnom pravcu (Ek i drugi, 2009).

Uzorkovanje, klimatizacija papira kao i priprema uzoraka za određivanje veličine deformacija će se vršiti po standardima SRPS H.N8.212:1991, SRPS H.N8.207:1983, SRPS H.N8.210:1983, pri čemu je predviđeno testiranje najmanje 10 uzoraka po ispitanim papirima (5 gramatura). Materijalni uzorci za određivanje otpornosti savijenih papira prema prskanju će se prvo savijati paralelno i poprečno na smer vlakana papira, zatim pratiti šablon uzorkovanja, klimatizacije i operacije pripreme definisanih gore pomenutim standardima. Zbog specifičnosti oštećenja premaznih papira u toku savijanja, broj epruveta je povećan na 20 po kombinaciji ispitanih papira (5 gramatura i 2 smera ili pravca vlakana).

5.1.4. Objektivna vizuelna metoda

Cilj digitalne obrade slike je dobijanje kvalitativnih i kvantitativnih opisa oštećenja na osnovu relevantnih obeležja digitalizovanih epruveta. Pošto se obeležja slike računaju, odnosno dobijaju na osnovu binarne slike, gde bele površine označavaju oštećenja a crne polaznu površinu papira, originalne ulazne slike je neophodno segmentirati. Adekvatnim pripremnim operacijama nad originalnom slikom osigurava se razdvajanje površine od interesa od pozadinske površine tako da segmentirana crno-bela slika realno prikazuje oštećenja premaza. Nakon segmentacije originalnih slika formira se binarna reprezentacija materijalnih uzoraka gde su oštećenja površine od interesa, tj. površine oštećenja premaza obeležene belom bojom, dok crna boja predstavlja pozadinsku površinu.

U fazi analize sadržaja binarizovanih slika primenjuju se tri obeležja za kvantitativan i kvalitativan opis detektovanih grešaka. Korišćena obeležja su: procenat belih tačaka ili piksela, odnosa broja tačaka ivice detektovanih oštećenja i ukupnog broja tačaka oštećenja, kao i procenat distribucija detektovanih oštećenja. Kompletan MATLAB kod je dat u prilogima na kraju disertacije (Prilog I).

5.1.4.1. Algoritam za pripremnu obradu i analizu destrukcije površine premaznih papira

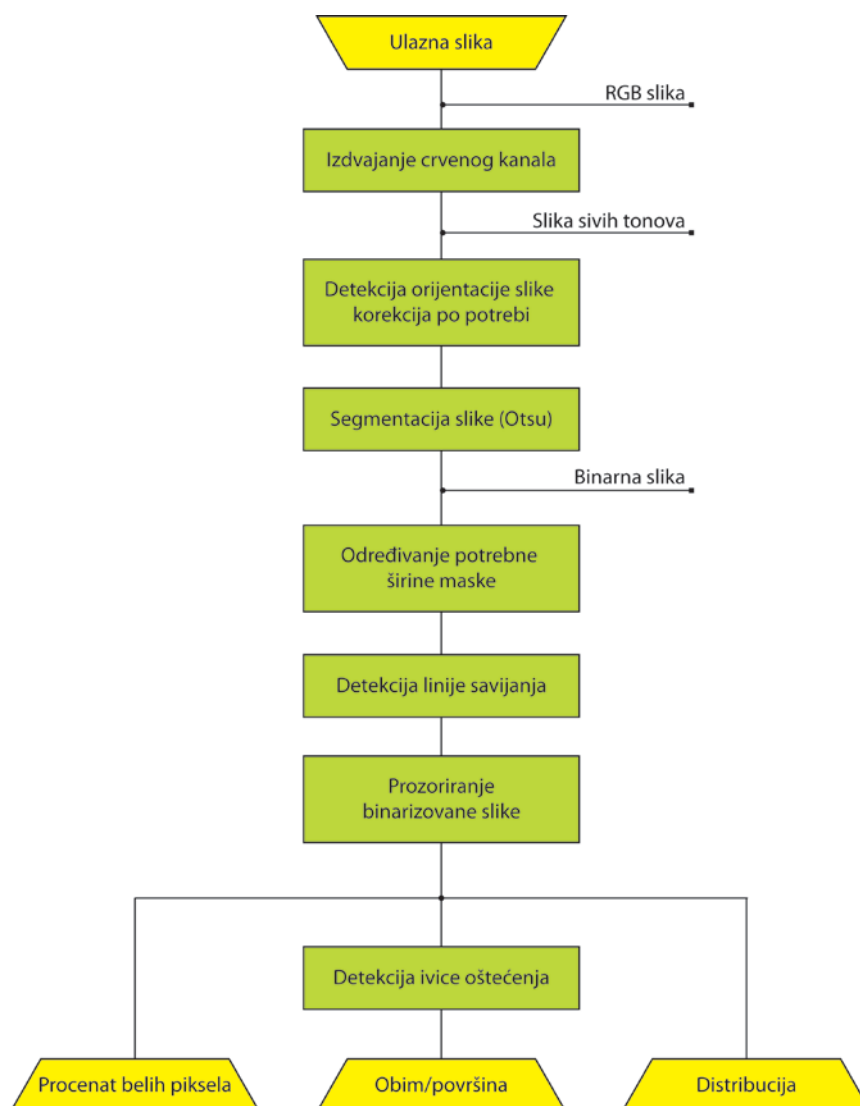
Jedan od osnovnih zadataka ove disertacije je razvoj odgovarajućeg algoritama za pripremnu obradu digitalizovanih epruveta radi dobijanja adekvatne podloge (segmentirane slike) za detaljnu analizu destrukcije površine premaznih papira na konkretnim uzorcima kao i izbor relevantnih obeležja slika u cilju objektivne analize otpornosti premaznih papira prema površinskim oštećenjima u procesu savijanja.

Po analogiji utvrđivanja zahteva prema algoritmu prema specifičnostima zadatka (Sinha, 2000; Malek, 2012), definisani su sledeći:

- autonoman rad,
- potiskivanje šuma,
- verno preslikavanje površinskih oštećenja u binarni oblik,
- računarski što jednostavnije rešavanje datog zadatka.

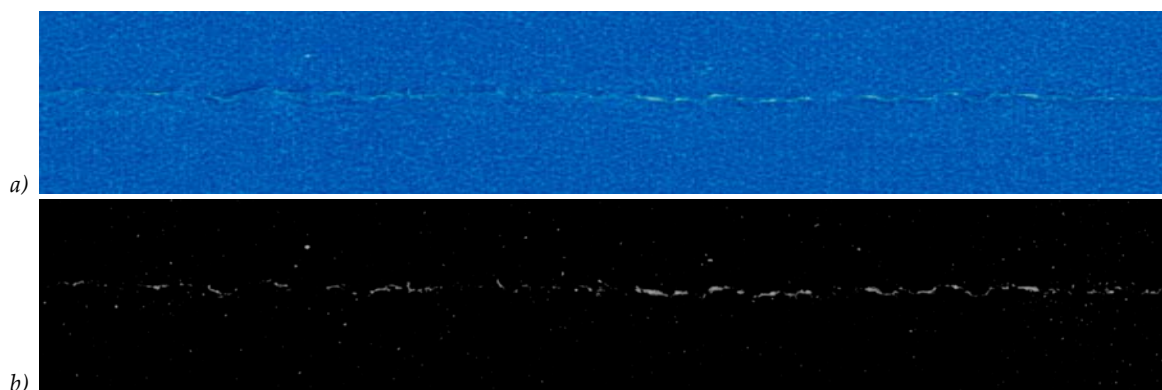
Prilikom razvoja algoritma neophodno je voditi računa o samostalnosti rada u svim koracima obrade i analize. Samostalan rad algoritma je od posebnog značaja, kako bi se smanjile greške sistema koje potiču od subjektivnosti ljudske interakcije pri analizi. Zadaci koji se moraju rešiti autonomnim radom su segmentacija slike sa automatskim određivanjem uslova za segmentaciju, detekcija linije prevoja sa definisanjem tačnog položaja i ugaonog odstupanja od definisane koordinate (u ovom slučaju vertikalne ose), odnosno detekcija orijentacije kao i po potrebi odgovarajuća transformacija slike. Potiskivanjem šuma se obezbeđuje adekvatna podloga za precizno definisanje obeležja slike. Maskiranje detektovane linije ili filtriranje šuma oko linije prevoja sa izdvajanjem regije od interesa su dva moguća pravca potiskivanja šuma na binarnoj slici. Verno preslikavanje površinskih oštećenja sa materijalnih epruveta na crno-beli zapis slike je važan zadatak algoritma. Odabir odgovarajuće metode segmentacije je ključni faktor uspeha pri čemu se po potrebi mogu koristiti razne operacije poboljšanja kvaliteta slike. Algoritam, po mogućnosti, treba da sadrži što jednostavnije operacije nad slikama s obzirom na njihovu očekivanu veličinu, odnosno broj uticajnih parametara (na primer digitalni uzorak skeniran sa rezolucijom od 4800 spi ima veličinu 768 x 4725 tačaka i po jednoj gramaturi, smeru vlakanca i ugla postavljanja planirano je najmanje 20 takvih slika). Na jednostavnost algoritma u velikoj meri se može uticati planiranim sadržajem ispitanih površina. Ukoliko se namenski koristi jedna osnovna ili komplementarna boja, pretvaranje originalne slike u boji u monohromatsku pomoću izdvajanja jednog kanala predstavlja vrlo jednostavnu operaciju nad slikom. Drugi segment sa kojim je smanjena računarska zahtevnost algoritma, jeste primena efikasnog algoritma za detektovanje ivice objekata na binarnim slikama.

U nastavku sledi kratak opis razvijenog algoritma po koracima sa neophodnim elementima pripremnih i obradnih operacija nad analiziranom slikom, te korišćene metode u pojedinim segmentima algoritma, kao i ograničenja primene. Na slici 5.8 je prikazana šema algoritma radi preglednosti opisa strukture.



Slika 5.8 – Šema algoritma za pripremnu obradu i analizu destrukcije površine premaznih papira

Uzorci ispitanih materijala za softversku analizu pomoću razvijenog algoritma moraju biti digitalizovani u RGB prostoru boja i sačuvani u jednom od formata bez kompresije ili kompresije bez gubitaka (BMP ili TIFF). Operacija segmentacije zahteva monohromatsku sliku (*engl. grayscale* – slika sivih tonova), stoga nakon učitavanja originalne slike vrši se izdvajanje crvene komponente ili kanala iz RGB slike. Predmet obojen cijan bojom apsorbuje iz upadnog belog svetla crvenu komponentu, pa aditivnim mešanjem zelene i plave komponente stvara se osećaj cijan boje. Tako, može se reći da pigmenti cijan boje predstavljaju filter za crvenu komponentu bele svetlosti i da crveni kanal se može koristiti kao filter cijan boji. Svi elementi, tj. sve površine obojene cijan bojom, na kanalu crvene boje imaju veoma nisku vrednost reflektanse pa na monohromatskoj slici, dobijene na osnovu crvenog kanala ti elementi biće prikazani crnom ili tamnom sivom bojom. Uporedni prikazi primera originalne slike i izdvojenog crvenog kanala su dati na slici 5.9a i b.

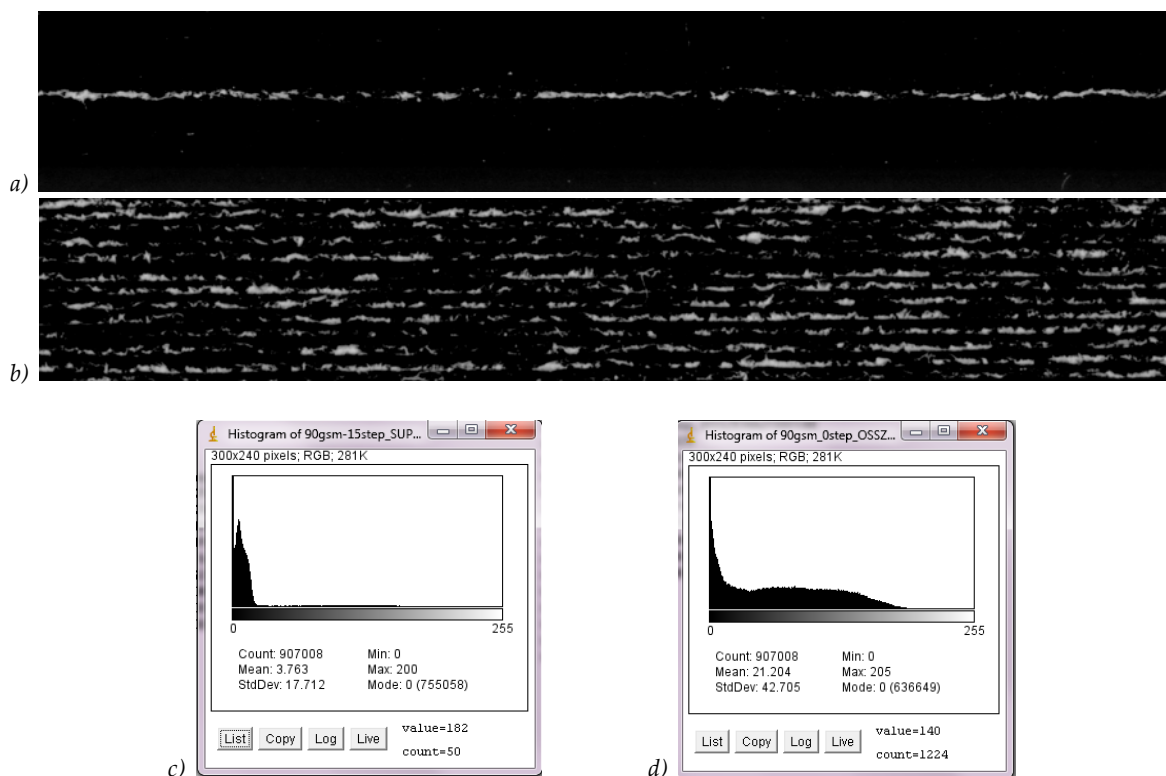


Slika 5.9 – Primer originalne slike u boji (a) i izdvojenog crvenog kanala (b)

Nakon formiranja monohromatskog zapisa slike uzoraka sledi provera njene orijentacije kako bi se osigurala odgovarajuća konfiguracija matrice za digitalnu obradu. Provera se vrši upoređivanjem vrednosti broja kolona i vrsta, i ukoliko za to postoji potreba, vrši se transformacija slike u željeni, uspravni (vertikalni) oblik. Pojedini segmenti algoritma su osetljivi na orijentaciju ulazne slike, tako da je ovaj bitan korak među pripremnim operacijama.

Segmentacijom slike sivih tonova dobija se crno-bela (binarna) slika koja predstavlja ulazni parametar procesa proračuna definisanih obeležja: procenta belih piksela, odnosa obima i površine detektovanih oštećenja kao i distribucije oštećenja. Lako se uočava da je dobra i precizna segmentacija ključni faktor za uspeh pri analizi oštećenja premaza papira. Segmentacijom digitalni uzorci savijenih materijalnih epruveta se konvertuju na takav način da svaka tačka na slici koja pripada regionu grešaka, tj. površinskih oštećenja premaza, dobija vrednost 1 (i tako postaju površina od interesa), a sve ostale tačke dobiju vrednost 0 (i postaju pozadina). Preliminarnim analizama, sprovedenih u pripreмноj fazi istraživanja, izvršena je procena i izbor najpogodnijeg algoritma za segmentaciju čime je utvrđeno da kod datih materijalnih uzoraka, štampanih samo jednom procesnom bojom (osnovnom bojom) algoritam Otsu daje najbolje rezultate za ovu klasu problema. Specifičnost analiziranih slika je da je broj piksela pozadine značajno veći od broja piksela regiona od interesa (površine oštećenja) što rezultira da histogram slike sivih tonova u većini slučajeva unimodalna, bez obzira da li se radi o jednostrukim prikazom (uglovi od 15°- 180°- Slika 4.10a i c) ili o višestrukim prikazom uzoraka (ugao 0° - Slika 5.10b i d).

Na osnovu literaturnih izvora sa sličnim problemima (npr. Sinha, 2000; Rosin, 2001; Rosin i Ioannidis, 2003; Nacereddine i drugi, 2005; Argaw, 2007; Medina-Carnicer i Madrid-Cuevas, 2008; Drobchenko i drugi, 2011), osnovni set algoritama za segmentaciju uključivao i dobro poznate opšte tehnike (Otsu, Kittler, Kapur metode) i alternativne algoritme razvijene za rešavanje problema unimodalnosti histograma (Rosin i Tsai metode). Pomenuti algoritmi, koristeći neki parametar sa histograma analizirane slike (varijansu, entropiju, distribuciju i slično), analitički određuju vrednost praga za segmentaciju čime je ispoštovan jedan od osnovnih zahteva autonomnosti rada razvijenog algoritma (Drobchenko i drugi, 2011; Malek, 2012).

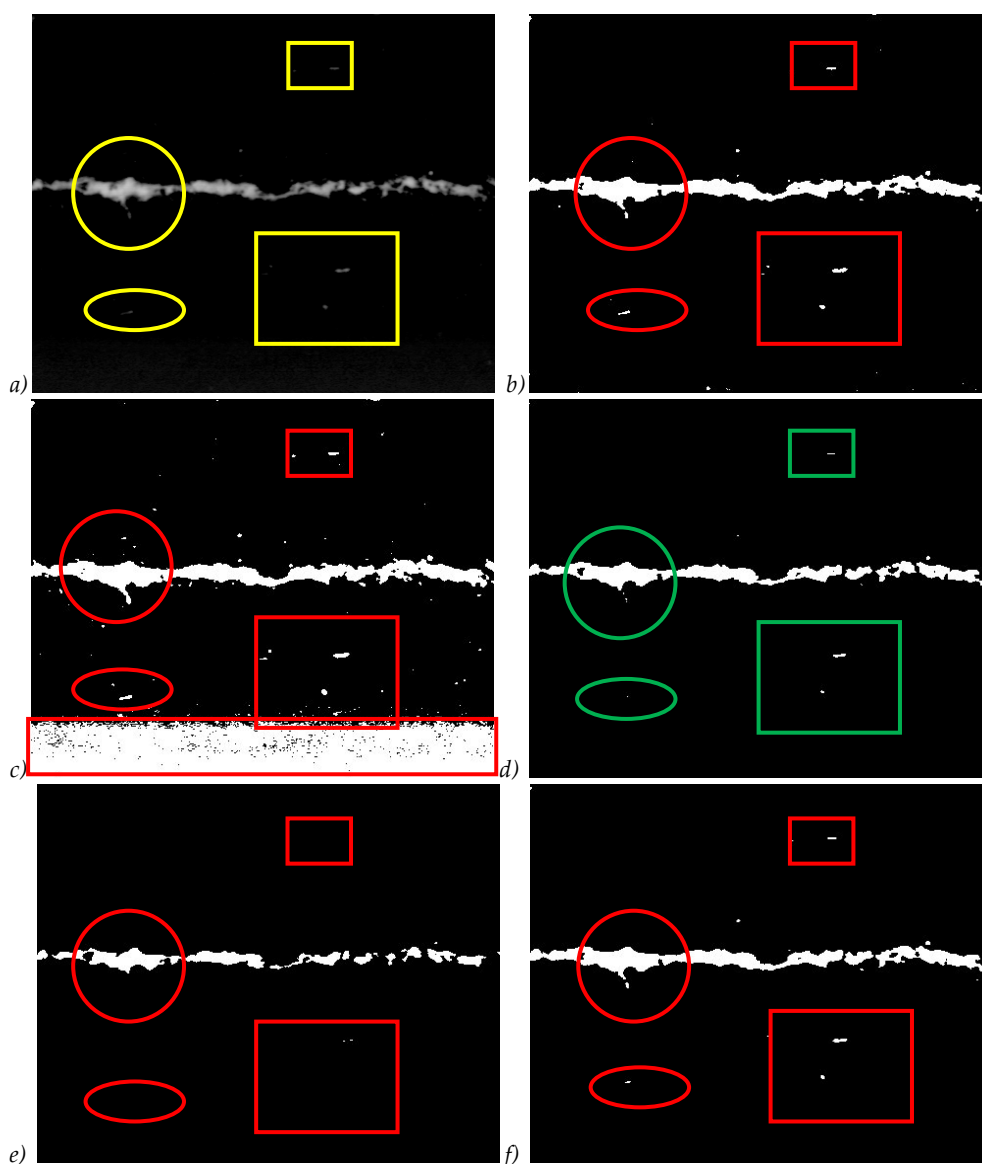


Slika 5.10 – Primeri jednostruko (a) i višestruko (b) digitalizovanih uzoraka sa odgovarajućim histogramima slike sivih tonova (c-jednostruko, d-višestruki)

Uporedni prikaz primera rezultata automatske segmentacije pomoću Kapur, Kittler, Otsu, Thai i Rosin metoda dat je na slikama 5.11 b-f, dok je originalna slika prikazana na slici 5.11a. Žutim elementima su obeleženi neki primeri kritičnih segmenata na originalnoj slici, odnosno crvenim i zelenim elementima su naznačena ta, kritična područja na segmentiranim slikama. Lako je uočiti, da kod metoda Kapur i Kittler, odnosno Rosin, dolazi do prekomerne segmentacije usled niskih vrednosti praga segmentacije, pa na tim slikama, kritični segmenti su veći, dok kod metode Thai, zbog veće vrednosti praga, prilikom segmentacije se izgube fini detalji na slici. Prema prikazanim slikama se može zaključiti da za dati set uzoraka Otsu metod daje ujednačene rezultate segmentacije. Naravno, mora se napomenuti, da u ovoj fazi razvoja algoritma nije bilo moguće izvoditi dublju/detaljnu analizu svih postojećih algoritama za segmentaciju, već je izbor diktiran od strane literaturnih izvora sa sličnim zadacima segmentacije. Po potrebi, kasnijom optimizacijom se mogu primenjivati i drugi algoritmi, podobniji za datu problematiku, ali to prevazilazi mogućnosti realizacije ove disertacije. Detaljnije informacije o Otsu algoritmu se mogu naći u (González i Woods, 2002; Popović, 2006) a primeri njegove uspešne aplikacije su dati u (Sinha, 2000; Argaw, 2007). Otsu algoritam je poznat i što potvrđuje i činjenica, da u Matlab-u, Otsu algoritam predstavlja podrazumevanu tehniku segmentacije slike sivih tonova (određivanje praga se poziva se sa „*graythresh*“ komandom) (González i drugi, 2009; Marques, 2011).

Na dobijenoj segmentiranoj slici, zbog same prirode štampanih uzoraka i pored primene adekvatne metode segmentacije, nastaje određena količina šuma tj. smetnji u vidu belih površina, koja nisu povezana sa oštećenjem premaza, prema tome moraju biti eliminisane koliko god je moguće. Uzrok šuma na skeniranim i fotografisanim uzorcima su pre svega

delovi premaza odvojeni od baznog papira koji su zalepljeni na površinu uzorka negde u blizini linije prevoja, mada i neujednačenost štampe (*engl. mottling*) se takođe primećuje ali pre svega kada se koriste operacije poboljšavanja slike kao što su linearizacija histograma ili razvlačenja kontrasta. Kod mikroskopskih snimaka, zbog primenjenog uvećanja posmatranja, pored delova odvojenog premaza neujednačenost štampe dolazi do izražaja i bez naknadnih operacija poboljšavanja slike. Kako greškom detektovane površine oštećenja utiču na preciznost i ponovljivost merenja, stoga uklanjanje šuma sa segmentirane slike predstavlja bitan korak u procesu pripremnih operacija. U zavisnosti od prirode smetnji na slici, uklanjanje šuma se može izvršiti na više načina (González i Woods, 2002, Popović, 2006), no u ovoj disertaciji su izdvojene dve metode.



Slika 5.11 – Detalj originalne slike (a) i rezultata segmentacije pomoću Kapur (b), Kittler (c), Otsu (d), Thai (e) i Rosin (f) metodama

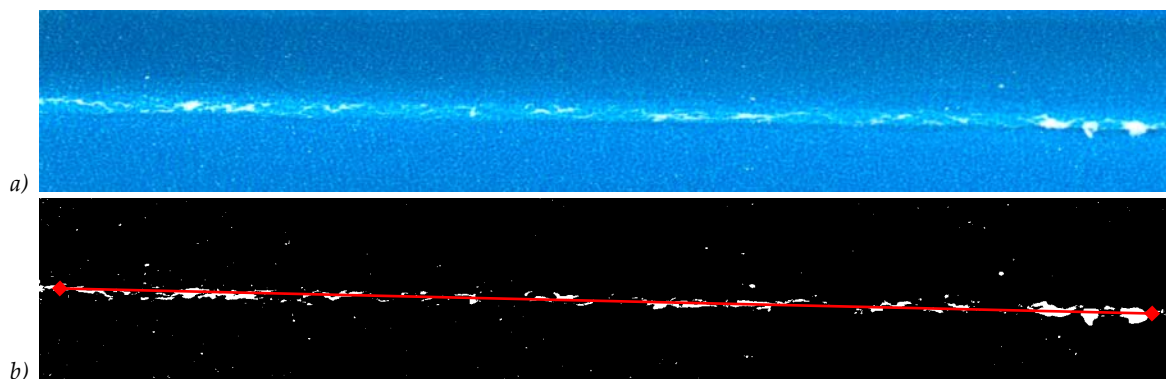
Prva metoda predstavlja prosto filtriranje slike putem Median filtera pomoću kernela, tj. strukturnog elementa odgovarajuće veličine (veličina strukturnog elementa se mora menjati u skladu sa promenom veličine originalne slike, tj. rezolucije digitalizacije). Ova

metoda, iako na prvi pogled deluje kao optimalno rešenje, ipak ima brojnih nedostataka. Prvi nedostatak je mogućnost ukjanjanja korisnih, tj. računski potrebnih piksela sa analizirane slike. Zbog nepostojećih informacija o veličini najmanjeg elementa (najmanje fleke, najtanje linije prekida) izraženog u jedinicama zapisa slike (piksel ili tačka), veličinu strukturnog elementa skoro je nemoguće optimizovati. Naime, ukoliko je strukturni element prevelik, ukloniće korisne detalje sa slike, a ukoliko je previše mali „čišćenje“ slike nije dovoljno efikasno. U oba slučaja manipulacija nad slikom rezultovaće promenjene vrednosti obeležja definisanih za okarakterisanje oštećene površine. Prema tome, ova metoda, iako je jednostavna, neće biti korišćena u pripremnim operacijama kako bi se smanjile greške usled neadekvatnog filtriranja.

Druga metoda ukjanjanje šuma iz okoline linije prevoja, jeste maskiranje linije i brisanje svih elemenata koji su van zone maskiranja. Data tehnika zahteva:

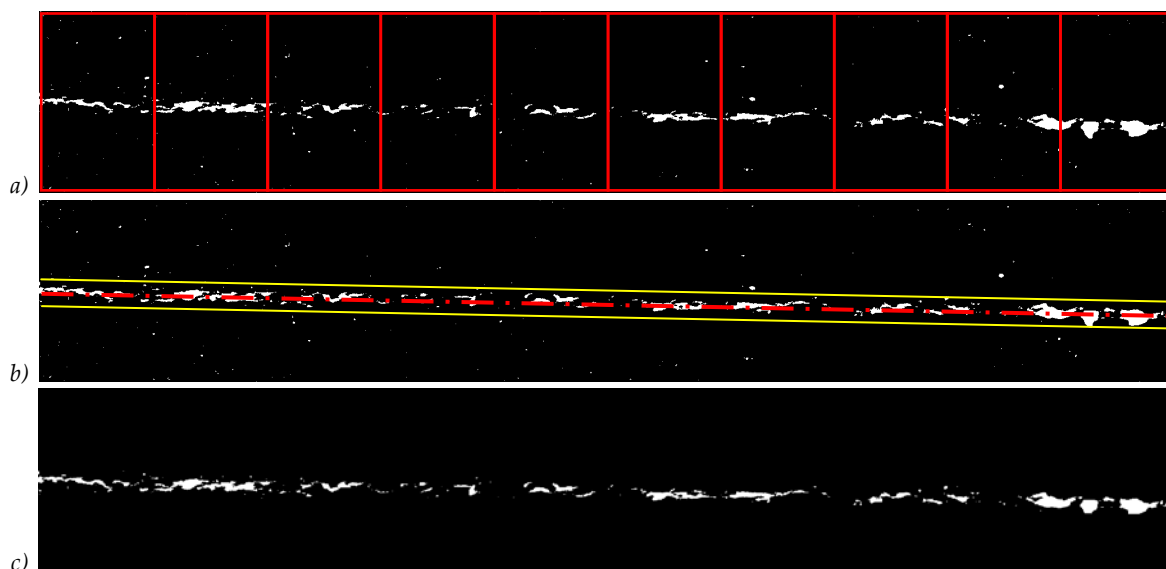
- detekciju linije savijanja, njenu tačnu poziciju i pravac, kao i
- određivanje širine maske, tj. prozora za maskiranje okoline linije savijanja.

Za potrebe ovog istraživanja, detekcija linije savijanja sa preciznim definisanjem pozicije i pravca na slici je korišćena Hafova transformacija (*Hough*), poznat i pod nazivom kao Haf algoritam. Pomenutom transformacijom je moguće detektovati geometrijske objekte (prava linija ili krug) pomoću preslikavanja tačaka tih objekata iz pravouganog koordinatnog sistema u polarni kordinatni sistem (Blackledge, 2005; Popović, 2006). Hough-ovom transformacijom se generiše polarni prikaz analizirane slike, gde presečne tačke tih sinusoida predstavljaju kolinearne tačke na slici u polarnom koordinatnom sistemu. Tako jednostavnim odabirom presečnih tačaka iz Hafovog dijagrama definišu se linije na originalnoj slici. Za datu sliku ispitanog papirnog uzorka, dobija se veći broj detekovanih linija na originalnoj slici, pri čemu najduža (po osnovnoj pretpostavci) odgovara liniji savijanja. Pomoću x-y koordinate početne i krajnje tačke te najduže linije dobija se jednačina prave i time je jednoznačno definisan položaj i pravac linije savijanja (Popović, 2006). Velika prednost date tehnike da se jednostavno mogu detektovati linije prevoja i na krivo, tj. koso postavljanim uzorcima. Primer fotografije savijenog uzorka papira sa takvom kosom linijom prevoja je dat na slici 5.12a, dok je na slici 5.12b je prikazana segmentirana slika sa detektovanom linijom prevoja.



Slika 5.12 – Izgled koso postavljenog uzorka pri digitalizaciji (a) i segmentirane slike nakon primene Hafove transformacije sa detektovanom linijom prevoja (b)

Za definisanje širine prozora, tj. maske, polazna segmentirana slika se deli na 10 delova po dužoj strani i za svaki deo (segment) se odredi širina zone oko linije prevoja (Slika 5.13a). Nakon toga sledi određivanje srednjih vrednosti tih širina pomoću metode ponderisanog proseka (*engl. weighted average*), gde se uzima u obzir količina belih tačaka po segmentima u odnosu na celu sliku. Srednja vrednost širine zone prema tome prati količinu oštećenja: segment sa više registrovanih belih piksela će imati veći uticaj na konačnu vrednost širine maske. Za maskiranje segmentirane slike zatim se uzimaju informacije o poziciji linije savijanja i za svaki red analizirane slike se definiše tačka (piksel) kroz koju prolazi linija prevoja (na osnovu jednačine detektovane linije) i koja će tako predstavljati središnu tačku (piksela) maske za taj red. Sa obe strane tog piksela, definiše se širina maske, koja odgovara polovini ponderisane prosečne širine zone po segmentima slike (Slika 5.13b). Nakon formirane maske, pristupa se brisanju svih elemenata van zone maskiranja (običnom operacijom množenja dve slike). Rezultat množenja segmentovane slike i maske je prikaz detektovanih oštećenja u neposrednoj blizini linije savijanja, dok je šum u široj okolini linije savijanja u potpunosti uklonjen. Dobijena binarna slika detektovane linije savijanja (Slika 5.13c) sa realnim oštećenjima predstavlja podlogu za formiranje brojčane vrednosti relevantnih obeležja definisanih u nastavku.



Slika 5.13 – Definisane zone pri utvrđivanju širine maske za ukljanjanje šuma oko linije savijanja (a), postavljena maska na liniju savijanja (b) i detektovana linija savijanja bez okolnog šuma na slici (c)

5.1.4.2. Obeležja slike

Obeležlja definisana u okviru ove disertacije uključuju softversku analizu binarizovane slike materijalnih epruveta pomoću precizno definisanih matematičkih uslova opisanih u nastavku. Kako su oštećenja na digitalnim uzorcima obeležena belom bojom, prilikom definisanja i proračuna obeležja binarnih slika, za razliku od uobičajene prakse, bela boja je usvojena za vrednost 1, dok crnoj boji, boji pozadine odgovara vrednost 0.

5.1.4.2.1. Procenat belih tačaka – piksela

Procenat belih tačaka ili piksela je procentualni iskaz količine tačaka koje pripadaju regionu od interesa, tj. beloj površini binarne slike (*engl. white pixel percentage – WPP*) i predstavlja kvantitativni opis oštećenja premaza. Računa se kao količnik broja belih tačaka i ukupnog broja tačaka na slici (Sim i drugi, 2012):

$$WPP = \frac{|BP_{\text{oštećenja}}|}{(|BP_{\text{oštećenja}}| + |BP_{\text{pozadine}}|)} * 100 \quad [\%] \quad (10)$$

gde je: $|BP_{\text{oštećenja}}|$ - broj piksela površine detektovanih oštećenja (u posmatranom regionu),
 $|BP_{\text{pozadine}}|$ - broj piksela pozadine.

S obzirom da digitalni uzorci predstavljaju sliku materijalnih uzoraka veličine od 1cm², rezultati dati u procentima se lako pretvore u jedinice površine, npr. u mm², kako je predstavljeno u (Rättö i Hornatowska, 2010a; Rättö i drugi, 2011; Barbier i drugi, 2012). Sa fiksiranjem površine posmatranja je obezbeđena mogućnost uporedne analize preciznosti i primenljivosti različitih podešavanja pripreme uzoraka i digitalizacije istih sa različitim rezolucijama i uvećanjima, i to ne samo u okviru ove disertacije, već i u budućim istraživanjima. Neophodno je napomenuti, da zbog specifičnosti kreiranja digitalnog zapisa sa uzoraka u potpuno zatvorenom obliku (više uzoraka je poređano jedan uz drugi), vrednost procenta belih piksela se deli sa brojem listova prisutnih na slici.

5.1.4.2.2. Odnos obima i površine registrovanih/detektovanih oštećenja

Drugo obeležje je kvalitativno obeležje i predviđeno je da daje objektivnu vrednost usitnjenosti detektovanih oštećenja pomoću odnosa broja tačaka ivice detektovanih oštećenja i ukupnog broja tačaka oštećenja na posmatranoj slici (*engl. crack line ratio - CLR*) prema sledećem:

$$CLR = \frac{|BP_{\text{obima}}|}{|BP_{\text{oštećenja}}|} \quad (11)$$

gde je: $|BP_{\text{obima}}|$ - ukupan broj piksela obima svih površina detektovanih oštećenja,
 $|BP_{\text{oštećenja}}|$ - ukupan broj piksela površine detektovanih oštećenja na posmatranoj slici.

Što je vrednost odnosa obima i površine bliža 1, ima više manjih oštećenja, jer su površine pojedinačnih detektovanih oštećenja male i tako broj tačaka obima konvergira broju tačaka površine, pa i njihov odnos prema 1. Ukoliko je vrednost odnosa obima i površine bliža 0, to označava prisustvo krupnijih i/ili povezanih oštećenja.

Detektovanje ivica belih površina je izvršeno pomoću strukturnog elementa (K) kvadratnog oblika sa 3x3 piksela sa sledećim indeksiranjem elemeneta:

$$K = \begin{bmatrix} x_{i-1,j-1} & x_{i,j-1} & x_{i+1,j-1} \\ x_{i-1,j} & x_{i,j} & x_{i+1,j} \\ x_{i-1,j+1} & x_{i,j+1} & x_{i+1,j+1} \end{bmatrix} \quad (12)$$

Strukturni element pomerajući se duž kolona i vrsta binarne slike potvrđuje pripadnost centra strukturnog elementa $X_{i,j}$ ivici detektovane površine prema sledećem:

$$f(i,j) = \begin{cases} 1, & X_{i,j} = 1 \wedge 1 < \sum_{l=i-1}^{i+1} \sum_{k=j-1}^{j+1} x_{l,k} < 9 \\ 0, & \text{u ostalim slučajevima} \end{cases} \quad (13)$$

Ako se za datu poziciju strukturnog elementa ispuni uslov (13), srednjoj tački $X_{i,j}$ se definiše pripadnost ivici. Princip primenjene metode se bazira na bulovoj funkciji (*engl. Boolean function*) koja podrazumeva pretragu binarne slike sa unapred definisanim modelima ivica (Sandhu i drugi, 2011), međutim, za razliku od pomenute metode, pomoću definisanog uslova (13) formira se neprekidna linija ivice objekata jednostavnim sabiranjem elemenata analizirane slike zahvaćenim strukturnim okvirom. Linija obima objekta u širini od jednog piksela je smeštena sa unutrašnje strane površine oštećenja na analiziranoj slici. Primena ovako relativno jednostavne metode je moguća zbog binarne reprezentacije slike gde tačke mogu imati samo vrednosti 0 ili 1. Dati princip određivanja obima se primenjuje u programu ImageJ, mada bez detaljnijih objašnjenja (Ferreira i Rasband, 2012).

Odabrano obeležje odnosa obima i površine detektovanih oštećenja je jedan od mnogobrojnih primera u literaturi date tematske oblasti vizuelne kontrole kvaliteta. Sa područja grafičke industrije mogu se izdvajati rešenja prikazana u (Trepanier i drugi, 1998; McMahon, 2000; Sadovnikov i drugi, 2005), gde su podaci o obimu nekog posmatranog objekta (neujednačenosti štampe, strukturu šupljina u premazu, raster elemenata, finih linija) kombinovani u proračunu sa ukupnom posmatranom površinom, sa površinom pojedinačnih detektovanih elemenata i slično.

5.1.4.2.3. Distribucija oštećenja po liniji prevoja ili po posmatranoj površini

Treće obeležje binarne slike je isto kvalitativno obeležje koje se fokusira na raspodelu površinskog oštećenja. Određivanje stepena raspodele objekata od interesa na posmatranoj slici je od posebnog značaja, jer na primer samo ukupna veličina nečistoće na posmatranoj slici (po standardu ISO) ne daje dovoljno detaljne informacije o strukturi tih nečistoća, tj. o tome da li se radi o nekoliko većih fleka neadekvatno uklonjenih štamparskih boja oko jedne tačke ili je to akumulacija ravnomerno raspoređenih sitnih, skoro i nevidljivih tačaka nečistoća papira (Corcadden i Trepanier, 2006). Specifičnost analiziranih digitalnih uzoraka u ovom istraživanju, da se raspored oštećenja posmatra duž linije prevoja, zahteva drugačiji pristup. Pa tako, distribucija oštećenja u ovom istraživanju će se definisati preko procentualne vrednosti broja elemenata slike (vrsta ili blokova analizirane slike) sa značajnom količinom belih piksela u odnosu na ukupan broj elemenata slike (vrsta ili blokova). U zavisnosti da li se analizira samo jedan uzorak sa jednom linijom prevoja (uglovi 15°-180°) ili više listova u potpuno savijenom obliku (ugao 0°, tako formirajući površinu od više poređanih linija prevoja), osnovna jedinica za određivanje raspodele oštećenja se definiše kao *vrsta* ili kao *blok*, pravougaonog elementa površine 1 mm² (analizirana slika površine 1 cm² tako je podeljena na 100 blokova).

Prvo sledi opis analize po jednoj liniji prevoja na slici. Za ovo obeležje je neophodna adekvatna orijentacija binarne slike pri analizi. Ona mora imati vertikalnu orijentaciju, gde vertikalna dimenzija slike predstavlja dužu stranu okvira digitalizacije, tj. broj redova matrice u digitalnom zapisu slike. Na tako postavljenoj slici, linija prevoja će takođe imati vertikalnu orijentaciju. Za utvrđivanje distribucije takve, vertikalno postavljene slike, prvo se odredi broj belih piksela u svakoj vrsti binarne slike, zatim se izračuna srednja vrednost belih piksela po vrstama (*engl. average - avg, srednja vrednost*) prema sledećem:

$$avg = \frac{|BP_{oštećenja}|}{|BR|} \quad (14)$$

gde je: $|BP_{oštećenja}|$ - ukupan broj piksela površine detektovanih oštećenja na posmatranoj slici, što zapravo predstavlja ukupan broj belih piksela na slici,
 $|BR|$ - ukupan broj redova analizirane slike.

Svaki red u kojem je broj belih piksela veći ili jednaka prosečnom broju belih piksela po vrstama slike, tretira se kao vrsta sa značajnim udelom belih piksela, pa tako ulazi u proračun obeležje distribucije oštećenja:

$$f(M) = \begin{cases} 1, & \text{ako } \sum_{n=1}^N x_{i,j} \geq avg, \text{ element je značajan} \\ 0, & \text{u ostalim slučajevima} \end{cases} \quad (15)$$

gde je: M i N - širina i visina analizirane slike (broj kolona i vrsta matrice),
 avg - srednja vrednost belih piksela po redovima posmatrane slike.

Procentualna vrednost distribucije (*PDO - procentualna distribucija oštećenja ili skraćeno distribucija oštećenja*) se zatim formira na osnovu broja vrsta od značaja i ukupnog broja vrsta:

$$PDO = \frac{|F_M|}{|BR|} * 100 \quad [\%] \quad (16)$$

gde je: $|F_M|$ - broje vrsta od značaja,
 $|BR|$ - ukupan broj vrsta analizirane slike.

Za analizu uzoraka digitalizovanih u potpuno savijenom položaju (unutrašnji ugao od 0°), predložena metoda određivanja distribucije oštećenja sa modifikuje u delu definisanja elementa. Naime, u proračunu umesto broja vrsta uzima se broj blokova, gde je blok definisan kao osnovna jedinica raspodele oštećenja pravougaonog oblika sa površinom od 1 mm^2 . Analizirana slika, bez obzira na veličinu, deli se na 100 blokova čime se dobija mreža od 4 kolone i 25 redova blokova. Za svaki blok se određuje broj belih piksela, zatim i prosečna vrednost belih piksela po blokovima i na kraju se odredi ukupan broj blokova od značaja, pri čemu značajnost i u ovom slučaju predstavlja uslov da broj belih piksela u analiziranom bloku treba da bude veći ili jednak prosečnom broju belih piksela. Iako je primenjena analogija u proračunu distribucije za različite uglove postavljanja očigledna, zbog specifičnosti ispitanih uzoraka moguća su manja odstupanja u rezultatima što treba uzeti u obzir prilikom njihove analize.

5.1.5. Obrada rezultata i statističke metode

Primenjene statističke metode za obradu podataka imaju za cilj da obezbede validnu podlogu za izvođenja relevantnih zaključaka pri analizi rezultata. Obrada podataka je vršena pomoću softverskog paketa za statističku obradu IBM SPSS Statistics (verzija 20). Preliminarnom analizom su utvrđene mogućnosti primene parametrijskih i neparametrijskih tehnika za obradu podataka, kao i upotreba opisnih statističkih pokazatelja prema postavljenim zadacima analize rezultata (Pallant, 2007). Preliminarne analize su obuhvatile proveru pretpostavke o normalnosti raspodele izmerenih vrednosti i o homogenosti ispitanih grupa, zatim i analizu netipičnih tačaka u ispitanim grupama i po potrebi su one zamenjene novim vrednostima posmatranih obeležja. Od opisnih statističkih pokazatelja korišćeni su: aritmetička sredina, kao mera centralne tendencije, standardna devijacija, kao apsolutna mera disperzije i koeficijent varijacije, kao relativni pokazatelj disperzije. Od parametrijskih tehnika, jednofaktorska ANOVA je korišćena za poređenje srednjih vrednosti jedne neprekidne promenljive podeljene u više grupa sa odgovarajućim naknadnim testovima (Tukey HSD test i Dunett T3 test), T-test nezavisnih uzoraka kao i Pirsonov koeficijent linearne korelacije (Czichos i drugi, 2006; Pallant, 2007).

5.2. Uređaji, materijali i softverski alati

5.2.1. Karakteristike korišćenih materijala

5.2.1.1. Premazni papir

Za potrebe istraživanja korišćen je komercijalno dostupan obostrano premazan sjajni papir Simbol Freelifelife Gloss od proizvođača Fedrigoni, u pet različitih gramatura. Korišćeni premazni papiri spadaju u grupu štamparskih papira za umetničku štampu, isporučuju se u tabacima različitih formata i predviđeni za ofset štampu, mada su pogodni i za leterpres, termografiju, kao i za sito štampu. U sastavu baznog papira ima 60% bezdrvene pulpe i 40% recikliranih vlakana. Posедуje FSC sertifikat (*FSC - engl. Forest Stewardship Council – Savet za upravljanje šumama*) i ECF oznaku (*ECF - engl. Elemental Chlorine Free – sa niskim sadržajem hlora*). U tabeli 5.2 su date osnovne karakteristike premaznih papira u pet odabranih gramatura. Vrednosti gramature definisanih od strane proizvođača u daljem tekstu označene kao nominalne vrednosti i koristiće se i kao oznake uzoraka (Fedrigoni, nd).

Izmerene vrednosti gramature su u većini slučajeva unutar standardima definisanih granica tolerancije. Izuzeci su gramature od 150 i 170 g/m² papira, kod kojih su izmere vrednosti ispod dozvoljenih granica tolerancije ($\pm 3\%$). Pri analizi rezultata treba da se vodi računa o mogućim odstupanjima. U daljem tekstu, po potrebi se poziva na ova odstupanja gramature, a izmerene vrednosti se tada označavaju kao stvarne vrednosti. Analiza ostalih ispitanih karakteristika je izvršena u delu prikaza rezultata referentnih merenja (poglavlje 5.2), kako bi se osigurala opšta preglednost i jasna dedukcija pri izvođenju zaključaka ključnih za hipotezu disertacije.

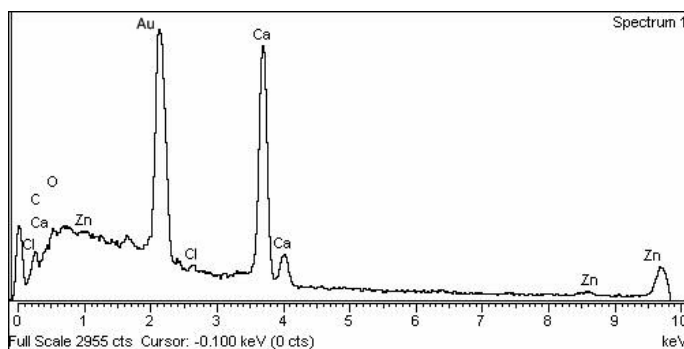
Tabela 5.2– Osnovne karakteristike papira za umetničku štampu Simbol Freelife Gloss

Karakteristike	Uzorci					
	90	115	130	150	170	
Nominalne vrednosti gramature [g/m ²]	90	115	130	150	170	
Gramatura [g/m ²]	89.72	111.42	125.2	141.65	159.76	
Debljina [μm]	65.5	80.2	92.5	113	122.5	
Hrapavost [ml/min]	33.77	14.85	9.55	14.15	10.15	
Sadržaj pepela [%]	40.70	40.23	45.63	40.15	40.26	
Indeks otpornosti prema prskanju [kPa m ² /g]	2.18	1.88	1.78	2.13	2.25	
Zatezna čvrstoća [kN/m]	MD	4.22	4.62	4.76	6.05	7.16
	CD	2.82	3.01	3.58	4.24	4.91
Izduženje pri kidanju [%]	MD	4.67	4.50	4.40	4.85	5.47
	CD	10.37	8.96	10.29	10.55	9.87
Indeks zatezanja [kNm/g]	MD	48.15	42.93	39.70	44.04	45.67
	CD	32.26	27.47	29.09	30.17	31.31

Premazivanje ispitanih papira je vršeno pomoću rakel noževa, omogućavajući ravnomeran nanos premaza u dva (kod 90 g/m²) i u tri sloja (kod ostalih uzoraka) (Fedrigoni, nd). Kako je receptura sastava premaza poslovna tajna kompanije, za potrebe istraživanja približan sastav premaza će se koristiti za definisanje materijalnih uzoraka, koji se određuje pomoću EDS analize sa SEM snimaka. Sumirani rezultati EDS analize su predstavljeni u tabeli 5.3, dok izgled tipičnog spektra je prikazan na slici 5.14. Na osnovu dobijenih rezultata je utvrđeno da je sastav premaza odabranih papirnih uzoraka prevashodno sačinjen od kalcijum karbonata, sa manjim primesama drugih minerala.

Tabela 5.3 – Prosečni maseni i atomski udeo (%) u analizi sastava premaza ispitanih papira

Uzorci	Maseni udeo elementa [%]	Atomski udeo [%]
C	23.32	38.97
O	30.30	37.85
Ca	42.82	21.78
Al	0.93	0.69
Cl	1.02	0.58
Zn	2.44	0.75
Fe	0.78	0.28



Slika 5.14 – Tipičan spektar EDS analize premaza odabranih papira

5.2.1.2. Štamparska boja

Obojavanje površine premaznih papira za kasniju lakšu vizuelnu analizu je vršeno procesnom cijan bojom, proizvođača Sun Chemical, WORLD SERIES CYAN (kod proizvoda: B 9903 WS25) koja je predviđena za tabačnu ofset štampu papira i kartona. Preporučuje se za štampu raznih publikacija, ambalaže, kao i etiketa sa vodenim lepljenjem. Među osnovne karakteristike se ubrajaju sledeće: zadovoljava propise industrijskih standrada ISO 2846:1, EN 71/3 (regulativa igračaka), omogućuje štampu po standardu ISO 12647:2, sadrži isključivo ulja na biljnoj bazi, sušenje se odvija upijanjem i oksidacijom, odgovara svim CtP pločama i ima dobru mehaničku otpornost u funkciji podloge za štampu (Sun Chemicals, nd).

5.2.2. Karakteristike korišćenih uređaja i pribora

5.2.2.1. Izrada materijalnih uzoraka

5.2.2.1.1. Štamparska mašina

Štampanje odabranih premaznih papira je vršeno na KBA Rapida 75 petobojnoj ofset tabačnoj mašini sa dodatnim agregatom za lakiranje. Tabaci papira su bili celom površinom štampani sa 100% nanosom cijan boje. Debljina nanosa i ostali parametri kvaliteta štampe su praćeni pomoću Techkon TSC 325 kontrolne merne trake po ISO 12647-2 standardu. Osnovne tehničke karakteristike od značaja za sprovedeno istraživanje su date u tabeli 5.4.

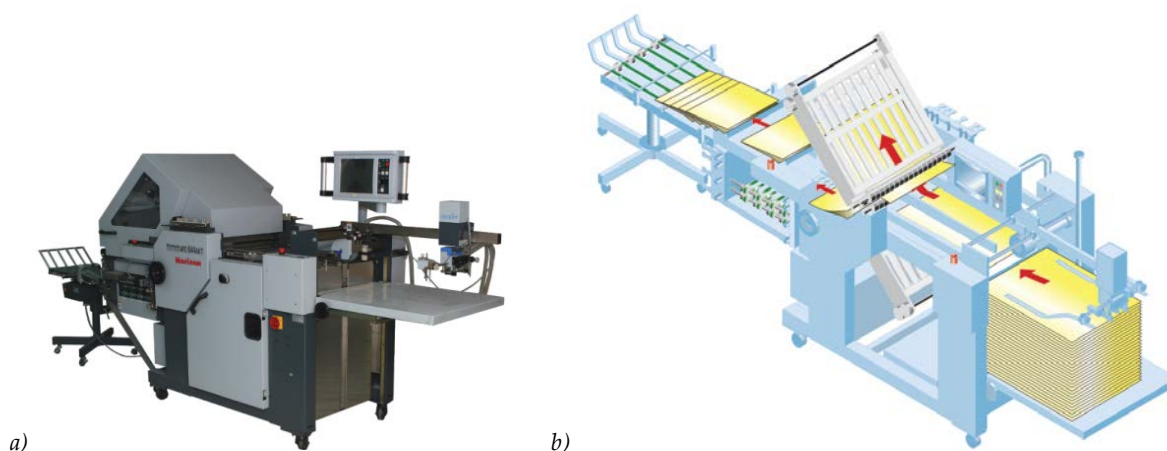
Tabela 5.4 – Osnovne tehničke karakteristike mašine za štampu KBA Rapida 75

Karakteristike	Vrednosti - parametri
Format tabaka za štampu	B2 - 500 x 707mm
Štamparska forma	Agfa Azura TS CtP ploče
Sredstvo za vlaženje	3% DS Acedin DH sa 8% DS IPA
Brzina	7000 t/h
Metrički pritisak između gumenog cilindra i cilindra za pritisak	0,1 mm

5.2.2.1.2. Mašina za savijanje

Operacija savijanja odabranih papirnih uzoraka je realizovana na kombinovanoj mašini za savijanje proizvođača Horizon modela AFC 544 AKT. Mašina je opremljena sa 6 džepova (3 gornja i 3 donja) u prvoj jedinici za savijanje, sa jednim nožem i sa još dodatna dva džepa ispod noža u drugoj jedinici za savijanje (Slika 5.15a). Površina valjaka za savijanje i transport je izrađena od naizmenično nanizanih prstenova mekane poliuretanske gume i čelika. Osnovna funkcija takve konfiguracije jeste osiguranje adekvatnog pritiska između valjaka kompenzacijom eventualnih prekomernih sila pritiska bez oštećenja površine tabaka za savijanje. Osnovna podešavanja i tehničke karakteristike od značaja za sprovedeno istraživanje su prikazani u tabeli 5.5 (Horizon, 2004). Za potrebe istraživanja,

savijanje odabranih papira je vršeno na jedan prevoj korišćenjem prve jedinice za savijanje džepom (Slika 5.15b). Savijanje je izvršeno 48h nakon štampe pri standardnim klimatskim uslovima (22°C, 55% RH).



Slika 5.15 – Izgled mašine za savijanje Horizon AFC 544 AKT (a) i princip odvijanja procesa savijanja za potrebe istraživanja (b)

Tabela 5.5 – Osnovne tehničke karakteristike mašine za savijanje Horizon AFC 544 AKT

Karakteristike	Vrednosti - parametri
Format tabaka (uzoraka) za savijanje	200 x 250 mm
Jedinica za savijanje	prvi gornji džep
Podešavanje pritiska valjaka za savijanje preko razmaka između valjaka	standardno podešavanje preko debljine papira koji se savija (varijabilni parametar – po promeni gramature, menja se i razmak
Brzina transportnog sistema	100-150 m/min

5.2.2.1.3. Mašina za rezanje

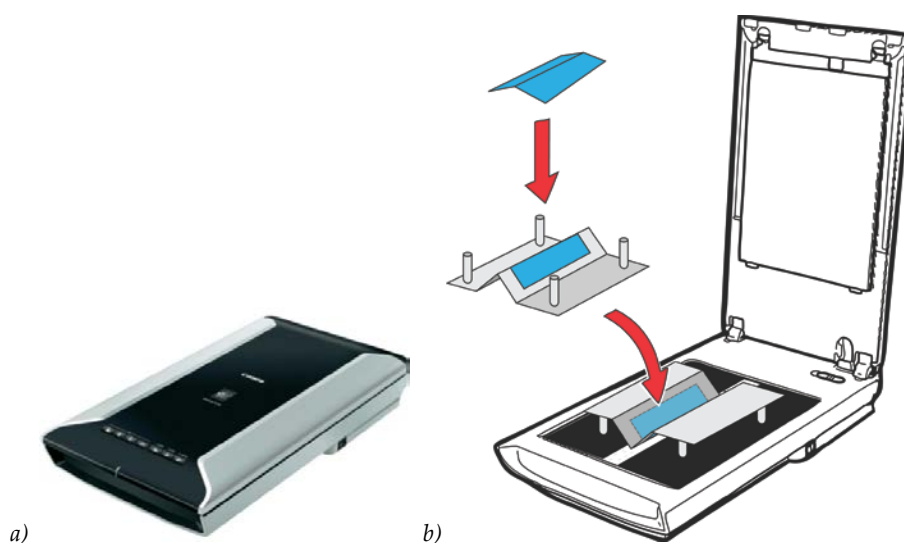
Za razrezivanje odštampanih tabaka na format uzoraka za savijanje odnosno za izrezivanje epruveta od savijenih i nesavijenih uzoraka za ispitivanje osnovnih karakteristika papira je korišćena mašina za rezanje naslage materijala Perfecta HTVC 76. Najbitnije tehničke karakteristike mašine za rezanje su sledeće: pritisak prese 20 kN, ugao oštrenja noža 24°.

5.2.2.2. Digitalizacija uzoraka

Predefinisani set parametara svake metode digitalizacije uključuje digitalni zapis u sirovom formatu ili sa kompresijom bez gubitaka, prostor boja i veličinu posmatrane površine (opciono za mikroskop). Pored navedenih, prilikom digitalizacije uzoraka ispunjavanje zahteva prema nezavisnosti tipa i modela uređaja u datoj kategoriji i prema izbegavanju naprednih funkcija savremenih uređaja za digitalizaciju su od velikog značaja.

5.2.2.2. Skener

Jedan od uređaja za digitalizaciju uzoraka je ravan skener Canon CanoScan 5600F, koji je poluprofesionalni skener u boji, stono položen sa adapterom za filmove. Predviđen je za skeniranje fotografija, filmova od 35 mm i dokumenata u boji pomoću CCD tehnologije. CanoScan 5600F se odlikuje velikom stabilnošću tokom korišćenja, sa računarom se povezuje preko USB 2.0 porta i potpuno je kompatibilan sa svim Windows i OSX platformama, a pomoću softvera MP Navigator EX, koji se isporučuje sa skenerom, omogućava obavljanje najkompleksnijih operacija skeniranja (Canon, nd-a). Na slici 5.16a je prikazan izgled skenera, dok 5.16b predstavlja šemu postavljanja uzoraka za skeniranje. Proces skeniranja obuhvatio sve planirane uglove postavljanja papirnih epruveta (0° - 180°).



Slika 5.16 – Skener Canon CanoScan 5600F (a) i način postavljanja uzoraka za skeniranje (b)

Uzorci su bili prvo izrezani na odgovarajuće dimenzije zatim su podeljene na tri grupe. Prva grupa uzoraka je bila digitalizovana u ravnom položaju (sa unutrašnjim uglom od 180°) bez nekih pomoćnih pribora. Uzorci su bili jednostavno postavljeni na radnu površinu skenera, pri čemu se vodilo računa da linija savijanja bude usmerena normalno na pravac kretanja glave skenera, kako bi izbegli stvaranje nepoželjnih senki u toku skeniranja pri velikim rezolucijama (pošto se glava za skeniranje vrlo sporo pomera). Druga grupa uzoraka je pripremljena za digitalizaciju sa uglovima postavljanja od 15° - 90° . Kod te grupe, uzorci su bili zalepljeni, tj. fiksirani pomoću samolepljive krep trake na podlogu sa odgovarajućim unutrašnjim uglom profila (uglovi su prikazani na slici 5.3). Nakon toga, fiksirani uzorci zajedno sa podlogom su bili postavljeni na radnu površinu skenera, tako da nalepljeni uzorak sa linijom prevoja tačno nalegne, tj. da dodirne radnu površinu skenera. To je bio preduslov za oštro skeniranje. Linija prevoja je i kod ove grupe stajala normalno na pravac kretanja optičke glave skenera. Treću grupu čine uzorci u potpuno savijenom obliku. Taj položaj je specifičan i omogućava skeniranje više uzoraka istovremeno, jer su potpuno savijeni uzorci poređani jedan uz drugi. Takav pristup omogućava realniju reprezentaciju grupe ispitanih uzoraka jer već sa jednog digitalnog uzorka (slike) se dobija prosečna vrednost obeležja. Broj uzoraka po jednoj takvoj digitalizaciji zavisi od gramature i debljine ispitanih papira, koji se uzima u obzir prilikom proračuna parametara obeležja (od koji je samo procenat belih piksela osetljiv na broj

uzoraka po slici). Od ovako pripremljenih materijalnih uzoraka, najmanje 25 slika je pripremljeno po jednoj kombinaciji gramature, smera vlakanca, ugla postavljanja i rezolucije. Prilikom skeniranja epruvete su bile jednom postavljene i sa iste površine (definisane kao prozor za skeniranje) neposredno su formirane sve slike sa različitim rezolucijama. To znači da su digitalni zapisi različiti samo u detaljima vidljivim na slikama.

Bitno je napomenuti da sam proces skeniranja u velikoj meri pojednostavljuje pripremu digitalnih uzoraka za softversku analizu, jer se odmah definišu željene dimenzije površine od interesa (prozor skeniranja 4 x 25 mm, izlazna veličina 100% ulazne, tj. skeniranje bez uvećanja) i neposredno nakon skeniranja kreirane slike se mogu analizirati. Pored navedene prednosti, skeniranje ima i nedostatak, pre svega u vidu zahtevane brzine rada. Naime, pri velikim rezolucijama mala brzina skeniranja može predstavljati problem. Ukoliko se radi sa velikim brojem uticajnih faktora pri analizi, stoga i pri velikom broju uzoraka, sama digitalizacija može biti vremenski vrlo zahtevna.

Najbitnije tehničke karakteristike su date u tabeli 5.6, a podešavanja pri skeniranju kao i parametri skeniranih uzoraka od značaja za istraživanje su sumirani u tabeli 5.7.

Tabela 5.6 – Tehničke karakteristike ravnog skenera Canon CanoScan 5600F

Karakteristike	Vrednosti - parametri
Optička rezolucija	4800 x 9600 ppi
Tip senzora	CCD, 6 redova, u boji
Izvor svetla	Bela LED lampa – reflektivna / hladna katodna fluorescentna lampa
Gradacija skeniranja (u boji)	48-bitni ulaz -> 48/24-bitni izlaz
Softver koji se isporučuje u paketu	ScanGear, MP Navigator EX, ArcSoft PhotoStudio

Tabela 5.7 – Osnovni parametri skeniranih uzoraka

Karakteristike	Vrednosti - parametri
Rezolucija i dimenzije	1200 spi – 192 x 1181 ppi
	2400 spi – 384 x 2362 ppi
	4800 spi – 768 x 4724 ppi
Režim rada	refleksiono skeniranje
Dubina boje	24 bit (3 x 8)
Prostor boja	sRGB
Format zapisa	.bmp
Napredne funkcije	isključene

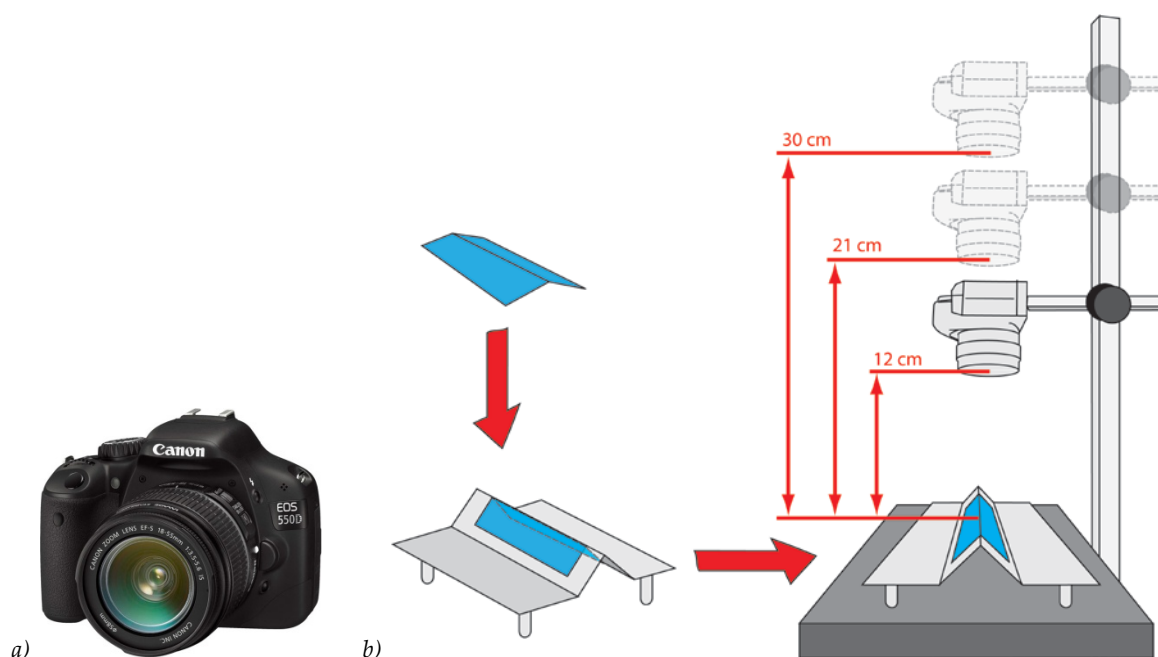
5.2.2.2.2. Fotoaparati

Za fotografisanje uzoraka korišćen je Canon EOS 550D digitalni fotoaparat (Slika 5.17a, Tabela 5.8). Ugrađenim CMOS senzorom od 18 megapiksela, odabrani model digitalnog fotoaparata je pogodan i za uslove slabe osvetljenosti, jer stvara slike sa niskim nivoom šuma sa naprednom tehnologijom uklanjanja šuma prilikom snimanja sa većim ISO vrednostima (Canon, nd-b). Sa podešavanjima prikazanim u tabeli 5.9 uzorci su bili

fotografisani sa udaljenosti od 30 cm, 21 cm i 12 cm. Osnovna postavka kamere i uzoraka je prikazana na slici 5.17b. Priprema uzoraka za proces fotografisanja (fiksiranje, postavljanje i slično) je opisana u prethodnom poglavlju, kod digitalizacije skenerom. Kombinacije epruveta su i ovde obuhvatile sve gramature, smeru vlakanca i uglova postavljanja epruveta. Broj izrađenih fotografija sa materijalnih uzoraka obezbeđivao najmanje 25 digitalnih uzoraka po kombinaciji uticajnih parametara.

Za potrebe digitalizacije fotoaparatom, bilo je neophodno obezbediti adekvatno uniformno osvetljenje uzoraka (Yam i Papadakis, 2004). To je bilo postignuto pomoću dva izvora osvetljenja postavljena sa obe strane pripremljenog uzorka pod uglom od 45° u odnosu na posmatranu liniju prevoja i površinu uzorka. Lampe, koje su predstavljale izvore osvetljenja, bile su opremljene fluorescentnim sijalicama (proizvođača Philips) sa temperaturom boje 6500K (odgovaraju illuminantu D65). Sam fotoaparat za vreme digitalizacije je bio montiran na stalak okrenut na dole usmeren ka postolju za uzorke (Slika 5.17b). Pomoću stalka je bila osigurana konstantna udaljenost predmeta (epruveta), kao i položaj i stabilizacija aparata u toku fotografisanja.

Digitalizacija fotoaparatom sa jedne strane predstavlja jednostavnu metodu, jer cela površina uzorka se istovremeno i brzo zapisuje u digitalni oblik (za razliku od skenera). Dobijene fotografije nakon slikanja su bile prvo konvertovane u .bmp format, zatim pomoću odgovarajućeg softvera za rastersku grafiku (Adobe Photoshop®) sa svake fotografije je isečeno najmanje jedan, a najviše dva digitalna uzorka. Iako je sam proces digitalizacije jednostavan i brz, naknadne operacije su zahtevne i to ne samo vremenski, već često i računarski.



Slika 5.17 – Digitalni fotoaparat Canon EOS 550D (a) i način postavljanja uzoraka za fotografisanje (b)

Tabela 5.8 – Tehničke karakteristike digitalnog fotoaparata Canon EOS 550D

Karakteristike	Vrednosti - parametri
Tip kamere	Digital SLR
Senzora	22.3 x 14.9mm CMOS
Objektiv	18-55mm 1:3.5-5.6 IS

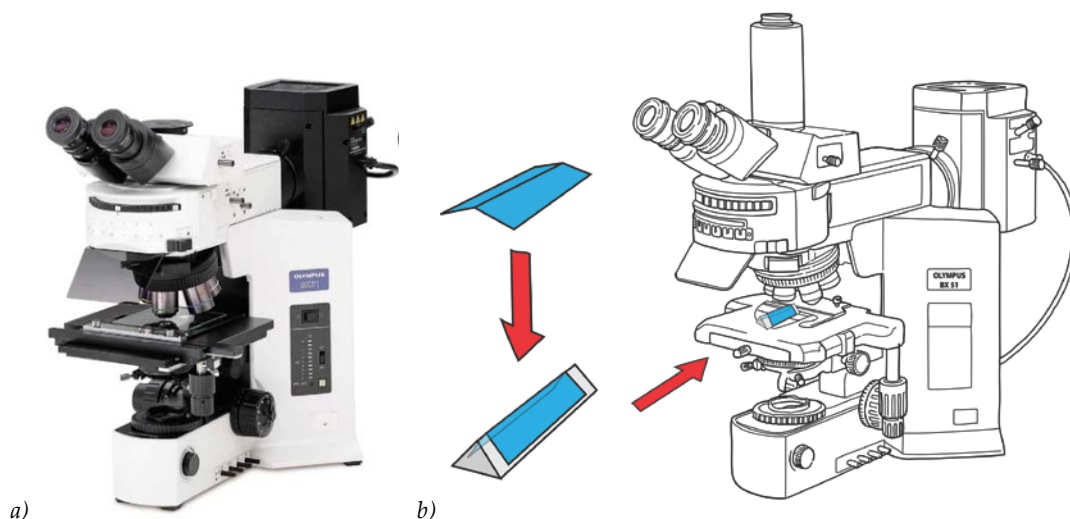
Tabela 5.9 – Osnovni parametri fotografisanja uzoraka

Karakteristike	Vrednosti - parametri
Rezolucija i dimenzije	5184 x 3456 piksela
Dubina boje	24 bit (3 x 8)
Prostor boja	sRGB
Format zapisa	.CDR2 (Canon raw format)
Mod i vreme ekspozicije	manuelni, 1/0
Balans bele	isključen
Osetljivost ISO	100
Fokus	automatsko predfokusiranje, zatim manuelni
Udaljenost uzoraka i veličine konačnih slika	12 cm – 321 x 2008 piksela
	21 cm – 203 x 1271 piksela
	30 cm – 149 x 930 piksela
Osvetljenje	uniformno (približno difuzno) sa D65 fluorescentnim sijalicama

5.2.2.2.3. Optički mikroskop

Treća metoda digitalizacije uključuje primenu optičkog mikroskopa Olympus BX – 51 (Slika 5.18a) i digitalne kamere Olympus DP72, koji je u sastavu mikroskopa. Pomoću pomenute kamere slika posmatrane površine se zapisuje u digitalnom obliku (mikroskop je moguće povezati sa računarom). Mikroskop je opremljen sa 5 objektiva koji omogućavaju uvećanja od 50, 100, 200, 500 i 1000 puta sa dodatnom funkcijom dupliranja trenutnog uvećanja. Pomak fokusa je do 25 milimetara, a kod uzoraka većih dimenzija po potrebi je moguće pomeriti ceo sto za uzorke u nižu poziciju. Najmanji pomak stola po z osi (dubini) je 1 mikrometar, dok se po x i y osi pomak vrši ručno pomoću vijka. Uzorci se mogu snimiti u refleksionom ili transmisijskom modu, zavisno od vrste uzoraka. Relevantne tehničke karakteristike mikroskopa su date u tabeli 5.10 (Olympus, nd), dok su osnovni parametri snimljenih fotografija – digitalnog zapisa prikazani u tabeli 5.11.

Za potrebe istraživanja je korišćeno samo jedno uvećanje i to najmanje uvećanje od 50x. Uzorci su bili digitalizovani samo u dva položaja, tj. ugla postavljanja 90° i 180°. Zbog specifičnosti mikroskopske analize, njihova priprema se razlikuje od ostale dve metode digitalizacije, stoga u nastavku sledi kratak opis iste. Za ugao 90° uzorak nakon rezanja na željenu veličinu, pomoću samolepljive trake se fiksira na podlogu (drveno postolje oblika jednakokrakog trougla s gornjim uglom od 90°, ukupne visine 2 cm), tako da linija prevoja tačno nalegne na vrh jednokrakog trougla. Zalepljivanje je vršeno sa obe strane uzorka. Na slici 5.18b je prikazana pojednostavljena šema pripreme uzoraka sa unutrašnjim uglom postavljanja epruvete od 90°. Za ugao 180° savijeni uzorak se prvo otvori i nakon rezanja na potreban format, pomoću ručne prese se fiksira na staklenu ploču, na koju je prethodno naneta odgovarajuća količina plastelina. Takva priprema osigurava paralelnost uzorka sa staklenom pločom.



Slika 5.18 – Optički mikroskop Olympus BX – 51 (a) i način pripreme uzoraka za snimanje (b)

Tabela 5.10 – Tehničke karakteristike optičkog mikroskopa Olympus BX - 51

Karakteristike	Vrednosti - parametri
Raspon uvećanja	50x - 1000x
Osvjetljenje	12V 100W halogen, LED indikator za intenzitet svetla
Ugrađeni filtri	LBD-IF, ND6
Tip kamere	DP72, CCD, linijski, 12.8 megapiksela ISO1600
udaljenost objekta	12 mm

Tabela 5.11 – Osnovni parametri snimljenih digitalnih uzoraka

Karakteristike	Vrednosti - parametri
Veličina i rezolucija	3096 x 4140 piksela
Režim snimanja	refleksioni
Polarizacija svetlosti	uključena
Dubina boje	24 bit (3 x 8)
Prostor boja	sRGB
Format zapisa	.tiff
Mod i vreme ekspozicije	manuelni, 1/40

Pri datim podešavanjima ukupno 12 digitalnih uzoraka je pripremljeno po jednoj kombinaciji gramature i smera savijanja. Veličina digitalnog zapisa sa mikroskopa odgovara površini savijenog papira dimenzija 2.64 x 3.54 mm, što po dužoj strani približno 7, dok po kraćoj 1.5 puta manje u odnosu na površine dimenzija 4 x 25 mm korišćene kod ostalih digitalizacija.

5.2.2.3. Instrumenti za ispitivanje osnovnih karakteristika i referentnih parametara premaznih papira

Gramatura ispitanih uzoraka je izmerena na analitičkoj vagi Mettler Toledo AE 200. Vaga je opremljena zaštitnim staklom, raspon merenja je od 50 mg do 205 g sa rezolucijom od 0,1 mg preko celog mernog opsega.

Debljina korišćenih papira za potrebe istraživanja je utvrđena pomoću Metrimpex mikrometra, tipa 6-12-1/B sa veličinom merene površine 2 cm² i tegom težine od 2 kg.

Određivanje hrapavosti površine metodom propuštanja vazduha (po Bensenu) je vršena na instrumentu PTA Group Paper Testing Association, Type Bendtsen Manual, N3500. Instrument podržava važeće ISO, TAPPI i SCAN standarde (ISO 5636/3, 8791/2, TAPPI UM535, SCAN P21 i P60), a odgovarajuća površina ispitnog uzorka iznosila 10 cm².

Za ispitivanje sadržaja pepela odabranih papirnih uzoraka je korišćena peć za žarenje Degetherm Easy 6 i analitička vaga marke GR 202 – Gemini, proizvođača A&D.

U cilju određivanja sastava premaznog sloja pomoću EDS analize, vršena je SEM analiza ispitivanih površina. Za potrebe istraživanja korišćen je skenirajući elektronski mikroskop JEOL JSM-6460, sa sledećim tehničkim karakteristikama: uvećanje od 5-300.000x, rezolucija 3.00 nm i napon ubrzavanja od 0-30 kV. Dati model SEM mikroskopa je opremljen senzorom za energetsko disperzivnu spektroskopiju koji se koristi za lokalnu hemijsku analizu ispitanih površina. Radi dobijanja elektroprovodne površine pogodne za SEM i EDS analizu, papirni uzorci pre snimanja se naporavaju slojem zlata. Za naporavanje je korišćen uređaj Baltec SCD 005, sa sledećim podešavanjima: vakuum od oko 10-12 mbar, radna udaljenost između uzorka i izvora atoma zlata od 22 do 78 mm.

Otpornost prema prskanju po Mulenu je mereno na Lorentzen&Wettre Burst-o-matic uređaju sa pritiskom kompresora u rasponu 8-12 kp/cm² pri čemu podešavanja pritiska su pratila povećanje gramature ispitanih uzoraka. Odabirom mernog opsega instrumenta je postignuto vreme prskanja od 10s.

Ispitivanje otpornosti prema kidanju ispitanih papirnih uzoraka kao i određivanje zaostale zatezne čvrstoće je vršeno na kidalici Frank Type 800A, No. 10 (Karl Frank GmbH, Nemačka). U zavisnosti od gramature ispitanih papira, brzina razmicanja čeljusti je bila 30 mm/min za 90 - 130 g/m², 40 mm/min za 150 g/m² i 170 g/m² kako bi se ispoštovala standardnom definisana primena konstantne brzine sile zatezanja koja izaziva prekid epruvete u vremenu 20s ± 5s (SRPS ISO 1924-1:1997).

5.2.3. Karakteristike korišćenih softverskih alata za analizu

5.2.3.1. ImageJ

U okviru razvojnog procesa algoritma softverski paket ImageJ (verzija 1.48) je korišćen za preliminarne analize različitih tehnika pripremne obrade i binarizacije digitalizovanih uzoraka. Pripremne operacije obuhvataju tehnike povećanja kontrasta, izjednačavanje histograma slike, konverzija prostora boja, izdvajanje pojedinih kanala slike u boji, izoštravanje i slično, dok se binarizacija slike vrši segmentacijom – na osnovu raznih obeležja digitalnog zapisa slike. ImageJ je besplatno dostupan softver za analizu slika koji se bazira na programskom jeziku „Java“, razvijen od strane Wayne Rasbanda na Nacionalnom institutu za zdravlje (*engl. National Institutes of Health - NIH*). Pomoću pomenutog programa se mogu prikazati, uređivati, analizirati, obrađivati i memorisati slike u različitim formatima (npr: TIFF, GIF, JPEG, BMP) i različitim dubinama (8-bitne, 16-bitne i 32-bitne slike). Prednosti datog softvera, pored širokog spektra standardnih funkcija obrade i analize slike, ogleda se u mogućnosti kreiranja dodataka (*plug-in*) i pisanje koda (*macros*) koji se vrlo jednostavno mogu implementirati u osnovnu aplikaciju (ImageJ, 2011). Na zvaničnoj internet stranici datog softverskog paketa (<http://imagej.nih.gov/ij/>) postoji veliki broj već razvijenih dodataka za najrazličitije primene digitalne analize.

5.2.3.2. Matlab

Za razvijanje konačnog algoritma pripremne obrade odnosno za dobijanje kvalitativnih i kvantitativnih opisa oštećenja digitalizovanih uzoraka, od raspoloživih programskih paketa je Matlab korišćen (verzija R2011a). Programski paket Matlab predstavlja interaktivno okruženje za razvoj algoritama, za modelovanje i simulaciju različitih procesa, za vizualizaciju i analizu podataka, kao i za rešavanje različitih problema iz linearne i vektorske algebre korišćenjem prevashodno numeričkih metoda. Matrični proračuni predstavljaju osnovu Matlaba, koji se jednostavno i brzo izvode, te je na ovom polju Matlab vodeći svetski programski paket. U programskom paketu Matlab se mogu realizovati sve predviđene operacije pripremne obrade i analize digitalizovanih uzoraka. Prilikom izbora Matlaba kao softverskog paketa za izvođenje analize digitalizovanih uzoraka, odlučujući faktor je bio njegova ogromna biblioteka postojećih algoritama za obradu slika ugrađenih u sam programski paket (*Image Processing Toolbox*) odnosno kvalitetna i opširna korisnička podrška od strane eksperta i programera širom sveta (González i drugi, 2009; Marques, 2011). U svrhe istraživačkog rada, Matlab sa svojim ugrađenim modulom za obradu slika predstavlja jednog od najviše korišćenih softverskih paketa u oblasti digitalne obrade slike.

6. Rezultati istraživanja

U ovom poglavlju su dati rezultati eksperimentalnih istraživanja podeljeni u dve celine. U prvom delu su predstavljeni rezultati vezani za sam proces pripreme materijalnih uzoraka kroz statističku proveru analiziranih obeležja digitalnih slika po metodama digitalizacije. U drugom su prikazani rezultati ispitivanja otpornosti premaznih papira na površinska oštećenja pri savijanju, koji čine referentne rezultate i analiza primenljivosti predloženih obeležja kvantitativnog određivanja količine oštećenja odnosno kvalitativnog opisa strukture detektovanih oštećenja na osnovu tih referentnih rezultata.

6.1. Rezultati kvantitativne i kvalitativne analize detektovanih oštećenja nastalih na premaznim papirima u procesu savijanja

U ovom delu su prikazani rezultati digitalizovanih uzoraka za kvantitativni i kvalitativni opis oštećenja primenom digitalne obrade i analize slika. Obeležje koje odgovara kvantitativnoj oceni oštećenja na posmatranoj liniji prevoja je procenat belih piksela na analiziranoj slici, dok odnos tačaka ivice detektovanih oštećenja i ukupnog broja tačaka površine oštećenja (odnos obima i površine oštećenja) kao i distribucija oštećenja predstavljaju kvalitativno okarakterisanje deformacija nastalih u procesu savijanja.

Nakon provere normalnosti raspodele, odbacivanja ekstremnih vrednosti i po potrebi izvršenim naknadnim merenjem, obezbeđeno je 20 merenja po ispitivanoj grupi uzoraka pri skeniranju i fotografisanju, dok je kod mikroskopske analize zbog tehničkih uslova taj broj smanjen na 12. Testiranje normalnosti je vršeno Kolmogorov-Smirnovim testom (Czichos i drugi, 2006; Pallant, 2007).

Zbog obilnosti eksperimentalnog istraživanja, prikaz dobijenih rezultata je vršen samo grafički, putem odgovarajućih grafikona i dijagrama prema potrebama analize. Tabelarni prikazi rezultata su dati samo u delu priloga, na kraju disertacije (Tabele II.1-II.21, Prilog II). Da bi se mogla upoređivati disperzija rezultata dobijenih sa različitim uslovima digitalizacije, koji tako daju različite srednje vrednosti, pri analizi rezultata koeficijent varijacije (KV) je korišćen umesto standardne devijacije. Koeficijent varijacije ili drugim nazivom relativna standardna devijacija predstavlja procentualni udeo standardne devijacije u odnosu na srednju vrednost.

6.1.1. Rezultati skeniranih uzoraka

Materijalni uzorci za skeniranje su bili pripremljeni sa 7 različitih uglova postavljanja, a sam proces skeniranja je izvršen sa tri rezolucije 1200 spi, 2400 spi i 4800 spi, pri čemu su sva napredna podešavanja bila isključena, kao što su napredne opcije i manipulacije nad skeniranom slikom. Nakon digitalizacije uzoraka, pomoću razvijenog algoritma za analizu oštećenja dobijeni su vrednosti procenta belih piksela, odnosa tačaka ivice detektovanih

oštećenja i ukupnog broja tačaka oštećenja kao i opis distribucije oštećenja. Prikaz dobijenih rezultata prati ovaj redosled obeležja.

6.1.1.1. Procenat belih piksela skeniranih uzoraka

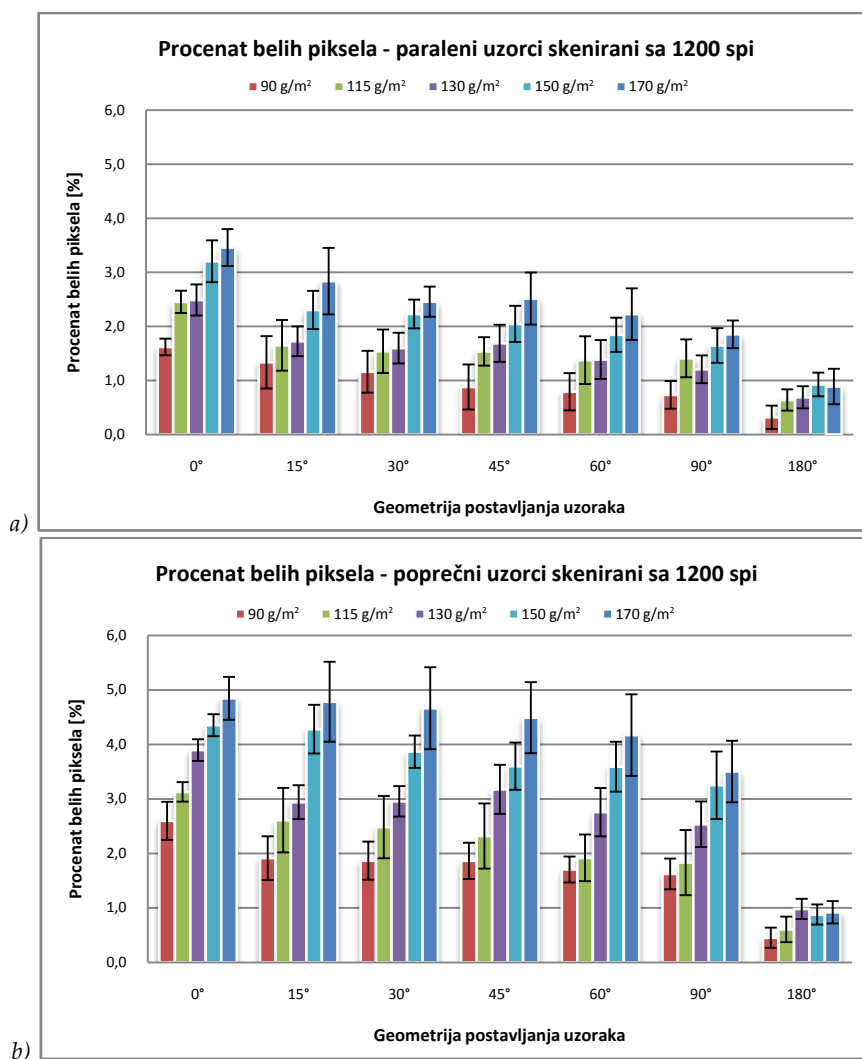
Prikaz i analiza rezultata procenata belih piksela je organizovan tako da prati logičan sled novih saznanja. Prvo je izvršen opšti pregled dobijenih rezultata sa akcentom na promene praćenog parametra po gramaturi i smeru savijanja ispitanih uzoraka. Nakon toga sledi prikaz i analiza rezultata sa osvrtom na uticaja rezolucije i uglova postavljanja uzoraka pri skeniranju.

Srednje vrednosti i vrednosti standardne devijacije procenta belih piksela za uzorke savijene paralelno i poprečno na smer vlakanca i skenirane sa rezolucijom od 1200 spi su predstavljene na slikama 6.1a i b (respektivno).

Upoređivanjem vrednosti procenta belih piksela po smeru savijanja uzoraka (Slika 6.1a i b), može se utvrditi da su veće vrednosti zabeležene za uzorke savijene poprečno sa smerom vlakanca i to u rasponu od 0.45177% do 4.84592% u odnosu na paralelno savijene uzorke (0.31905% ÷ 3.45776%) što potvrđuje literaturne rezultate (Sappi, 2006; Apro i drugi, 2008; Kim i drugi, 2010).

Sa prikazanih dijagrama se vidi da sa povećavanjem gramature (i debljine) ispitanih papirnih uzoraka u većini slučajeva povećava se i procenat belih piksela u obe grupe savijenih uzoraka. Dobijeni rezultati su u skladu sa rezultatima iz (Barbier i drugi, 2002). Odstupanja od te tendencije su uočena kod dve grupe paralelno savijenih i kod jedne grupe poprečno savijenih uzoraka. Paralelno savijeni uzorci gramature od 115 g/m² skenirani sa uglom od 90° i uzorci gramature 150 g/m² skenirani u ravnom položaju (ugao 180°) imaju veće vrednosti belih piksela od uzoraka narednih gramatura skeniranih sa istom geometrijom položaja. Kod poprečno savijenih papira, takva situacija se javila samo kod ravno skeniranih uzoraka gramature 130 g/m².

Analizom rasipanja rezultata pomoću koeficijenta varijacije (KV) se može zaključiti da najveća vrednost KV-e je zabeležena kod paralelno savijenih papira gramature 90 g/m² pri ravnom skeniranju (67.54%). Najmanju vrednost KV-e ima poprečno savijen papir gramature 150 g/m² skeniran u potpuno savijenom obliku (4.63%). Upoređujući rezultate KV-a po smerovima savijanja, može se uočiti da poprečno savijeni papiri imaju niže vrednosti KV-e (tj. manju standardnu devijaciju) od paralelno savijenih uzoraka. To ukazuje da su digitalni uzorci poprečno savijenih papira bolje predstavljali stohastičnu strukturu oštećenja od digitalnih uzoraka paralelno savijenih papira (kod kojih su neke slike potpuno bez oštećenja, dok druge sa većom količinom). Sa prikazanih slika 6.1a i b se može videti da najmanje vrednosti koeficijenta varijacije kod paralelnih uzoraka su zabeležene kod ugla postavljanja od 0° za sve gramature, dok u većini slučajeva najveće su dobijene kod ravno (180°) skeniranih uzoraka (4 od 5 uzoraka). Poprečno savijeni uzorci imaju slične rezultate koeficijenta varijacije: najmanje vrednosti su zabeležene kod potpuno savijenih (0°), dok najveće kod potpuno otvorenih (180°) uzoraka u svim gramaturama ispitanih papira.

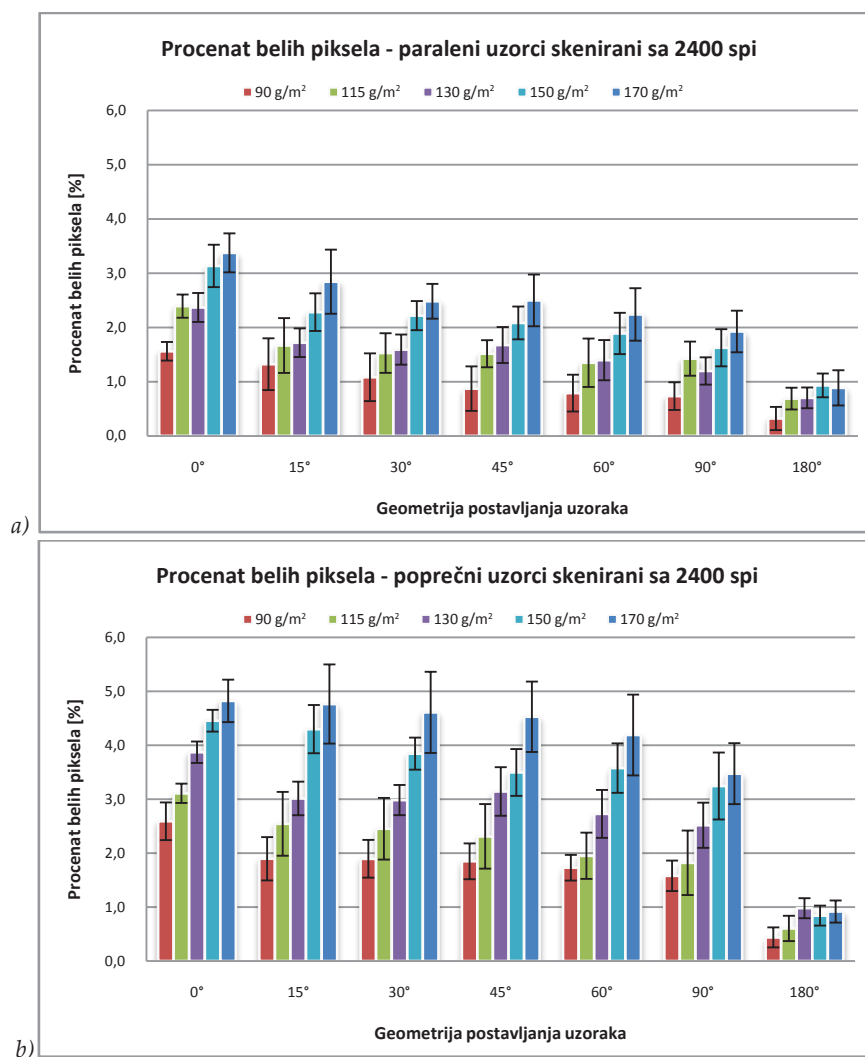


Slika 6.1 – Grafički prikaz rezultata procenta belih piksela za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke skeniranih sa rezolucijom od 1200 spi pri različitom geometrijom postavljanja uzoraka (uglovima)

Rezultati za uzorke u oba smeru savijanja skeniranih sa rezolucijom od 2400 spi su predstavljeni na slici 6.2a (paralelni uzorci) i 6.2b (poprečni uzorci).

Uticaj smera vlakanca na procenat belih piksela je potvrđen i kod uzoraka skeniranih sa 2400 spi. Bez izuzetaka, sve vrednosti dobijene za poprečno savijene uzorke su veće (raspon: 0.43826 ÷ 4.82061) od odgovarajućih vrednosti uzoraka savijenih paralelno sa smerom vlakanca (raspon: 0.32091 ÷ 3.37387).

Rezultati uzoraka skeniranih rezolucijom od 2400 spi, takođe, potvrđuju pozitivnu korelaciju gramature i količine belih piksela, tj. oštećenja na posmatranim uzorcima: sa povećavanjem gramature povećava se i procenat belih piksela kod većine ispitanih papira. Kod paralelno savijenih uzoraka u tri slučaja su dobijene nešto veće vrednosti za niže gramature: kod uzoraka od 115 g/m² skeniranih sa 0° i 90°, odnosno kod uzoraka gramature od 150 g/m² skeniranih sa 180°. Kod poprečno savijenih uzoraka takvo odstupanje je zabeleženo samo za gramaturu 130 g/m² i to za ravno skenirane uzorke.



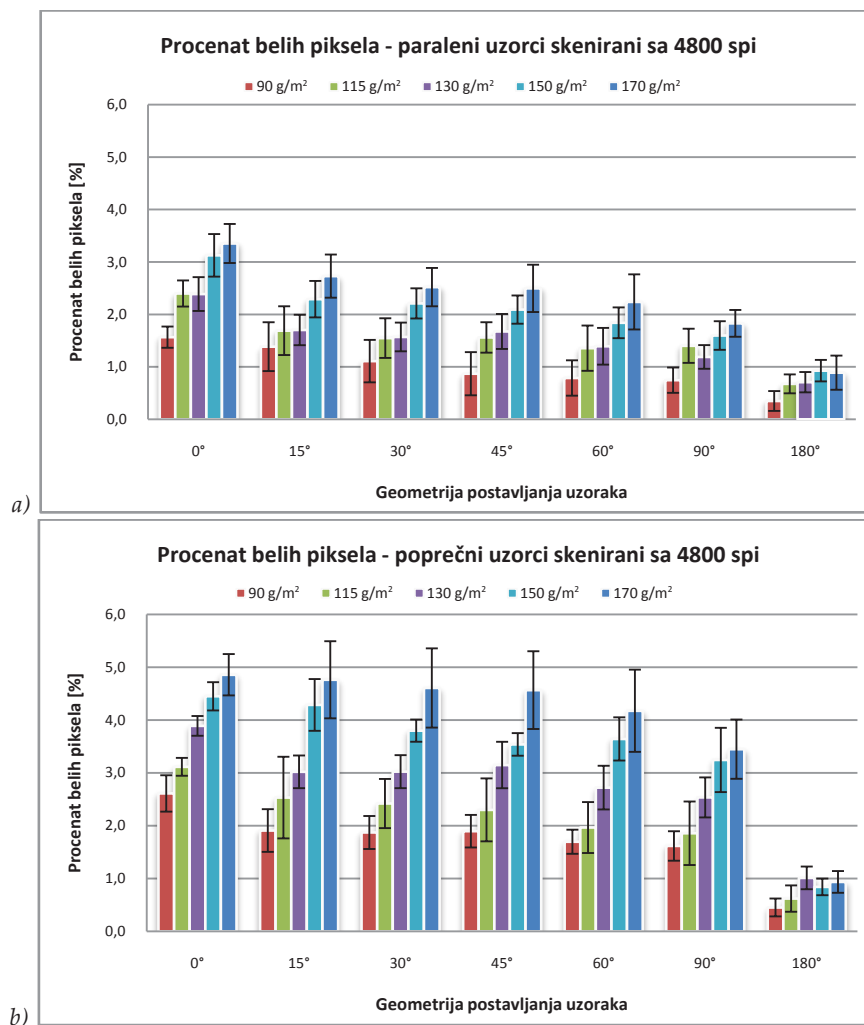
Slika 6.2 – Grafički prikaz rezultata procenta belih piksela za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke skeniranih sa rezolucijom od 2400 spi pri različitom geometrijom postavljanja uzoraka (uglovima)

Vrednosti koeficijenta varijacije ukazuju na ujednačenu strukturu ispitanih papira savijenih u poprečnom smeru i skeniranih u potpunom zatvorenom obliku (ugao 0°). Raspon koeficijenta varijacije za te spomenute uzorke je od 5.96% do 13.45%. Za isti ugao (ugao 0°) skeniranja su dobijene najmanje vrednosti KV-a u većini slučajeva i kod paralelnih uzoraka (8.95% ÷ 12.47%), mada su one nešto veće u odnosu na poprečno savijene uzorke. Najveće vrednosti KV-a su ponovo tipične za ugao skeniranja od 180° i to skoro kod svih uzoraka u oba smera savijanja (raspon: 23.52% ÷ 66.51% za paralelne uzorke, 17.91% ÷ 38.38% za poprečne uzorke).

Rezultati procenta belih piksela dobijenih skeniranjem sa rezolucijom od 4800 spi za paralelno savijene uzorke su predstavljani grafički na slici 6.3a, a za poprečno savijene uzorke na slici 6.3b.

Raspon dobijenih rezultata kod paralelnih uzoraka je od 0.34954 do 3.35252, dok poprečni uzorci imaju veće vrednosti procenta belih piksela i kreću se u rasponu od 0.45322 do 4.85828. Sa prikazanih grafikona se može videti, da srednje vrednosti procenta belih piksela

i kod najveće rezolucije skeniranja se povećavaju sa porastom gramature ispitanih papira što je potvrđeno skoro u svim slučajevima. Manja odstupanja su zabeležena kod paralelno savijenih uzoraka gramature 115 g/m² skeniranih sa 0° i uzoraka gramature od 150 g/m² skeniranih sa 180° (vrednosti procenata belih piksela su neznatno veće od uzoraka 130 g/m² i 170 g/m² skeniranih pod istim uslovima) dok je razlika između uzoraka od 115 g/m² i 130 g/m² skeniranih pod uglom od 90° je nešto veća (Slika 6.3a). Kod poprečno savijenih uzoraka odstupanje od pomenutog trenda je uočeno samo kod ravno skeniranih uzoraka. Uzorci gramature 130 g/m² skenirani sa uglom od 180° su rezultirali veću srednju vrednost u odnosu na uzorke izrađene i od 150 g/m² i od 170 g/m² papira (Slika 6.3b).



Slika 6.3 – Grafički prikaz rezultata procenta belih piksela za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke skeniranih sa rezolucijom od 4800 spi pri različitim geometrijom postavljaja uzoraka (uglovima)

Po vrednostima KV-e kod poprečnih uzoraka se može uočiti manje rasipanje dobijenih rezultata. Najmanja vrednost KV-a je zabeležena kod 130 g/m² poprečno savijenog papira i iznosi manje od 5% (4.8%) što ukazuje na vrlo konzistentne rezultate merenja. Kao i kod nižih rezolucija, najveća vrednost KV-a od 54.15% je zabeležena kod paralelno savijenog 90 g/m² papira pri skeniranju od 180°. Posmatrajući ostale uzorke sa različitim gramaturama i smerom savijanja, može se utvrditi da u većini slučajeva pod istim uglom (180°) su registrovane najveće vrednosti KV-e i to u oba smera savijanja.

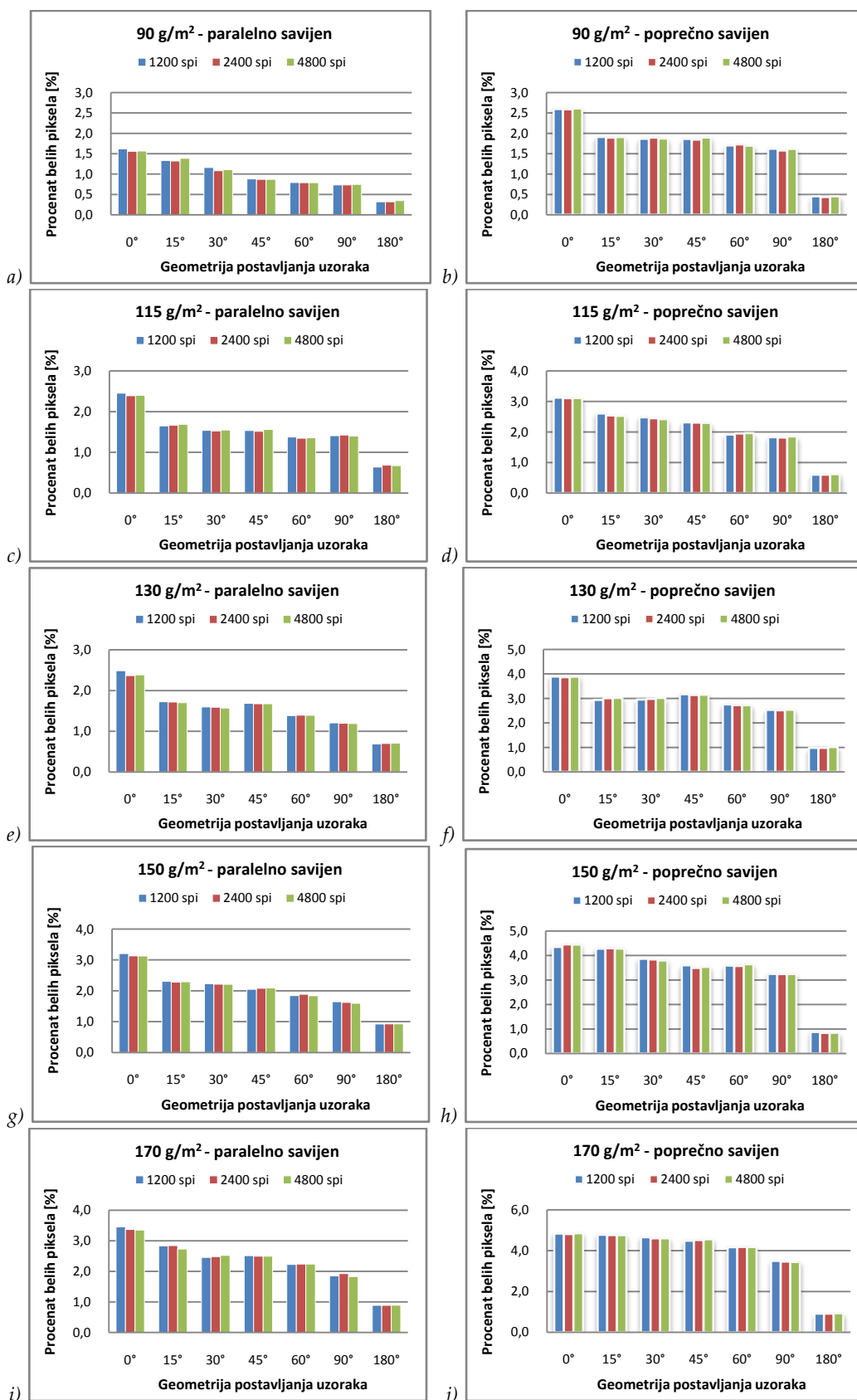
6.1.1.1.1. Uticaj rezolucije skeniranja na procenat belih piksela

Radi jednostavnije uporedne analize rezultata po rezolucijama skeniranja, u nastavku su dati dijagrami po gramaturi i smeru savijanja uzoraka (Slika 6.4a-j). Sa prikazanih dijagrama se lako uočava da većina ispitanih grupa ima približne srednje vrednosti za različite rezolucije, mada se mogu videti i manja odstupanja kod nekih uzoraka (npr. paralelno savijeni uzorci gramature 90 g/m² skenirani sa uglom od 0°, 15° i 30°). Da bi se utvrdilo da li su te razlike statistički značajne ili ne, izvršena je statistička analiza podataka sa odgovarajućim metodama.

Za utvrđivanje statističke značajnosti uticaja rezolucije skeniranja na procenat belih tačaka korišćena je jednofaktorska analiza varijanse različitih grupa (jednofaktorska ANOVA). Jednofaktorska ANOVA različitih grupa ispituje promenljivost rezultata jedne zavisne promenljive između grupa sa promenljivošću rezultata iste promenljive unutar grupa za jednu nezavisnu promenljivu (Montgomery i Runger, 2003; Pallant, 2007). Zavisna promenljiva je u ovom slučaju procenat belih piksela za sve gramature, uglova skeniranja i smeru vlakana, dok nezavisnu promenljivu predstavlja rezolucija skeniranja. Pre nego što se pristupilo analizi varijanse, bilo je neophodno utvrditi homogenost varijanse Leveneovim testom (Pallant, 2007). Značajnost u testu homogenosti (Tabela III.1, Prilog III) je svugde bila veća od 0.05, stoga je potvrđena pretpostavka homogenosti varijansne kod svake analizirane grupe.

Vrednosti statističke značajnosti (Sig.) kod jednofaktorske analize varijanse za sve ispitane grupe se kreću od 0.383 do 0.998 za paralelne uzorke, odnosno od 0.372 do 0.999 za poprečne uzorke. Na osnovu sprovedene analize utvrđeno je da ne postoji statistička značajna razlika između grupa po rezoluciji skeniranja pri pragu značajnosti od 0.05 ($p < 0.05$). Tabele za kompletan pregled dobijenih rezultata analize uticaja rezolucije na procenat belih piksela za sve skenirane uzorke se nalaze u prilogu (Tabela III.2, Prilog III). Iako rezultati sprovedene statističke analize potvrđuju da ne postoji statistički značajna razlika između grupa po primenjenoj rezoluciji, to ne znači da su srednje vrednosti jednake i o tome se mora voditi računa prilikom evaulacije.

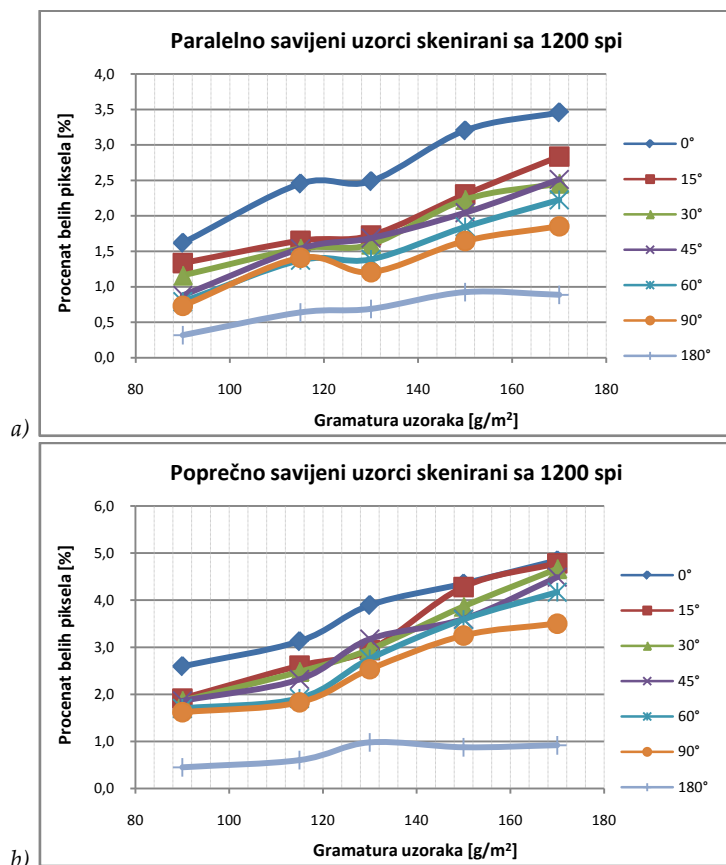
Rezolucija skeniranja ne utiče na dobijene vrednosti belih piksela pod navedenim uslovima odabira površine uzorkovanja (kada se većim delom skeniraju iste površine).



Slika 6.4 – Grafički prikaz uporedne analize uticaja rezolucije skeniranja na rezultate procenata belih piksela po smerovima savijanja (paralelno savijanje - a, c, e, g, i; poprečno savijanje - b, d, f, h, j) i po gramaturama uzoraka (90 g/m² - a,b; 115 g/m² - c, d; 130 g/m² - e, f; 150 g/m² - g, h; 170 g/m² - i, j)

6.1.1.1.2. Uticaj unutrašnjeg ugla postavljanja uzoraka na procenat belih piksela

Radi preglednijeg upoređivanja rezultata za analizu uticaja unutrašnjeg ugla postavljanja uzoraka na procenat belih piksela, u nastavku su dati linijski dijagrami dobijenih rezultata. Shodno analizi uticaja rezolucije na procenat belih piksela, da se rezultati ne razlikuju statistički značajno po primenjenoj rezoluciji, rezultati su prikazani samo za rezoluciju skeniranja od 1200 spi u oba pravca savijanja materijalnih uzoraka (Slika 6.5a i b).



Slika 6.5 – Grafički prikaz rezultata procenta belih piksela za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke skeniranih sa rezolucijom od 1200 spi

Posmatrajući uticaj veličine unutrašnjeg ugla postavljanja (ili geometrijskog položaja) uzoraka pri skeniranju na promene vrednosti procenta belih piksela, može se zaključiti da sa povećanjem unutrašnjeg ugla postavljanja uzoraka rezultati procenta belih piksela opadaju kod svih uzoraka savijenih u oba pravca savijanja. Kod paralelnih uzoraka najveće vrednosti procenta belih piksela se mogu uočiti za ugao od 0°, dok najmanje vrednosti su zabeležene pri ravnom skeniranju, tj. pri unutrašnjem uglu od 180°. Kod poprečno savijenih uzoraka, ravno skenirani uzorci (180°) su dali znatno manje vrednosti procenta belih piksela u odnosu na ostale uglove, dok izdvajanje ugla od 0° nije toliko izražena (pogotovo kod većih gramatura).

Pored već pomenutog jasnog diferenciranja dobijenih rezultata za uglove 180° i 0° u odnosu na ostale ispitane uglove sa prikazanih dijagrama (Slika 6.5a i b) može se videti da su vrednosti belih piksela kod uzoraka skeniranih pri uglovima 15°- 90° za neke gramature

veoma bliske. Da bi se utvrdila statistička značajnost razlika između tih grupa (i da se ne radi o slučajnim razlikama), izvršena je jednofaktorska analiza varijanse po uglovima skeniranja. U analizu varijanse su bile uključene sve grupe po uglovima i rezolucijama. Rezultati Leveneovog testa homogenosti varijanse ukazuju na neujednačenu strukturu grupa po pogledu promenljivosti rezultata (varijanse), jer od 30 ispitanih grupa kod 21 nije potvrđena homogenost varijanse (Tabela III.3, Prilog III). Prilikom analize rezultata ANOVA-e (Tabela III.4, Prilog III) za te grupe su uzete vrednosti Brown-Forsythe testa, koji nije osetljiv na nehomogenosti varijanse grupe (Tabela III.5, Prilog III).

Test značajnosti analize varijanse nesporno ukazuje na postojanje statističko značajne razlike između svih grupa uzoraka sa različitim uglovima postavljanja, bez obzira da li su savijeni paralelno ili poprečno, odnosno pri kojoj rezoluciji su skenirani. Vrednosti eta-kvadrata su rasponu od 0.55530 do 0.90469 (gledajući zajedno za oba smera savijanja), pri čemu, po Koenu, vrednosti eta-kvadrata iznad 0.14 obeležavaju veliki uticaj nezavisne promenljive (Pallant, 2007). Takvi rezultati su bili i očekivani, s obzirom da su svi uglovi bili uključeni u analizu, a ranije već bilo utvrđeno da ugao 180° se uvek razlikuje po rezultatima od ostalih, dok ugao 0° delimično ima preklapanja. Kako ANOVA ne daje informacije o tome tačno koje grupe se razlikuju, naknadnim testom (Dunett T3) je utvrđeno između kojih grupa (u ovom slučaju uglova) postoji još statistički značajna razlika pored pomenutih 0° i 180°.

Zbog obimnosti rezultata Dunetovog T3 testa, ovde je izneto samo osnovni rezime dobijenih analiza, dok su tabele za detaljniji pregled naknadne provere značajnosti razlike u varijansama posmatranih grupa su date u priložima (Tabele III.6-III.11, Prilog III).

Na osnovu rezultata Dunetovog T3 testa, samo za ugao 180° se može ustanoviti statistička značajna razlika u srednjim vrednostima u odnosu na ostale uglove, dok kod ostalih uglova (čak i kod 0°) postoje kombinacije grupa (tj. uglova) kod kojih srednje vrednosti međusobno se ne razlikuju statistički značajno. Kod paralelnih uzoraka uglovi 15°-30°, 30°-45° i 60°-90° se mogu izdvojiti sa sličnim srednjim vrednostima kod svih gramatura. Iako kod poprečnih uzoraka postoji veći broj kombinacija uglova bez statističke značajne razlike u odnosu na paralelno savijene uzorke, ipak samo za jedan par uglova su dobijene slične srednje vrednosti kod svih gramatura (30° i 45°). Po rezolucijama nema razlike u dobijenim rezultatima (shodno rezultatima analize uticaja veličine rezolucije na procenat belih piksela).

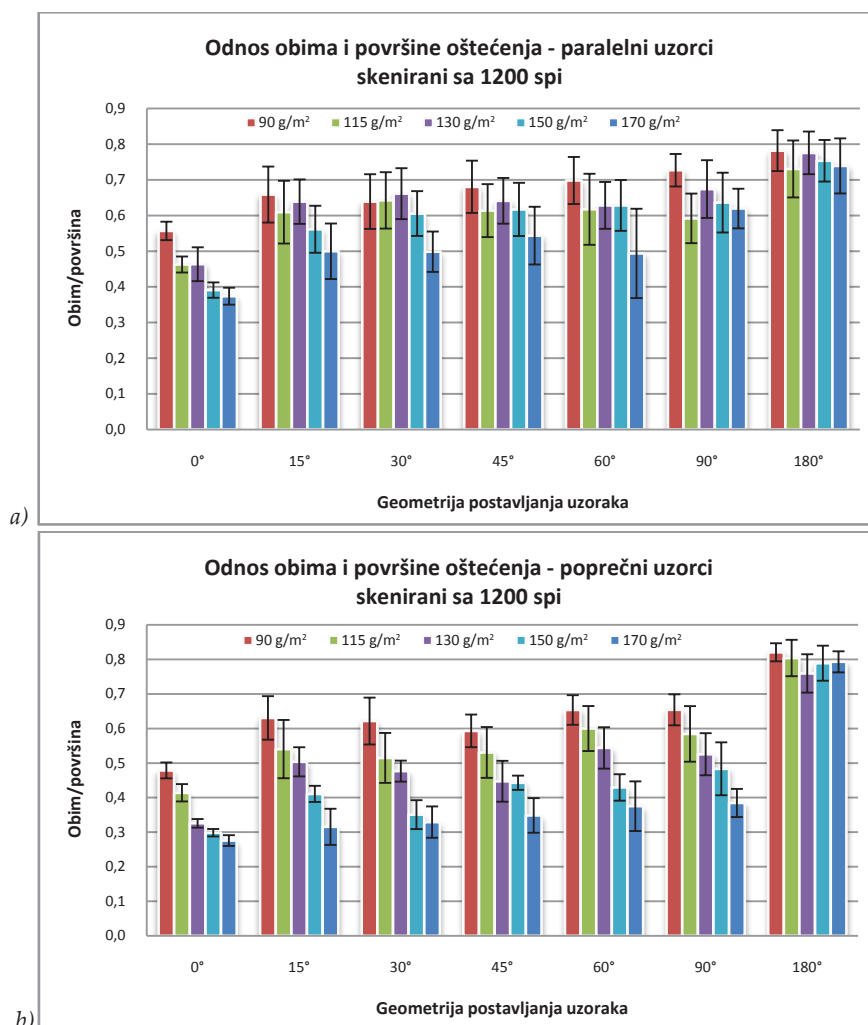
Prema izloženim se može konstatovati da nije svejedno pod kojim uglovima se vrši skeniranje – radi lakšeg upoređivanja dobijenih rezultata za nove premaze, neophodno je odabrati jedan eventualno dva ugla pod kojim će se uzorci postavljati prilikom digitalizacije ukoliko je reč o skeniranju. Kod paralelno savijenih uzoraka se može izdvojiti opšti zaključak da ima više grupa kod kojih srednje vrednosti se međusobno statistički značajno razlikuju.

6.1.1.2. Odnos obima i površine oštećenja kod skeniranih uzoraka

Dobijeni rezultati odnosa obima i površine oštećenja za uzorke skeniranih su predstavljeni u ovom delu po grupama analize (kao i rezultati procenta belih piksela). Prvo sledi opšti pregled srednjih vrednosti sa vrednostima standardne devijacije i koeficijenta varijacije po

gramaturi i smeru savijanja uzoraka, zatim su date analize uticaja rezolucije skeniranja kao i promene unutrašnjih uglova postavljanja uzoraka pri skeniranju.

U nastavku su predstavljeni rezultati odnosa obima i površine detektovanih oštećenja pri skeniranju sa rezolucijom od 1200 spi. Na slici 6.6 su dati rezultati paralelno savijenih uzoraka, dok slika 6.6b prikazuje rezultate poprečno savijenih uzoraka.



Slika 6.6 – Grafički prikaz rezultata odnosa obima i površine oštećenja za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke skeniranih sa rezolucijom od 1200 spi i različitom geometrijom (uglovima) postavljanja uzoraka

Upoređujući rezultate po smerovima savijanja može se utvrditi da su veće vrednosti zabeležene za paralelno savijene uzorke u odnosu na poprečno savijene kod uglova postavljanja od 0° - 90° (paralelni uzorci: 0.37361 ÷ 0.72659; poprečni uzorci: 0.27570 ÷ 0.65389). Takvi dobijeni rezultati ukazuju na različito ponašanje premaza pri savijanju po smeru vlakanca papira. Kod paralelnih uzoraka ne samo da se pojavljuju količinski manja oštećenja (procenat belih piksela), već su ta oštećenja i sitnija. Kod ravno skeniranih uzoraka (ugao 180°) poprečno savijeni uzorci imaju veće vrednosti u odnosu na paralelne, mada su razlike manje izražene nego kod drugih uglova (paralelni uzorci: 0.73019 ÷ 0.78156, poprečni uzorci: 0.75913 ÷ 0.82031).

Vrednosti koeficijenta varijacije analiziranih rezultata su u rasponu od 5.51% do 25.36% za paralelne, odnosno od 3.19% do 19.15% za poprečne uzorke. Pregledom dobijenih rezultata je primećeno da uzorci skenirani sa uglom postavljanja od 0°, kako kod paralelnog, tako i kod poprečnog savijanja, imaju značajno manje rasipanje izmerenih rezultata u odnosu na ostale uzorke (vrednosti KV-e su od 3.19% do 7.71%). Kod ostalih uglova se isto mogu videti niske vrednosti KV-e za pojedine gramature, ali posmatrajući u celosti samo je ugao 0° dao ujednačeno merenje za sve gramature i to u oba smera savijanja.

Sa prikazanog dijagrama za poprečno savijene uzorke (Slika 6.7b) se može videti da vrednosti odnosa obima i površine registrovanih oštećenja za uglove 0°-90° opadaju sa porastom gramature. Kod paralelnih uzoraka (Slika 6.7a) takvo ujednačeno opadanje nije opaženo ni kod jedne grupe (grupa uzoraka savijenih do 0° pri skeniranju je bila najbliže opadajućem trendu, ali proverom rezultata u tabeli II.4, Prilog II, vidi se da je srednja vrednost odnosa obima i površine na 130 g/m² uzorcima za 0,0008 veća u odnosu na 115 g/m² uzorke, a trebalo bi da je manja). Pri ravnom skeniranju (ugao 180°) ne postoji jasan opadajući trend odnosa obima i površine pri porastu gramature, ni kod paralelnih ni kod poprečnih uzoraka.

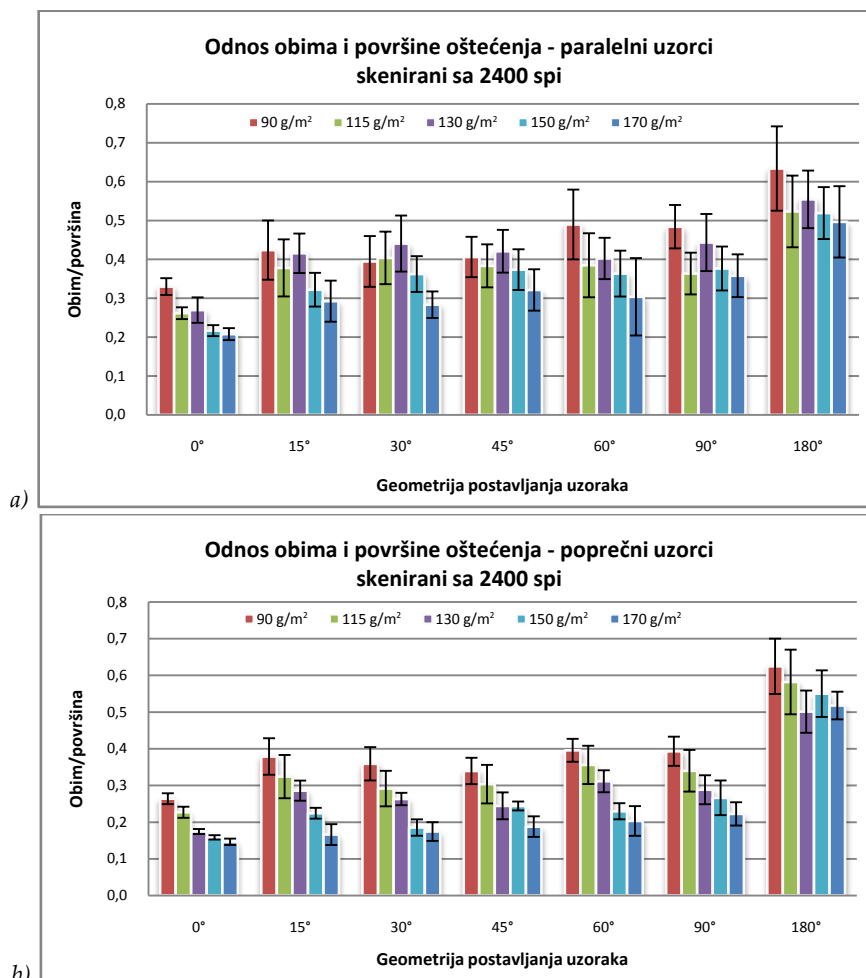
Rezultati uzoraka skeniranih sa rezolucijom od 2400 spi su predstavljeni na slici 6.7a (paralelno savijeni uzorci) i na slici 6.7b (poprečno savijeni uzorci).

Kao i kod prethodne rezolucije, analizom prikazanih rezultata po smeru savijanja se može uočiti da za uglove 0°-90° vrednosti dobijene za paralelno savijene uzorke su veće bez izuzetaka (raspon: 0.20778 ÷ 0.48406) od odgovarajućih vrednosti rezultata uzoraka savijenih poprečno na smer vlakana (raspon: 0.14628 ÷ 0.39311). Ovakva razlika u rezultatima po smerovima savijanja, kao što je već bilo ustanovljeno kod rezolucije 1200 spi, karakteriše različitu strukturu oštećene površine usled savijanja. Posmatrajući rezultate za poprečno savijene uzorke na slici 5.8b se može izdvojiti još jedna specifičnost. Naime, vrednosti odnosa obima i površine za ravno skenirane uzorke su znatno veće od ostalih uglova. Takvo značajno diferenciranje rezultata kod rezolucije od 1200 spi nije uočeno.

Analizom rezultata po gramaturi ispitanih papira samo kod poprečnih uzoraka se može uočiti jasan trend opadanja odnosa obima i površine oštećenja kod pomenutih uglova (0°-90°). Kod njih sa porastom gramature povećava se i površina pojedinačnih oštećenja, od sitnijih za papire gramature 90 g/m² do krupnijih za papire gramature 170 g/m², rezultirajući sve manjim i manjim vrednostima proporcije obima i površine. Kod paralelnih uzoraka ne postoji trend opadanja odnosa obima i površine oštećenja sa porastom gramature. Kod njih, iako dolazi do povećanja ukupne količine oštećenja, površina pojedinačnih oštećenja se ne povećava značajno. Kod ravno skeniranih uzoraka uočene su neke razlike po smeru savijanja i po gramaturi uzoraka u odnosu na druge uglove. Kao prvo može se izdvojiti, da rezultati ne prate linearni trend ni kod poprečno savijenih uzoraka. Drugo, dobijene vrednosti po smerovima savijanja su veoma bliske: paralelni uzorci su rasponu od 0.50097 do 0.62460, dok poprečni od 0.49647 do 0.63361.

Koeficijenti varijacije su u rasponu od 5.80% do 32.75% kod paralelnih, odnosno od 3.76% do 19.92% kod poprečnih uzoraka. Najmanje vrednosti KV-e su uočene kod ugla

postavljanja od 0° kod oba pravca savijanja papira, dok za najveće vrednosti se ne može izdvojiti nijedan ugao postavljanja.



Slika 6.7 – Grafički prikaz rezultata odnosa obima i površine oštećenja za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke skeniranih sa rezolucijom od 2400 spi i različitom geometrijom (uglovima) postavljanja uzoraka

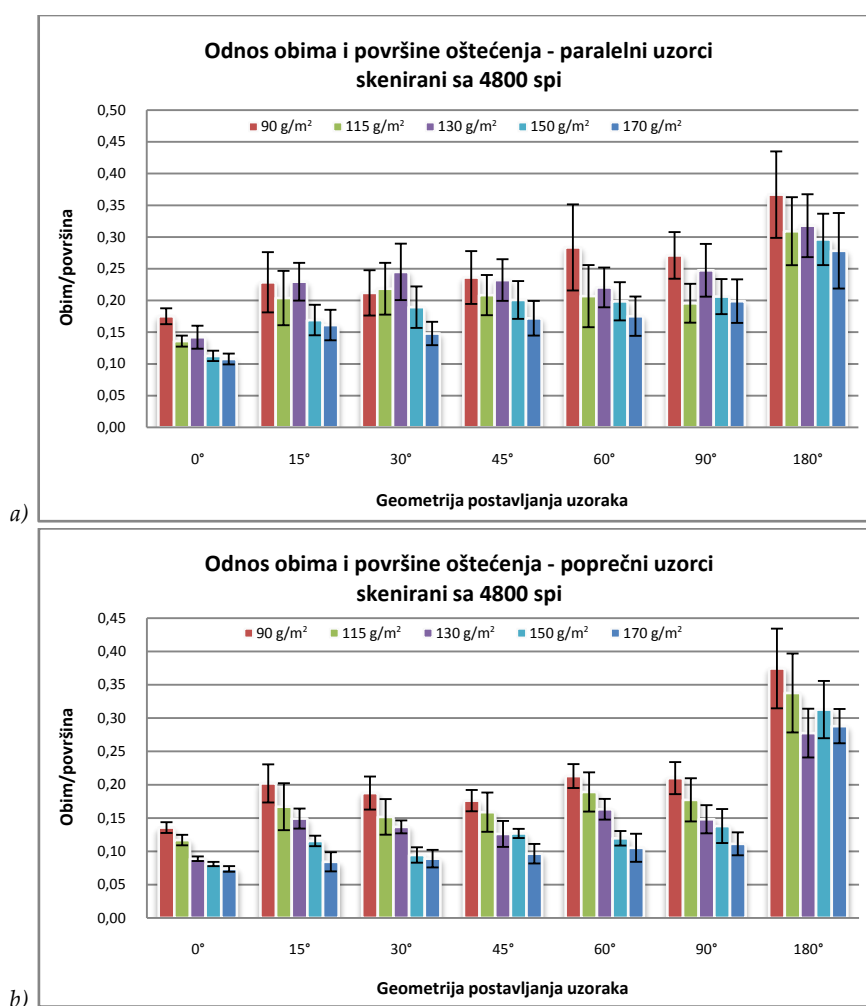
U nastavku su dati rezultati odnosa obima i površine detektovanih oštećenja paralelno (Slika 6.8a) i poprečno savijenih uzoraka (Slika 6.8b) skeniranih sa najvećom odabranom rezolucijom od 4800 spi.

Iz prikazanih dijagrama je lako uočiti, da struktura dobijenih rezultata za rezoluciju skeniranja od 4800 spi ne odstupa značajno od struktura uočenih kod nižih rezolucija. Analizom rezultata po smerovima savijanja utvrđeno je kao i kod prethodnih rezolucija, da za uglove 0°-90° kod paralelnih uzoraka dobijene su veće vrednosti u odnosu na poprečno savijene uzorke (paralelni: 0.10775 ÷ 0.28351, poprečni: 0.07360 ÷ 0.21298). Kod ravno skeniranih uzoraka rezultati se ne razlikuju značajno: poprečni uzorci imaju neznatno veće vrednosti skoro kod svih ispitanih papira (razlike se kreću u rasponu od 0.00778 do 0.04029).

Tendencija opadanja vrednosti odnosa obima i površine oštećenja sa porastom gramature ispitanih papira savijenih poprečno na smer vlakancaca za uglove 0°-90° potvrđena je i pri

najvećoj korišćenoj rezoluciji skeniranja (Slika 6.8b). Sa prikazane slike se takođe može uočiti velika razlika između rezultata dobijenih za ugao 180° u odnosu na ostale uglove. Takva značajna razlika je registrovana samo kod rezolucije od 4800 spi.

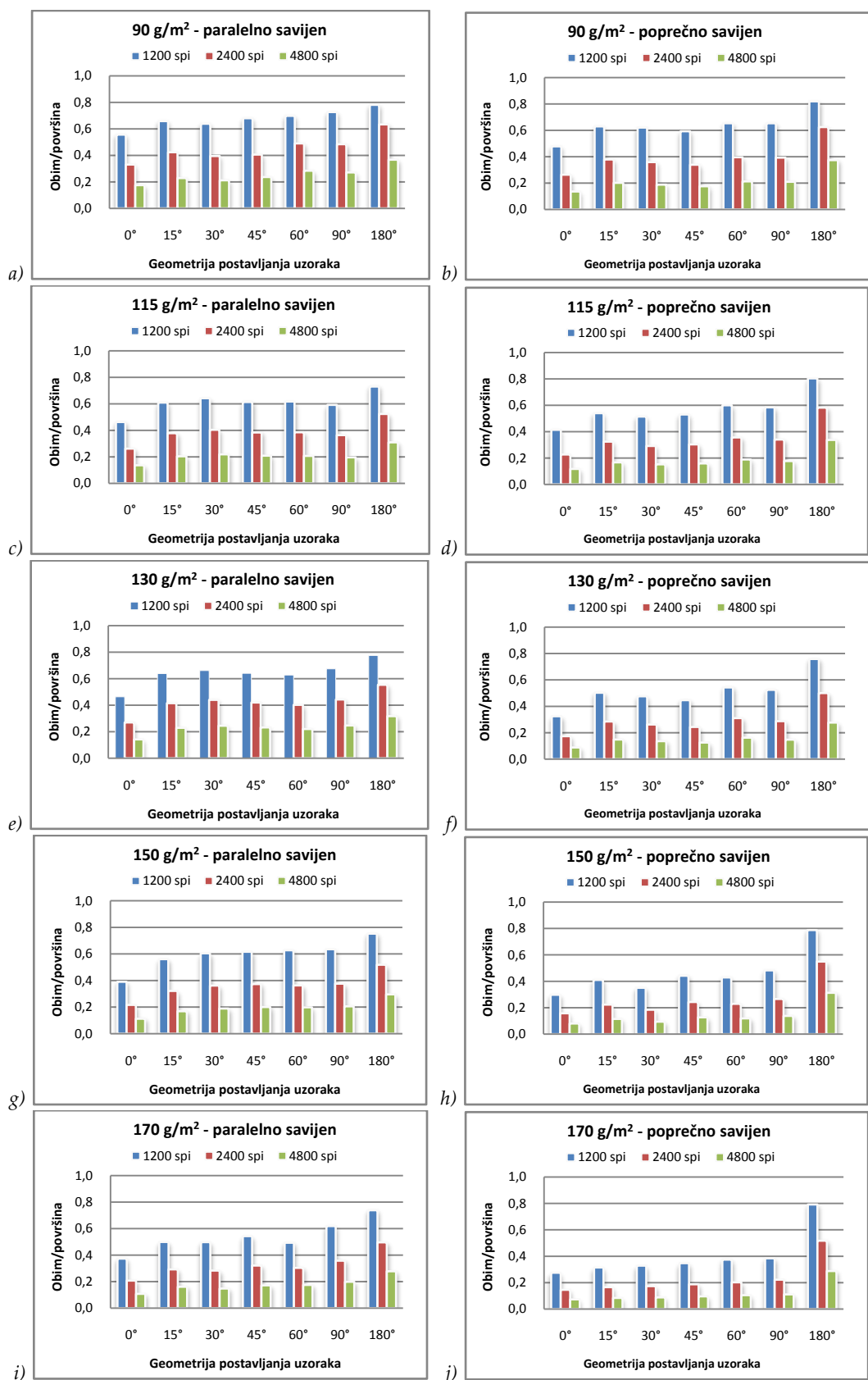
Analizom standardne devijacije i koeficijenta varijacije može se zaključiti da one pokazuju veće rasipanje izmerenih rezultata kod paralelno savijenih uzoraka (raspon KV-e je od 6.37% do 23.92%) u odnosu na odgovarajuće poprečno savijene uzorke (raspon KV-e je od 3.90% do 21.09%), i to skoro kod svih uglova skeniranja. Bitno je napomenuti, da su vrednosti KV-a za poprečno savijene uzorke skeniranih u potpunom savijenom obliku (ugao 0°) vrlo male (3.90%-6.74%) označavajući konzistentnu strukturu izmerenih rezultata.



Slika 6.8 – Grafički prikaz rezultata odnosa obima i površine oštećenja za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke skeniranih sa rezolucijom od 4800 spi i sa različitom geometrijom (uglovima) postavljanja uzoraka

6.1.1.2.1. Uticaj rezolucije na odnos obima i površine oštećenja kod skeniranih uzoraka

Sa ciljem za što jednostavnije analize uticaja rezolucije na odnos obima i površine detektovanih oštećenja, formirani su dijagrami po gramaturi i smeru savijanja ispitanih uzoraka. Dijagrami su dati na slici 6.9, sa oznakama *a, c, e, g, i* za paralelne uzorke, odnosno *b, d, f, h i j* za poprečne uzorke.



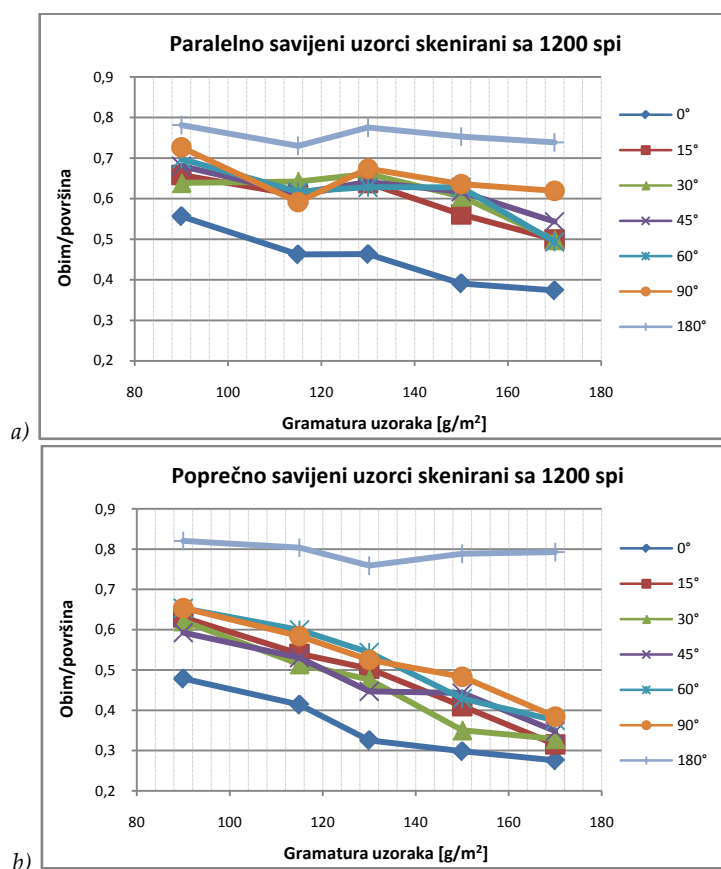
Slika 6.9 – Grafički prikaz uticaja rezolucije skeniranja na rezultate odnosa obima i površine oštećenja po smerovima savijanja (paralelni uzorci - a, c, e, g, i; poprečni uzorci - b, d, f, h, j) i po gramaturama uzoraka (90 g/m² - a, b; 115 g/m² - c, d; 130 g/m² - e, f; 150 g/m² - g, h; 170 g/m² - i, j)

Analizom dobijenih rezultata uočena je jasna tendencija opadanja vrednosti proporcije obima i površine oštećenja sa povećanjem rezolucije i to na svim ispitanim uzorcima, bez obzira na smer savijanja ili unutrašnjeg ugla postavljanja uzoraka pri skeniranju. Kao što se može videti, proporcije obima i površine nemaju jedinstven trend promene, jer sa povećanjem rezolucije brojčane vrednosti obima i površine drugačije rastu: količina piksela za definisanje površine sa povećanjem rezolucije se povećava kvadratno, dok za obim samo proporcijalno (tj. linearno) više.

S obzirom na vidljivu razliku u prikazanim rezultatima, nije bila potrebna dalja statistička analiza za utvrđivanje statističke značajnosti uticaja rezolucije na vrednosti odnosa obima i površine oštećenja.

6.1.1.2.2. Uticaj unutrašnjeg ugla postavljanja uzoraka na odnos obima i površine oštećenja kod skeniranih uzoraka

U nastavku su prikazani linijski dijagrami dobijenih rezultata odnosa obima i površine oštećenja po uglovima postavljanja uzoraka pri skeniranju. S obzirom da se rezultati razlikuju po primenjenoj rezoluciji skeniranja, na slikama 6.10 - 6.12 su predstavljeni i po rezolucijama skeniranja od 1200 spi, 2400 spi i 4800 spi i po smeru savijanja uzoraka (a-paralelno, b-poprečno).

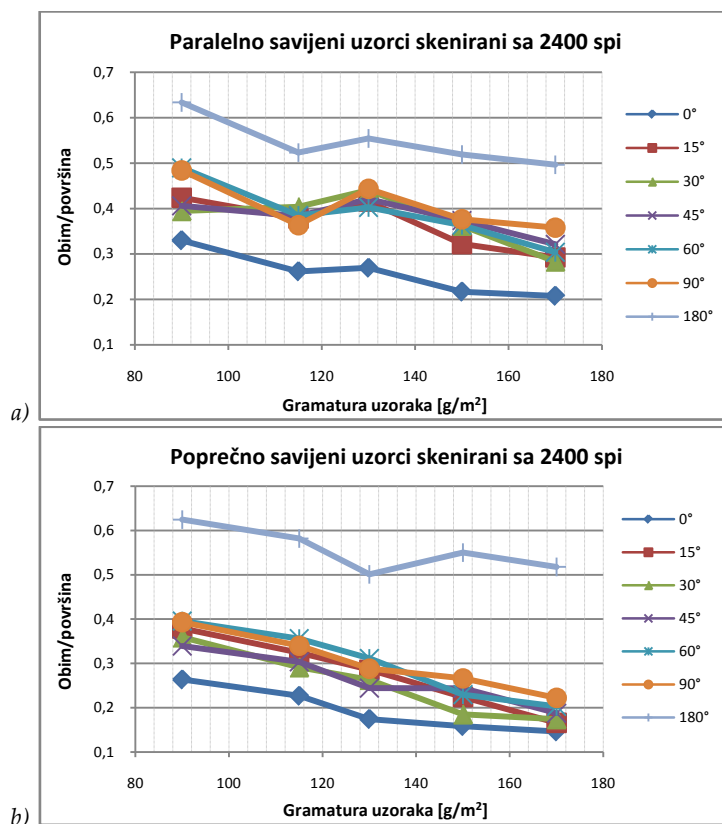


Slika 6.10 – Prikaz rezultata odnosa obima i površine oštećenja za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke skeniranih sa rezolucijom od 1200 spi

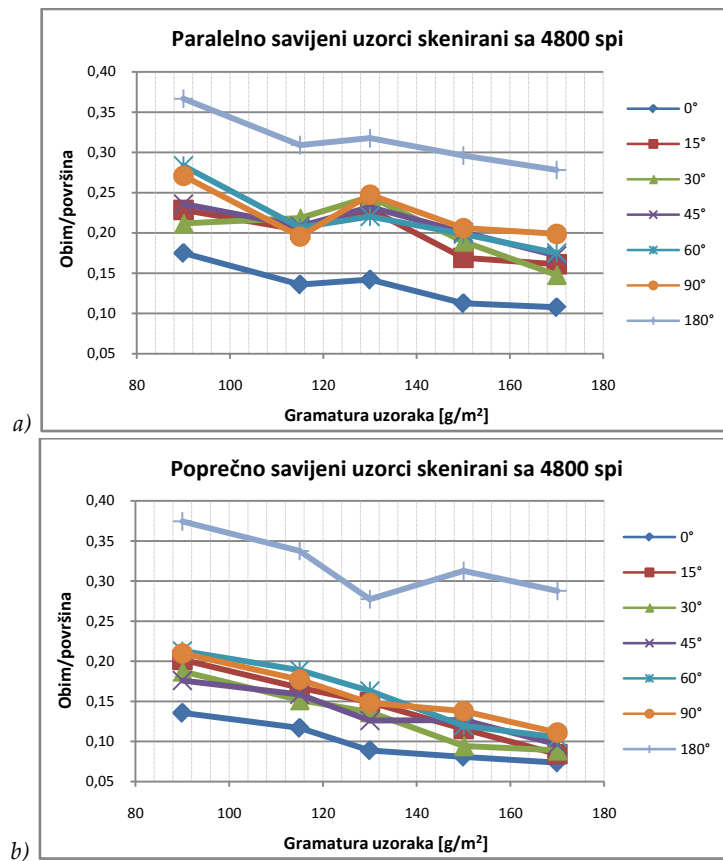
Posmatrajući uglove skeniranja za najnižu rezoluciju skeniranja, utvrđeno je da su sa najmanjim unutrašnjim uglom (ugao 0°) dobijene najmanje vrednosti odnosa obima i površine oštećenja pri svakoj rezoluciji skeniranja i u oba smeru savijanja, dok su najveće vrednosti zabeležene za ravno skenirane uzorke (ugao 180°), takođe pri svim rezolucijama i smeru savijanja.

Rezultati u oba smeru savijanja opadaju sa povećavanjem gramature ispitanih uzoraka kod svih uglova postavljanja. Ravnomerniji pad je uočen kod poprečno savijenih uzoraka ukazivši tako na ravnomernu promenu veličine površine detektovanih oštećenja usled promene unutrašnjeg ugla postavljanja pri skeniranju. To nam govori da pri paralelnom savijanju datih ispitanih papira dolazi do različitog formiranja oštećenja sa porastom gramature. Uzorci od 115 g/m^2 papira imaju manje vrednosti pa tako krupnija oštećenja, dok uzorci 130 g/m^2 sa većim vrednostima odnosa obima i površine imaju sitniju stukturu oštećenja na papiru. Kod ravno skeniranih uzoraka u nekim situacijama dolazi do potpunog nestanka sitnih oštećenja (na šta ukazuju i male vrednosti procenta belih piksela na slikama 6.6a i b) pa tako odnos obima i površine ukupnih oštećenja se maksimalizuje.

Diferenciranje rezultata za uglove 0° i 180° (naročito za 180°) od rezultata dobijenih sa ostalim uglovima je bilo očekivano s obzirom da ti uglovi odgovaraju graničnom položaju ispitanih uzoraka pri skeniranju. Uglovi između tih graničnih vrednosti (15° - 90°) su rezultirali vrlo bliske vrednosti odnosa obima i površine za oba smeru savijanja, što se jasno vidi na slikama 6.10-6.12.



Slika 6.11 – Grafički prikaz rezultata odnosa obima i površine oštećenja za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke skeniranih sa rezolucijom od 2400 spi



Slika 6.12 – Grafički prikaz rezultata odnosa obima i površine oštećenja za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke skeniranih sa rezolucijom od 4800 spi

Primenom jednofaktorske analize varijanse je izvršena provera statističke značajnosti razlika u srednjim vrednostima između tih uglova. Količina dobijenih rezultata sprovedenih testova homogenosti varijanse ispitanih grupa (Leveneov test), jednofaktorske analize varijanse, odnosno naknadnog poređenja rezultata (Dunetov T3 test) nalaže da tabele sa rezultatima budu smeštene među priloge. Ovde je izneta samo osnovna analiza rezultata sa zaključcima koji su važeće za većinu ispitanih grupa.

Proverom raspona standardnih varijacija na slikama 6.6-6.8 se očekuje da za neke grupe ne bude potvrđena pretpostavka o homogenosti varijanse po uglovima skeniranja. Rezultati Lenevog testa su u skladu sa time, jer kod paralelnih uzoraka samo kod dve grupe je potvrđena homogenost varijanse, dok kod poprečnih uzoraka nijedna grupa nema potvrđenu homogenu strukturu (Tabela III.12, Prilog III), ukazujući na još manju usaglašenost po promenljivosti izmerenih rezultata u grupama. Pri tumačenju rezultata jednofaktorske analize varijanse (Tabela III.13, Prilog III) kriterijumi značajnosti za sve nehomogene grupe su uzete iz alternativnog testa (Brown-Forsythe test, Tabela III.14, Prilog III).

Iako u većini slučajeva uglovi 0° i 180° u velikoj meri odstupaju od ostalih uglova, postoje slučajevi kod kojih je mala razlika u odnosu na ostale uglove (poprečno savijeni uzorci gramature 150 g/m² uglovi 0°-30°, 170 g/m² uglovi 0°-15° i 0°-30°), stoga umesto da se radi planirana poređenja (poređenja samo nekih uglova), u statističku analizu su uključeni svi uglovi skeniranja sa svim rezolucijama. Shodno očekivanju, rezultati jednofaktorske

analize varijanse i alternativnog testa ukazuju na postojanje statističke značajne razlike između grupa po uglovima u svim rezolucijama i to sa jednoznačnim vrednostima značajnosti (Sig. = 0.000) i visokim vrednostima pokazatelja veličine uticaja - parcijalnog eta-kvadrata. Vrednosti eta-kvadrata su u rasponu od 0.4910 do 0.7611 za paralelne, odnosno od 0.7388 do 0.9457 za poprečne uzorke (Tabela III.13, Prilog III).

Naknadna poređenja pomoću Dunetovog T3 testa (Tabele III.15-III.20, Prilog III) su potvrdila pretpostavku formiranu na osnovu grafičkih prikaza rezultata (Slike 6.10-6.12). Po srednjim vrednostima jedino ravno postavljene uzorke odstupaju od ostalih uzoraka, bez obzira na smer savijanja ili rezoluciju skeniranja. Ugao 0° kod paralelnih uzoraka u skoro svim rezolucijama daje statističku značajnu nižu vrednost odnosa obima i površine oštećenja, ali kod poprečnih uzoraka većih gramatura se ne izdvaja značajno. Ostali uglovi su nekonzistentni. Ne postoji nijedan par uglova, čiji rezultati za ceo set ispitanih papira imaju slučajnu razliku u srednjim vrednostima, niti da su te razlike značajne (sa verovatnoćom od 95%).

Ugao postavljanja ima znatan uticaj na odnos obima i površine, i to pre svega kod ekstremnih pozicija (0° i 180°). Sa povećavanjem rezolucije skeniranja, diferenciranje pomenutih uglova je izražajnije.

6.1.1.3. Distribucija oštećenja po posmatranoj površini kod skeniranih uzoraka

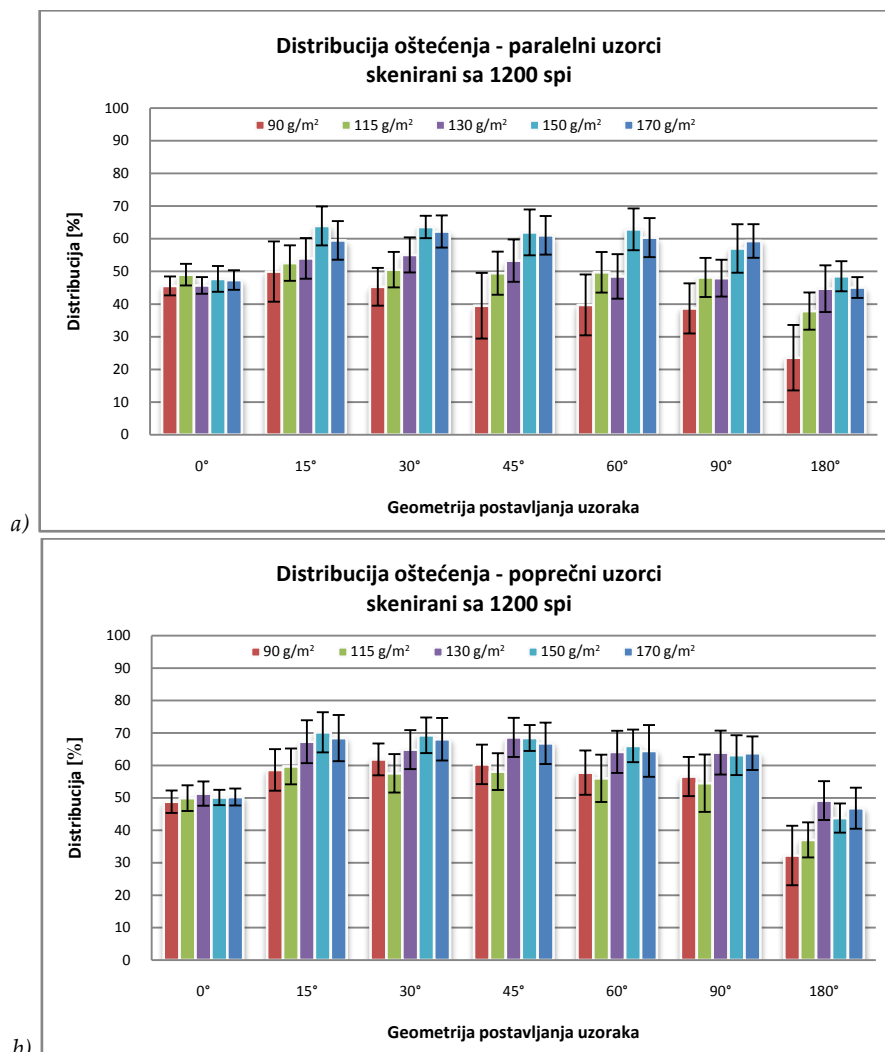
U nastavku su prikazani rezultati distribucije za skenirane uzorke podeljeni po izvršenim analizama. Srednje vrednosti uz prikaz standardne devijacije su prvo predstavljene po gramaturi i smeru savijanja uzoraka, potom slede analize uticaja rezolucije skeniranja i unutrašnjih uglova postavljanja uzoraka pri skeniranju. Zbog mogućnosti upoređivanja rezultata sa različitim srednjim vrednostima, pri analizi je korišćen koeficijent varijacije umesto standardne devijacije.

Rezultati distribucije oštećenja na uzorcima savijenih u oba smera vlakanca papira (paralelno i poprečno), postavljenih pod različitim uglovima i skeniranih sa 1200 spi su prikazani grafički na slici 6.13a i b.

Analizom prikazanih rezultata po smeru savijanja se može ustanoviti da su poprečni uzorci dali veće procenat distribucije oštećenja u odnosu na paralelno savijene uzorke (raspon vrednosti distribucije oštećenja za poprečno savijene uzorke je od 32.23% do 70.19%, dok paralelni uzorci imaju vrednosti distribucije u rasponu od 22.57% do 63.92%).

Posmatrajući rezultate po gramaturi papira, manje vrednosti su zabeležene kod nižih gramatura, kako kod paralelnih tako i kod poprečnih uzoraka. Sa povećavanjem gramature uzoraka, povećava se i vrednost distribucije, tj. kontinuitet linije oštećenja, međutim trend povećanja je različit po smerovima savijanja. Kod paralelnih uzoraka, izražena je razlika između najnižih i najviših vrednosti gramature, sa značajnim odstupanjem od linearnog trenda zbog papira gramature 150 g/m², koji odskoče po vrednostima distribucije skoro kod

svih uglova postavljanja. Kod poprečno savijenih uzoraka razlika u srednjim vrednostima za različite gramature je znatno manja u odnosu na paralelene uzorke, a ne prate ni delimično linearni trend.

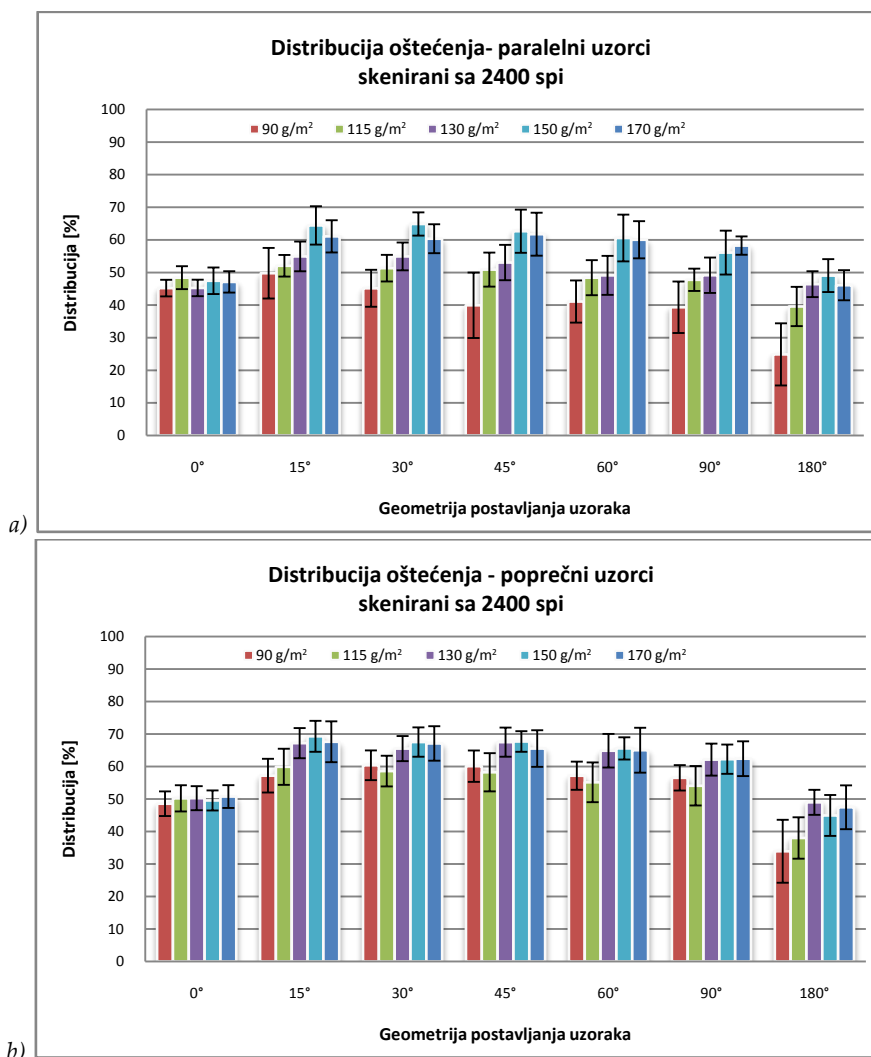


Slika 6.13 – Grafički prikaz rezultata distribucije oštećenja za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke skeniranih sa rezolucijom od 1200 spi i sa različitom geometrijom (uglovima) postavljanja uzoraka

Vrednosti standardne devijacije i odgovarajući koeficijenti varijacije izmerenih rezultata ukazuju na ujednačenu strukturu, jer kod većine ispitanih uzoraka iznosi oko 10%. Po smerovima savijanja se može izdvojiti da su najveće vrednosti KV-e su registrovane za 90 g/m² uzoraka skeniranih u potpuno otvorenom položaju i to u oba smera savijanja (46.53% za paralelne uzorke, 28.44% za poprečne uzorke), dok su najmanje vrednosti KV-e zabeležene za 150 g/m² papir skeniran sa uglom od 30° kod paralelnih uzoraka, odnosno skeniran sa 45° kod poprečnih uzoraka. Za paralelno savijene uzorke od 90 g/m² papira su inače dobijene nešto veće vrednosti skoro u svim uglovima postavljanja, a ugao od 180° predstavlja ekstremnu vrednost KV-e, jer druga najviša za paralelne uzorke iznosi svega 25.47%.

Srednje vrednosti izmerenih rezultata distribucije oštećenja sa odgovarajućim standardnim devijacijama su prikazane na slici 6.14a za paralelno, na slici 6.14b za poprečno savijene uzorke skeniranih sa rezolucijom od 2400 spi.

Posmatrajući rezultate po smerovima savijanja na slikama 6.14a i b, može se utvrditi da su i kod rezolucije od 2400 spi, poprečni uzorci izražajni, tj. da imaju veće vrednosti distribucije u odnosu na paralelne uzorke. Raspon srednjih vrednosti izmerenih rezultata je od 23.87% do 64.86% za paralelne uzorke, odnosno od 33.92% do 69.29% za poprečne uzorke.



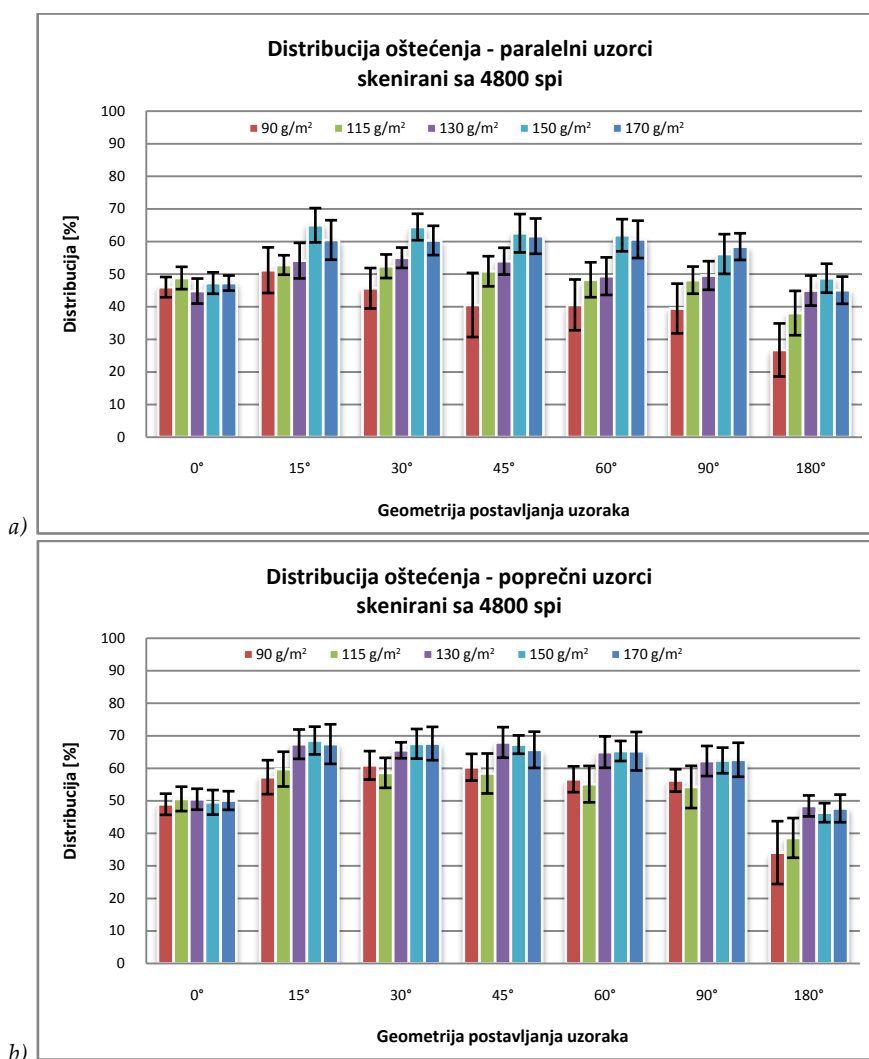
Slika 6.14 – Grafički prikaz rezultata distribucije oštećenja za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke skeniranih sa rezolucijom od 2400 spi i sa različitom geometrijom (uglovima) postavljanja uzoraka

Analizom uticaja gramature na promene distribucije oštećenja se može zaključiti da paralelni uzorci i kod ove rezolucije skeniranja daju ravnomerno rastući trend kod svih uglova postavljanja, sa odstupanjem od linearnog trenda zbog uzorka 150 g/m². Poprečni uzorci nemaju takav izražen porast distribucije pri povećanju gramature uzoraka.

Standardne devijacije (Slika 6.14a i b) odgovaraju manje-više homogenim grupama, mada odstupanja su i ovde prisutna: uzorci savijeni u oba pravca papira gramature 90 g/m² pri ravnom skeniranju i kod ove rezolucije imaju ekstremno visoke vrednosti standardne devijacije naspram ostalih papira i uglova postavljanja (42.0% za paralelne uzorke, 28.55% za poprečne uzorke). Najniže vrednosti standardne devijacije (odgovarajućih koeficijenata varijacije) su zabeležene kod paralelnih uzoraka gramature 170 g/m² skeniranih pod uglom od 90° (4.83%), odnosno kod poprečnih uzoraka gramature 150 g/m², skeniranih sa unutrašnjim uglom postavljanja od 45° (4.68%).

U nastavku slede rezultati distribucije (srednje vrednosti i standardne devijacije) za papirne uzorke savijene u oba smera i skenirane pri rezoluciji od 4800 spi (Slika 6.15a i b).

Vrednosti distribucije za paralelne uzorke su manje preko celog raspona gramature ispitanih papira u odnosu na odgovarajuće poprečno savijene uzorke, mada su razlike kod potpuno savijenih uzoraka male. Vrednosti distribucije se kreću od 26.22% do 64.99% za paralelne uzorke i od 34.08% do 68.55% za poprečne uzorke.



Slika 6.15 – Grafički prikaz rezultata distribucije oštećenja za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke skeniranih sa rezolucijom od 4800 spi i sa različitom geometrijom (uglovima) postavljanja uzoraka

Sa dijagrama prikazanog na slici 6.15a se vidi da sa porastom gramature, i kod najviše rezolucije skeniranja se dobija rastući trend kod paralelnih uzoraka sa značajnim odstupanjem vrednosti od linearnog trenda usled izmerenih velikih procenta distribucije papira gramature 150 g/m² pri svim uglovima postavljanja. Srednje vrednosti distribucije za poprečno savijene uzorke nemaju izražen rastući trend sa porastom gramature uzoraka (Slika 6.15b).

Koeficijenti varijacije se kreću od 4.90% do 33.25% za paralelne uzorke i od 3.74% do 28.35% za poprečne uzorke, pri čemu najveće vrednosti predstavljaju istovremeno, takoreći, i ekstreme pošto se sledeće najveće vrednosti po smerovima iznose 24.26% (paralelno savijeni uzorci) i 15.82% (poprečno savijeni uzorci).

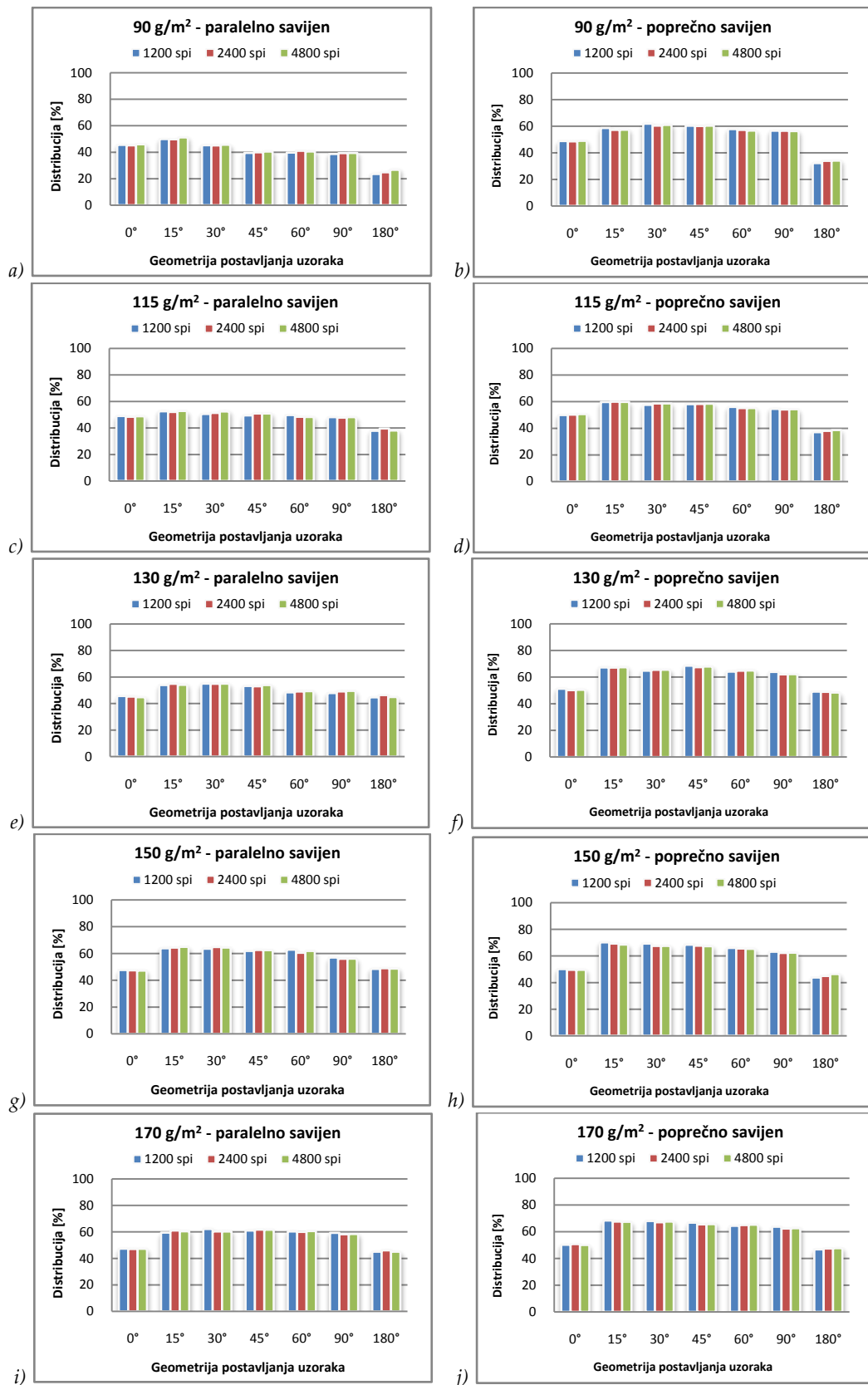
Pored navedenih, sa prikazanog dijagrama se može videti da su vrednosti KV-e (tj. grafički prikazane standardne devijacije) značajno manje kod ugla 0° upoređujući sa rezultatima kod ostalih uglova. Po smeru savijanja papir gramature od 90 g/m² se može izdvojiti sa najvećim vrednostima standardne devijacije skoro u svim uglovima skeniranja (izuzeci su uzorci pod uglom od 0°). Za poprečno savijene uzorke se ne može jedna gramatura tako da se izdvoji ni po najvećim ni po najmanjim vrednostima KV-e.

6.1.1.3.1. Uticaj rezolucije skeniranja na distribuciju oštećenja

U prethodnom poglavlju su razmatrani uticaji smera vlakanaca pri savijanju i gramature savijanih papira na dobijene vrednosti distribucije, pri čemu su dati rasponi srednjih vrednosti i koeficijenti varijacije, na osnovu čega i bez neke detaljne analize se može zaključiti da rezolucija ne utiče značajno na distribuciju oštećenja. Radi preglednije uporedne analize rezultata po rezolucijama skeniranja, na slici 6.16 su dati grafički prikazi dobijenih rezultata po gramaturi i smeru savijanja uzoraka (Slika 6.16a-j). Kao što se vidi sa prikazanih dijagrama, ispitane grupe imaju jako bliske srednje vrednosti za različite rezolucije. Da bi se utvrdilo da li su te razlike statističko značajne ili ne, izvršena je statistička analiza dobijenih rezultata.

Statistička značajnost uticaja rezolucije skeniranja na distribuciju oštećenja se utvrđuje jednofaktorskom analizom varijanse različitih grupa (jednofaktorska ANOVA), pri čemu je rezolucija ispitivana nezavisna promenljiva, dok zavisnu čini distribucija oštećenja (po svim gramaturama uzoraka, uglova postavljanja i smera savijanja).

Analizi varijanse prethodila je provera homogenosti po ispitanim grupama pomoću Leveneovog testa. Rezultati ispitivanja homogenosti ukazuju na neznatne razlike standardne devijacije među ispitanim grupama kako kod paralelnih tako i kod poprečnih uzoraka (od 35 grupa 31 ima homogenu varijansu kod oba smera savijanja - Tabela III.21, Prilog III). Da bi se ispoštovala preporuka data u (Pallant, 2007) pri analizi varijanse kod tih, nehomogenih grupa, vrednosti statističke značajnosti su uzete iz Brown-Forsythe testa. Tabele sa rezultatima statističke analize uticaja veličine rezolucije na distribuciju detektovanih oštećenja su date u prilogu (Prilog III). Prema rezultatima jednofaktorske analize varijanse (Tabela III.22) i Brown-Forsythe testa (Tabela III.23) se može utvrditi da ne postoji statistička značajna razlika između grupa po rezoluciji skeniranja pri pragu značajnosti od 0.05 ($p < 0.05$).



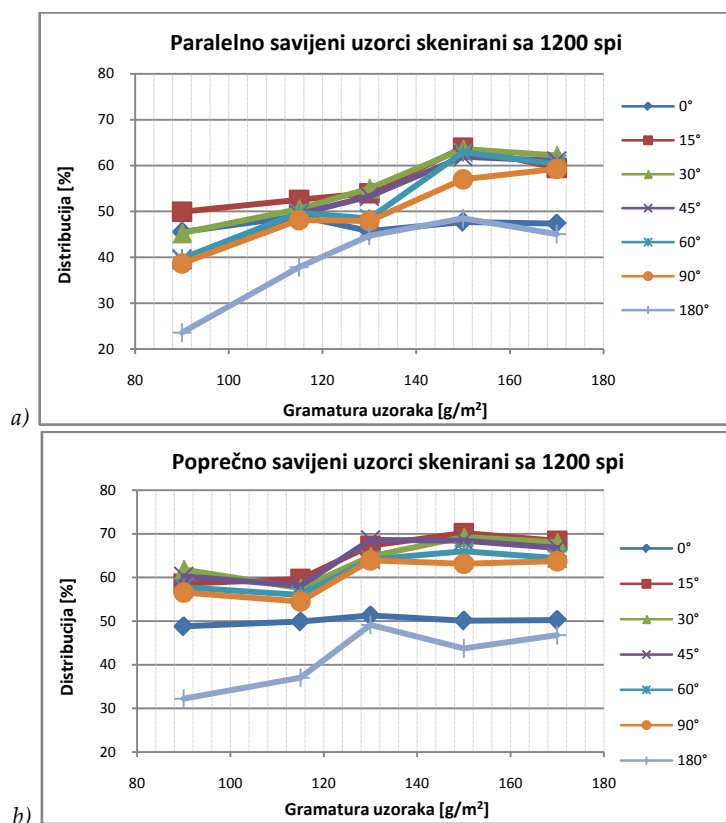
Slika 6.16 – Grafički prikaz uticaja rezolucije skeniranja na rezultate distribucije oštećenja po smerovima savijanja (paralelno savijanje - a, c, e, g, i; poprečno savijanje - b, d, f, h, j) i po gramaturama uzoraka (90 g/m² - a, b; 115 g/m² - c, d; 130 g/m² - e, f; 150 g/m² - g, h; 170 g/m² - i, j)

Vrednosti statističke značajnosti (Sig.) bez obzira na primenjen test provere su izuzetno velike i kreću se od 0.341 do 0.995 za paralelne uzorke (ANOVA se poklapa sa Brown-Forsythe testom), odnosno od 0.235 do 0.991 za poprečne uzorke (za odgovarajuće grupe vrednosti značajnosti Brown-Forsythe testa su u rasponu 0.237 do 0.991).

Rezolucija skeniranja nema statistički značajan uticaj na distribuciju oštećenja pri uslovima odabira površine uzorkovanja, gde su većim delom skenirane iste površine materijalnih uzoraka.

6.1.1.3.2 Uticaj unutrašnjeg ugla postavljanja uzoraka na distribuciju oštećenja kod skeniranih uzoraka

Na slikama 6.17a i b su prikazani rezultati distribucije oštećenja dobijenih za uzorke skeniranih sa najnižom rezolucijom (1200 spi), sa kojih se lako uočavaju preklapanja rezultata po uglovima postavljanja uzoraka. Rezultati po rezolucijama od 2400 spi i 4800 spi nisu posebno prikazani u ovom delu, ali su uključeni u statističku analizu uticaja unutrašnjeg ugla postavljanja uzoraka na rezultate distribucije oštećenja.



Slika 6.17 – Grafički prikaz rezultata distribucije oštećenja za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke skeniranih sa rezolucijom od 1200 spi

Rezultati sa datih dijagrama jednoznačno ukazuju na neznačajan uticaj unutrašnjeg ugla postavljanja kod uglova 15°- 90° na promene distribucije, jer kao što se to moglo uočiti i na slikama 6.13 - 6.15 za pomenute uglove vrednosti distribucije oštećenja su vrlo bliske, a kod nekih uzoraka su čak i jednake.

Kod paralelnih uzoraka se više primećuje pozitivna korelacija dobijenih rezultata sa gramaturom uzoraka, pogotovo kod potpuno otvorenih uzoraka (ugao 180°) za razliku od potpuno savijenih uzoraka (ugao 0°) kod kojih, nakon početnog preklapanja rezultata sa ostalim uglovima kod gramature uzoraka od 90 g/m² do 130 g/m², za veće gramature (150 g/m² i 170 g/m²) dolazi do razilaženja rezultata od uglova 15°- 90°, i približe se potpuno otvorenim uzorcima sa najnižem izmerenim vrednostima distribucije.

Kod poprečno savijenih uzoraka, pozitivna tendencija je manje izražajna. Grupisanje vrednosti rezultata distribucije kod uglova 15°- 90° je očiglednija, naspram paralelnih uzoraka. Istovremeno se može uočiti da su krajnji uglovi postavljanja (0° i 180°) u potpunosti izolovani od ostalih uglova, ali ne i međusobno. Posebno su interesantni rezultati za ugao 0°, kod kojeg jedva dolazi do povećanja distribucije sa porastom gramature. Takvi rezultati su se mogli i očekivati s obzirom na specifičnosti proračuna vrednosti distribucije za pomenuti ugao (videti poglavlje 5.1.4.2.3.). Kako se brožane vrednosti rezultata u većini slučajeva malo razlikuju, izvršena je statistička analiza značajnosti tih razlika pomoću jednofaktorske analize varijanse, kojoj je prethodila provera homogenost ispitanih grupa (pomoću Leveneovog testa).

Ispitivanjem homogenosti je utvrđeno da promenljivost izmerenih rezultata za grupe po uglovima postavljanja nije jednaka, pogotovo kod paralelnih uzoraka, kod kojih od 15 grupa svega 4 ima homogenu varijansu. Kod poprečnih uzoraka homogenost je utvrđena u 10 slučajeva. Dobijeni rezultati Leveneovog testa (Tabela III.24, Prilog III) sugerišu da kod nehomogenih grupa se uvažavaju rezultati robusnog testa analize varijanse otpornog na kršenje pretpostavke o homogenosti varijanse (Brown-Forsythe test) (Pallant, 2007).

Na osnovu dobijenih rezultata analize varijanse i Brown-Forsythe testa (Tabele III.25 i III.26, Prilog III) može se utvrditi da posmatrajući sve uglove postavljanja uzoraka pri digitalizaciji postoji statistički značajna razlika u rezultatima (za sve grupe su dobijene vrednosti značajnosti od 0.000, tj. Sig = 0.000 na nivou $p < 0.05$ i to sa visokim vrednostima pokazatelja veličine uticaja, parcijalnog eta-kvadrata: $0.31066 \div 0.67128$ za paralelne uzorke, $0.58472 \div 0.84874$ za poprečne uzorke). Kako dati testovi ne govore tačno među kojim uglovima postoji razlika, naknadnim testom (Dunetov T3 test) su utvrđeni parovi uglova među kojima postoji odnosno ne postoji statistička značajna razlika. Zbog obimnosti rezultata Dunetovog T3 testa, ovde su izneti samo generalni zaključci, dok su tabele za detaljniji pregled naknadne analize značajnosti razlike u varijansama posmatranih grupa date u prilogima (Tabela III.27-III.32, Prilog III).

Po rezultatima naknadnog testa se ne može izdvojiti nijedan ugao koji daje preko cele skale ispitanih uzoraka (papira) rezultate sa statističkom značajnom razlikom naspram drugih uglova. Po brožanosti utvrđenih razlika ugao 180° se može izdvojiti, koji od ukupno 10 kombinacija gramature i smera vlakanaca, u 5 je rezultovao različite vrednosti distribucije u odnosu sa sve uglove, odnosno u još 4 kombinacije gramature i smera savijanja se razlikuje statistički značajno od uglova 15°- 90° a ne i od ugla 0°. Uzorci gramature 115 g/m² i 130 g/m² savijeni paralelno sa smerom vlakanaca se izdvajaju po rezultatima naknadnog Dunetovog T3 testa. Naime, kod većine papirnih uzoraka postoji veći broj kombinacija uglova sa značajnom razlikom između rezultata po uglovima, vrednosti distribucije papira gramature 115 g/m² se razlikuju samo u slučaju potpuno otvorenog položaja (ugao 180°), dok uzorak od

130 g/m² se ne može izdvojiti čak ni ugao 180° sa statističkom značajnom razlikom dobijenih rezultata distribucije oštećenja. Po rezolucijama nisu učene razlike.

Iako se ne može izdvojiti nijedan ugao postavljanja uzoraka koji daje statističku značajnu razliku u srednjim vrednostima distribucije, u kompletnom setu ispitanih uzoraka mora se voditi računa (uključiti u opis izvođenja eksperimenta) sa kojim uglom postavljanja je vršena digitalizacija materijalnih uzoraka.

6.1.2. Rezultati fotografisanih uzoraka

Odabrani papirni uzorci su bili pripremljeni sa svih 7 uglova postavljana za digitalizaciju pomoću digitalnog fotoaparata, sa tri udaljenosti postavljanja epruveta: 30 cm, 21 cm i 12 cm. Nakon fotografisanja materijalnih uzoraka, pristupilo se konvertovanju dobijenih slika iz RAW formata u .bmp format, odnosno izrezivanju originalnih fotografija na format uzoraka za digitalnu analizu (4 x 25 mm). Položaj okvira za digitalni uzorak na originalnoj slici je bio nasumično odabran, pri čemu se vodilo računa da linija prevoja (sa svim vidljivim oštećenjima) bude paralelna sa dužom stranom okvira i približno na sredini tog pravougaonika. Nakon pripremnih operacija pomoću razvijenog algoritma za analizu oštećenja sa digitalizovanih uzoraka su dobijeni rezultati procenata belih piksela, odnosa obima i površine oštećenja, kao i procenta distribucije oštećenja. U nastavku slede njihovi rezultati.

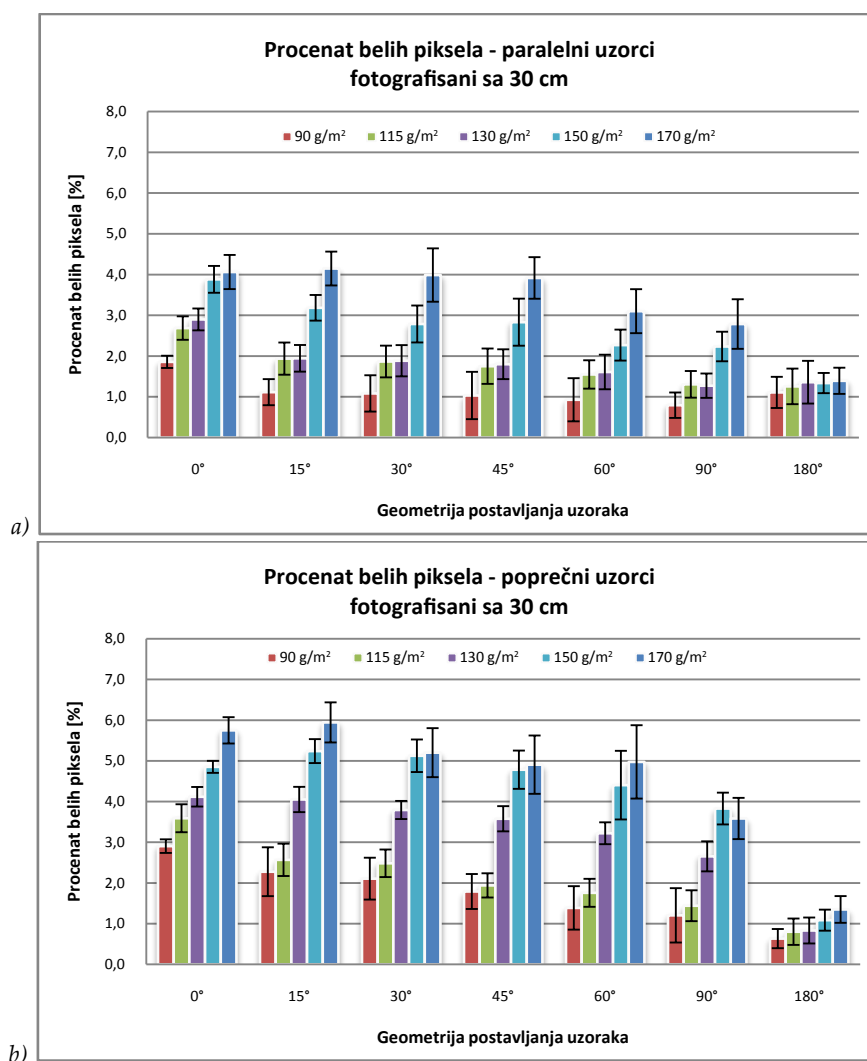
6.1.2.1. Procenat belih piksela fotografisanih uzoraka

Prikaz i analiza rezultata procenata belih piksela za fotografisane uzorke je podeljen na dve celine: u prvoj je izvršen opšti pregled dobijenih rezultata sa posebnim osvrtom na promene procenta belih piksela po gramaturi i smeru savijanja ispitanih uzoraka i po primenjenim udaljenostima fotografisanja uzoraka. Zatim sledi analiza rezultata i po potrebi dodatni grafički prikaz sa ciljem utvrđivanja uticaja udaljenosti fotografisanja i uglova postavljanja papirnih epruveta pri digitalizaciji.

Srednje vrednosti i vrednosti standardne devijacije procenta belih piksela za uzorke savijene u oba smera vlakanca papira i fotografisanih sa udaljenosti od 30 cm su prikazane na slikama 6.18a i b.

Analizom rezultata na prikazanim dijagramima (Slika 6.18a i b) po smerovima savijanja utvrđeno je da paralelni uzorci imaju niže vrednosti procenta belih piksela u odnosu na poprečne uzorke za sve uglove postavljanja osim kod 180°. Raspon srednjih vrednosti izmerenih procenata belih piksela se kreće od 0.79546 do 4.1488 za paralelne uzorke i od 0.63336 do 5.94548 za poprečno savijene uzorke. Dobijene vrednosti su u skladu sa literaturnim izvorima (Sappi, 2006; Apro i drugi, 2008; Kim i drugi, 2010), ali su nešto veće naspram rezultata dobijenih skeniranim uzorcima (raspon: 0.31905 ÷ 3.45776 za paralelne uzorke, 0.45177 ÷ 4.84592 za poprečne uzorke).

Upoređivanjem rezultata po gramaturi može se uočiti da i kod ove metode digitalizacije uzorci imaju pozitivnu tendenciju u većini slučajeva uglova postavljanja od 0° do 90°. Manja odstupanja su uočena kod uzoraka paralelno savijenih papira gramature 115 g/m² pri uglu postavljanja od 90° (procenat belih piksela iznosi 1.30750, dok za papir gramature 130 g/m² ta vrednost iznosi 1.27447 za isti ugao postavljanja – slično odstupanje je ustanovljeno i kod uzoraka skeniranih pri svim rezolucijama (Slike 6.1a, 6.2a, i 6.3a). Za pomenuti uzorak (paralelno savijan 115 g/m²), takođe, se može konstatovati da i pri ostalim uglovima postavljanja ima približne vrednosti sa uzorcima gramature 130 g/m². Poprečni uzorci, takođe, pokazuju rastuću tendenciju procenata belih piksela sa povećanjem gramature i to ne samo za uglove od 0° do 90° (kao što je slučaj kod paralelnih uzoraka) već i kod ravno fotografisanih papira. Jedino odstupanje predstavlja 150 g/m² papir pri unutrašnjem uglu postavljanja od 90°, jer dobijena srednja vrednost belih piksela je za 0.24427 veća u odnosu na naredni uzorak veće gramature (170 g/m²). Uzorak gramature 150 g/m² još kod dva ugla postavljanja ima vrlo bliske vrednosti sa rezultatima papira gramature 170 g/m².



Slika 6.18 – Grafički prikaz rezultata procenata belih piksela za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke fotografisanih sa udaljenosti od 30 cm sa različitim uglovima postavljanja uzoraka

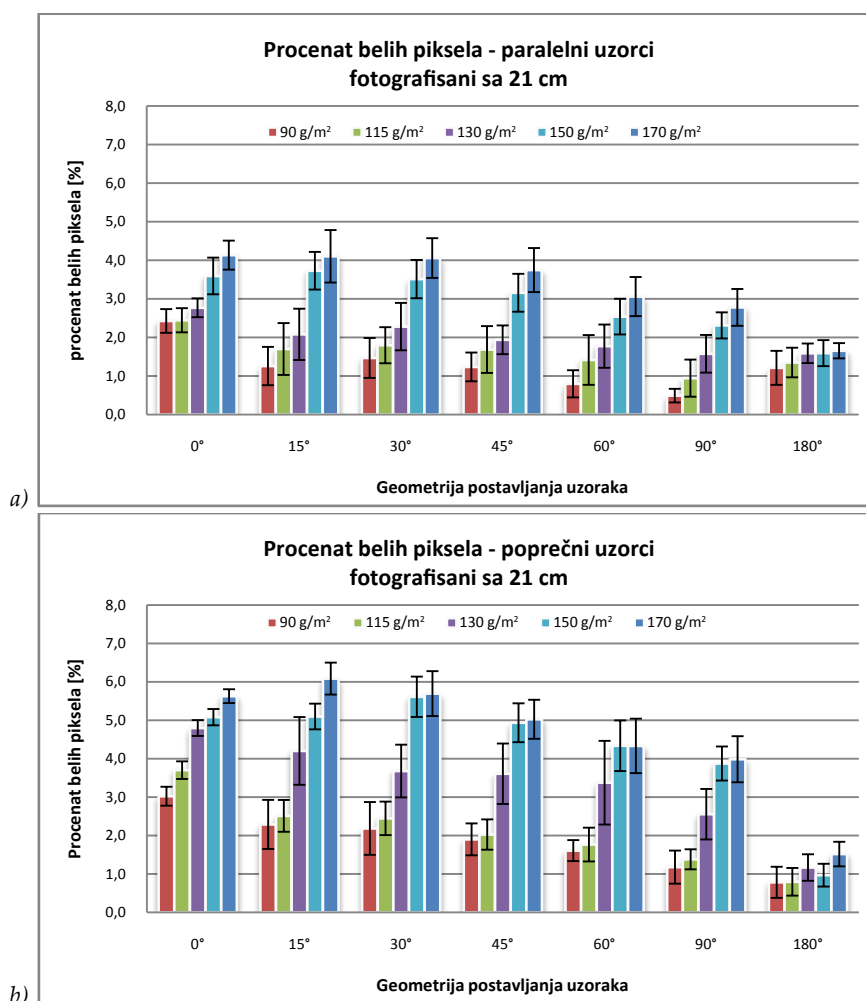
Koeficijenti varijacije se kreću u rasponu od 8.08% do 56.96% za paralelne uzorke i od 3.04% do 55.44% za poprečne uzorke. Najveće vrednosti KV-e po smeru savijanja su zabeležene za 90 g/m² papir, pored toga sa prikazanih slika 6.18a i b se takođe može uočiti da uzorci gramature od 90 g/m² imaju najveće rasipanje izmerenih rezultata za uglove postavljanja od 15° do 180° u oba smera savijanja (vrednosti koeficijenata varijacije za date uglove su u rasponu od 28.68% do 56.96% kod paralelnih uzoraka i od 26.36% do 55.44% kod poprečnih uzoraka). Kod ostalih paralelno savijenih uzoraka, na osnovu koeficijenta varijacije se može utvrditi da su grupe homogene (KV-e je manja od 30%) za sve uglove postavljanja, jedini izuzeci su uzorci gramature 115 g/m² i 130 g/m² pri ravnom fotografisanju, jer kod njih vrednosti KV-e iznose 34.73% i 38.53%, respektivno. Za poprečno savijene uzorke većih gramatura su zabeležene značajno niže vrednosti KV-e (kreću se oko 10%), mada i kod njih odskakuju uzorci gramature 115 g/m² i 130 g/m² pri ravnom skeniranju (sa vrednostima KV-e od 40.40% i 38.29%). Najniže vrednosti KV-e su uočene kod potpuno savijenih uzoraka svih gramatura u oba pravca savijanja (raspon: 8.08% ÷ 10.79% za paralelne uzorke, 3.04% ÷ 9.57% za poprečne uzorke).

Dobijeni rezultati procenata belih piksala (srednje vrednosti i odgovarajuće standardne devijacije) su prikazani grafički na slici 6.19a za paralelno, odnosno 6.19b za poprečno savijene uzorke fotografisanih sa udaljenosti od 21 cm.

Rezultati paralelnih uzoraka i za ovu udaljenost nesporno ukazuju na pozitivnu vezu između gramature uzoraka i detektovanih površinskih oštećenja. Kod pomenutih uzoraka je uočen jasan trend povećanja procenta belih piksela sa povećanjem gramature ispitanih papira kod svih uglova izuzev za ravno postavljane uzorke (ugao 180°). Vrednosti procenata belih piksela za paralelno savijene uzorke se kreću od 0.49277 do 4.10475. Kao i kod prethodne udaljenosti fotografisanja, paralelni uzorci su dali niže vrednosti u odnosu na poprečnih uzoraka. Povećanje izmerenih vrednosti procenata belih piksela po povećanju gramature ispitanih papira je potvrđeno i kod poprečnih uzoraka, mada su papiri fotografisani u ravnom položaju i kod ovih uzoraka odstupali od opšteg trenda povećanja (papir gramature 130 g/m² ima veće vrednosti belih piksela u odnosu na sledeću gramaturu od 150 g/m²). Raspon srednjih vrednosti za poprečno savijene uzorke je od 0.78326 do 6.08591. Pregledom prikazane slike 6.20b se može uočiti da poprečno savijen papir gramature od 150 g/m² i pri ovoj udaljenosti daje približne rezultate sa papirom gramature od 170 g/m². Sa prikazanih dijagrama se vidi još da za ravno položene epruvete vrednosti procenata belih piksela kod poprečno savijenih uzoraka su veće od odgovarajućih paralelnih uzoraka i pri ovoj udaljenosti fotografisanja.

Prema vrednostima standardne devijacije prikazanih na slikama 6.19a i b se može ustanoviti da su potpuno savijeni uzorci u oba smera savijanja dali homogene rezultate merenja procenata belih piksela. Koeficijenti varijacije za dati ugao se kreću od 8.83% do 12.80% kod paralelnih uzoraka i 3.20% do 8.14% kod poprečnih uzoraka. Veće vrednosti KV-e su zabeležene za uglove 15°- 90° u oba smera savijanja i kod uzoraka svih gramatura. Najveće vrednosti su registrovane za ugao postavljanja epruveta od 180° kod poprečnih uzoraka (21.06 ÷ 51.71%). Za razliku od njih, kod paralelnih uzoraka najveće rasipanje pri ravnom fotografisanju je uočeno samo kod jedne gramature (150 g/m²), dok su ostali papiri imali svoje maksimalne vrednosti KV-e i kod uglova od 60° i 90°. Uopšteno posmatrajući

koeficijente varijacije, može se izdvojiti da su veće vrednosti zabeležene kod paralelnih uzoraka i pri ovoj udaljenosti digitalizacije (raspon: 8.83% ÷ 50.85% za paralelne uzorke, 3.20% ÷ 51.71% za poprečne uzorke).



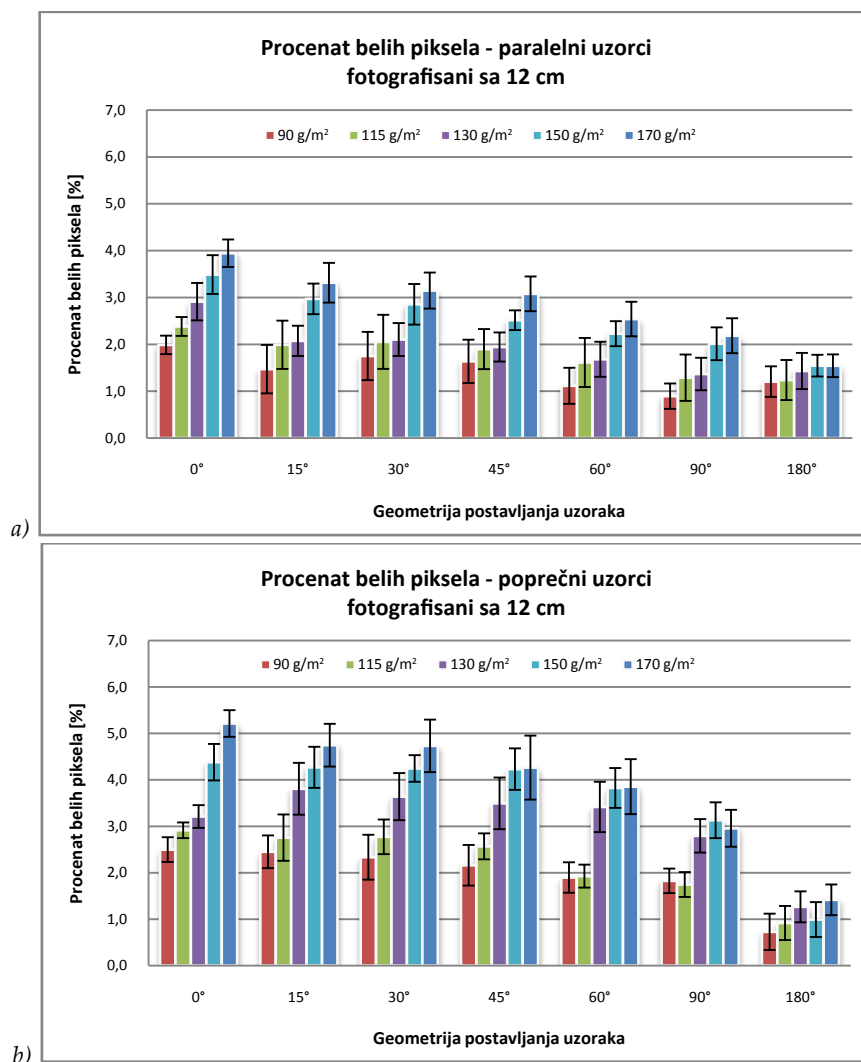
Slika 6.19 – Grafički prikaz rezultata procenta belih piksela za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke fotografisanih sa udaljenosti od 21 cm sa različitom geometrijom postavljnja uzoraka (uglovima)

U nastavku su dati grafički prikazi rezultata procenta belih piksela za fotografisane uzorke (udaljenost 12 cm) dobijenih sa paralelno (Slika 6.20a) i poprečno savijenih uzoraka (Slika 6.20b).

Raspon srednjih vrednosti procenta belih piksela za najmanju udaljenost fotografisanja je 0.89491 ÷ 3.48957 za paralelene uzorke, 0.72721 ÷ 5.21329 za poprečne uzorke. Razlike u izmerenim vrednostima po smerovima savijanja i pri ovoj udaljenosti su uočene kod uglova 0°- 90° (paralelni uzorci imaju niže vrednosti), dok za potpuno ravne uzorke te razlike nisu toliko izražene i paralelni uzorci imaju veće vrednosti procenta belih piksela.

Povećanje površine oštećenja pri povećanju gramatura (pa i ukupne debljine) ispitanih papira se jasno može pratiti na promeni procenta belih piksela. Kod paralelno savijenih uzoraka za sve uglove postavljnja je uočen ravnomeran rast belih piksela na ispitanim

slikama uzoraka, sa jednim, neznatnim odstupanjem kod ravno skeniranih uzoraka, gde papir gramature 150 g/m² za 0.00216 ima veću vrednost od papira gramature 170 g/m² (a trebalo bi da ima nižu srednju vrednost belih piksela). Poprečno savijeni uzorci pri povećanju gramature ispitanih papira imaju, takođe, izraženu tendenciju povećanja procenata belih piksela ukazujući tako na veći stepen destrukcije premaza i to pre svega kod nižih unutrašnjih uglova postavljanja uzoraka (0°- 30°). Za veće uglove su registrovana manja odstupanja: uzorak gramature 90 g/m² i 150 g/m² kod ugla postavljanja od 90° kao i uzorak gramature 130 g/m² pri ravnom položaju imaju veće vrednosti belih piksela od narednih uzoraka veće gramature.



Slika 6.20 – Grafički prikaz rezultata procenta belih piksela za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke fotografisanih sa udaljenosti od 12 cm sa različitom geometrijom postavljanja uzoraka (uglovima)

Vrednosti relativne standarde devijacije, tj. koeficijenta varijacije su u rasponu od 8.40% do 38.37% kod paralelnih i od 5.50% do 53.83% kod poprečnih uzoraka. Najmanje vrednosti KV-e su uočene u većini slučajeva kod ugla postavljanja od 0° kod oba pravca savijanja papira, dok je po najvećim vrednostima izdvojen ugao 180°, ali samo kod poprečnih uzoraka. Prema prikazanim rezultatima moglo bi se zaključiti da ipak, najmanja udaljenost ne osigurava ujednačenje rezultate merenja, pogotovo ne kod poprečnih uzoraka.

6.1.2.1.1. Uticaj udaljenosti fotografisanja na procenat belih piksela

Dobijeni rezultati po udaljenostima su delom analizirani u prethodnom delu, ali radi jednostavnije uporedne analize procenata belih piksela po različitim vrednostima udaljenosti uzoraka pri fotografisanju u daljem delu su prikazani uporedni dijagrami za sve gramature i smerove savijanja papira (Slika 6.21a-j).

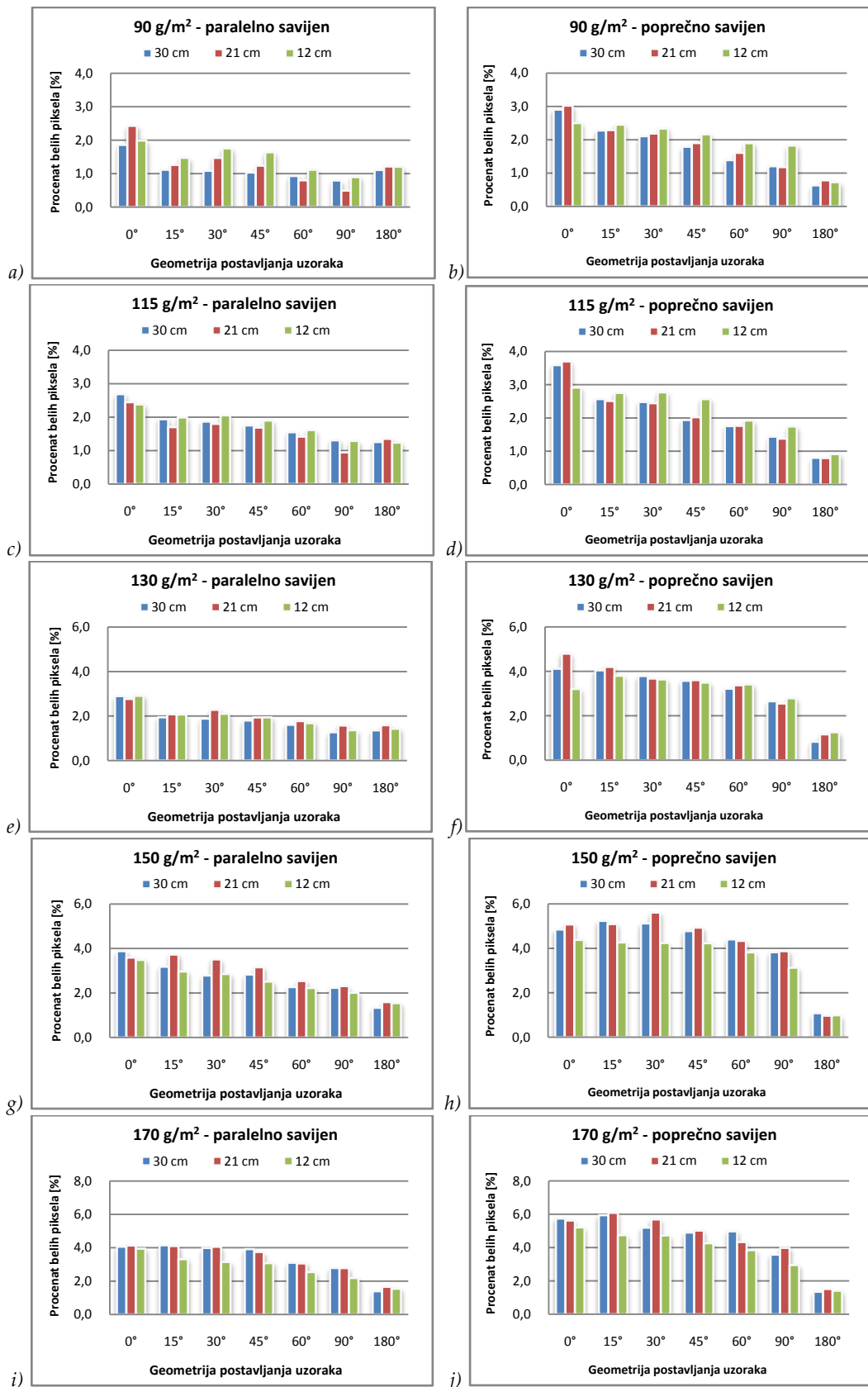
Iz rezultata prikazanih na slici 6.21 se može primetiti da kod nekih papira i nekih uglova postavljanja postoji značajnija razlika u srednjim vrednostima (npr: slika 6.21a i h sa uglovima od 0° - 45°), opet kod nekih drugih papira i uglova te razlike nisu toliko izražene (npr: slika 6.21f sa uglovima od 30° - 60° i slika 6.22e sa uglovima 45° - 180°). Statističkom analizom varijanse različitih grupa (jednofaktorka ANOVA) je izvršena provera da li su te manje izražene razlike statistički značajne ili su slučajne.

Test homogenosti grupa (Leveneov test), koji je neizostavan korak za primenu jednofaktorske analize varijanse ukazuje da je varijansa zavisne promenljive (u ovom slučaju procenat belih piksela po primenjenoj udaljenosti fotografisanja) jednaka u svim grupama kod većine ispitanih papira (od ukupno 70 grupa za 43 je potvrđena homogenost - Tabela III.33, Prilog III). Za nehomogene grupe pri tumačenju rezultata statističke značajnosti razlike srednjih vrednosti procenata belih piksela uzete su rezultati Brown-Forsythe testa, otporni na kršenje pretpostavki homogenosti grupa (Tabele III.34 i III.35, Prilog III).

Rezultati jednofaktorske analize varijanse su u skladu sa prikazanim dijagramima: kod svih grupa kod kojih su vidljive razlike imaju potvrđenu statističku značajnost sa srednjim i velikim uticajem nezavisne promenljive, tj. udaljenosti pri snimanju na procenat belih piksela (vrednosti parcijalnog eta-kvadrata su za te grupe od 0.11333 do 0.54582 kod paralelnih i od 0.12153 do 0.89289 kod poprečnih uzoraka za ANOVA test). Kod 27 od ukupno 70 ispitanih grupa (po 35 u dva smera savijanja) ne postoji statistički značajna razlika u srednjim vrednostima procenata belih piksela po primenjenoj udaljenosti fotografisanja materijalnih uzoraka (14 kod paralelnih i 13 kod poprečnih uzoraka).

Po gramaturi uzoraka se ne može izdvojiti nijedan papir, ali po uglovima postavljanja, za ugao 180° se može ustanoviti da daje slične vrednosti procenata belih piksela pri digitalizaciji pomoću fotoaparata u najviše slučajeva (7 od 10 grupa). Po rezultatima, jednofaktorska ANOVA i alternativni testovi se potpuno poklapaju. Ispitane grupe, kod kojih je utvrđena statistička značajna razlika jednofaktorskom analizom varijanse, naknadnim testovima, izvršenih po smerovima savijanja, međusobno su upoređeni uzorci i po primenjenoj udaljenosti fotografisanja. Prema rezultatima tih naknadnih testova, udaljenost od 12 cm se može izdvojiti. Od ukupno 43 ispitanih grupa, u 32 grupe postoji statistički značajna razlika u srednjim vrednostima rezultata za udaljenosti od 12 cm i 21 cm, odnosno za isti broj grupa je potvrđena razlika za kombinaciju udaljenosti od 12 cm i 30 cm (Tabele III.36 i III.37, Prilog III).

Kod fotografisanih uzoraka na procenat belih piksela u izvrsnoj meri utiče primenjena udaljenost sa koje je izvršena digitalizacija materijalnih epruveta. Takav rezultat se može objasniti razlikama u oštirini konačne slike, tj. fokusu pri fotografisanju.

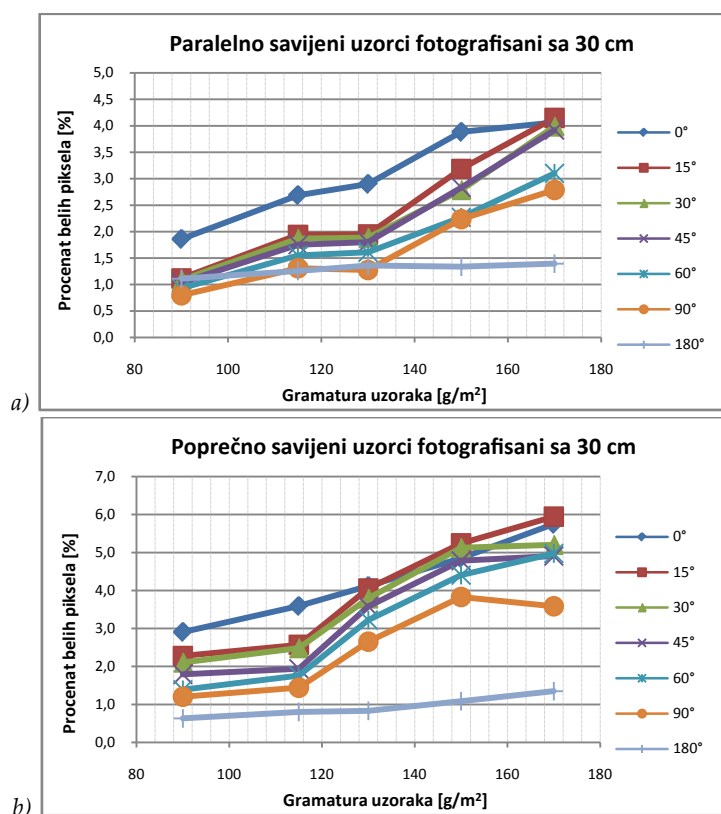


Slika 6.21 – Grafički prikaz uticaja udaljenosti fotografisanja na rezultate procenata belih piksela po smerovima savijanja (paralelno savijanje - a, c, e, g, i; poprečno savijanje - b, d, f, h, j) i po gramaturama uzoraka (90 g/m² - a, b; 115 g/m² - c, d; 130 g/m² - e, f; 150 g/m² - g, h; 170 g/m² - i, j)

6.1.2.1.2. Uticaj unutrašnjeg ugla postavljanja uzoraka na procenat belih piksela kod fotografisanih uzoraka

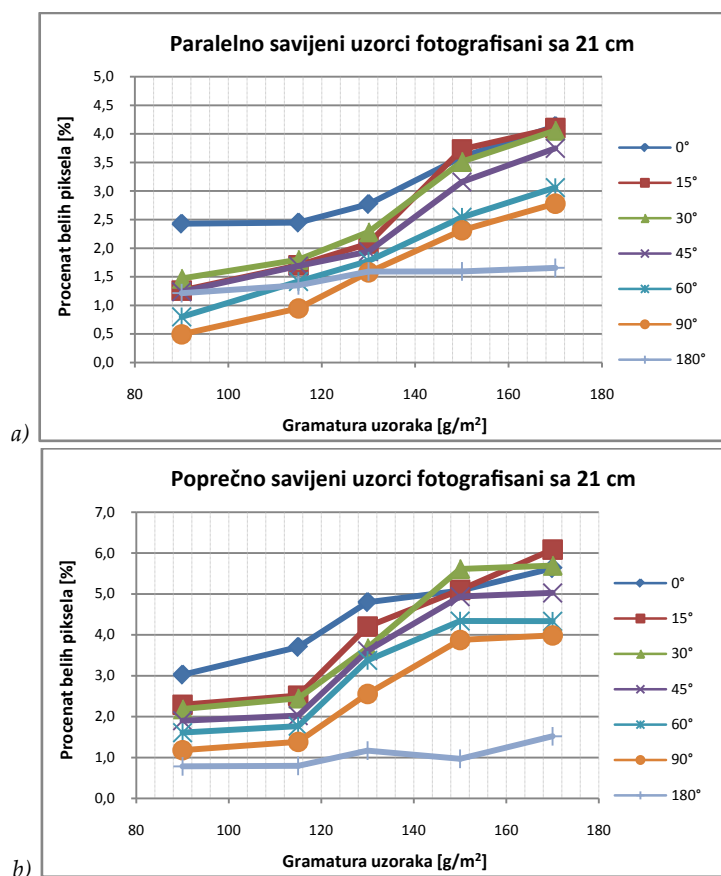
Za detaljnu analizu uticaja unutrašnjeg ugla postavljanja savijanih uzoraka pri digitalizaciji na rezultat procenata belih piksela u nastavku su dati linijski dijagrami po primenjenoj udaljenosti fotografisanja u oba pravca savijanja papira.

Sa prikazanih dijagrama (Slika 6.22a i b), za rezultate dobijenih sa digitalnih uzoraka fotografisanih sa 30 cm se može ustanoviti da sa povećanjem unutrašnjeg ugla postavljanja uzoraka od 15° do 90° rezultati procenata belih piksela u većini slučajeva opadaju kod svih uzoraka savijenih u oba pravca savijanja, mada su vrednosti za pojedine uzorke vrlo bliske odnosno ima i preklapanja. Za ugao od 0° je primećeno da se jasno diferencira od većih uglova kod paralelno savijenih uzoraka gramature 90 g/m² - 150 g/m², dok takvo izolovanje kod poprečnih uzoraka ima ugao od 180° za sve gramature.



Slika 6.22 – Grafički prikaz rezultata procenta belih piksela za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke fotografisanih sa udaljenosti od 30 cm

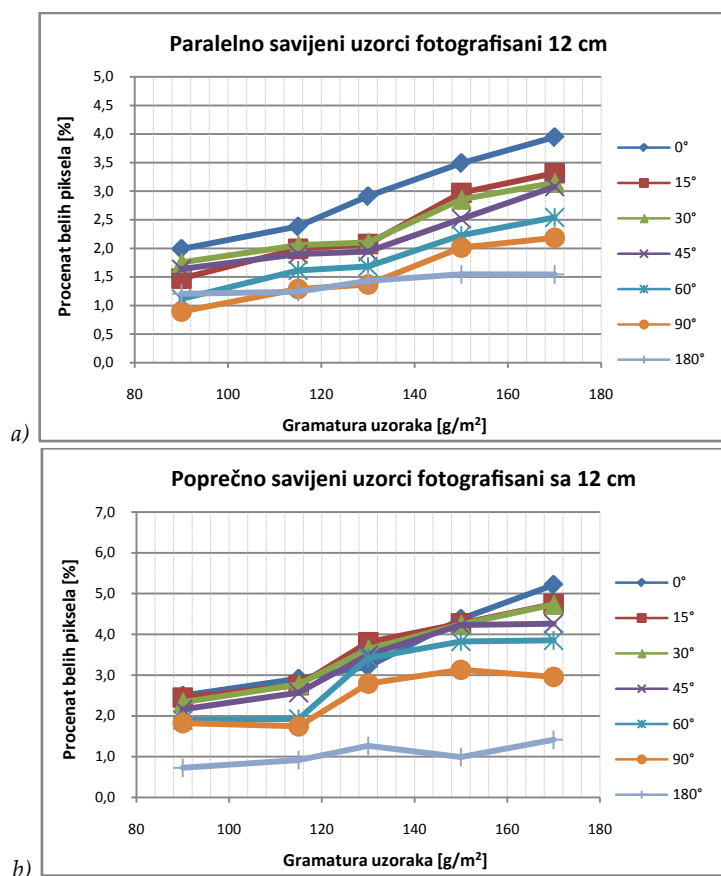
Za uzorke fotografisanih sa udaljenosti od 21 cm (Slika 6.23a i b) rezultati procenata belih piksela imaju sličnu strukturu kao i za uzorke od 30 cm: sa povećanjem unutrašnjeg ugla postavljanja uzoraka od 15° do 90° rezultati procenata belih piksela opadaju kod većine ispitanih uzoraka u oba pravca savijanja (sa većom i manjom razlikom u srednjim vrednostima). Za potpuno savijene uzorke (ugao 0°) dobijeni rezultati za tri niže gramature (90 g/m² - 130 g/m²) su bili značajno veći u odnosu na druge uglove postavljanja, kod oba pravca savijanja. Ugao 180° je samo kod poprečnih uzoraka dao za sve gramature niže vrednosti od ostalih uglova postavljanja.



Slika 6.23 – Grafički prikaz rezultata procenta belih piksela za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke fotografisanih sa udaljenosti od 21 cm

Analizom prikazanih rezultata dobijenih sa slika fotografisanih sa 12 cm (Slika 6.24a i b), primećuje se ujednačen trend povećanja procenata belih piksela pri povećanju gramature za sve uglove, izuzev ugao 180° koji i pri ovoj udaljenosti dalje skoro iste vrednosti količine oštećenja za različite gramature (razlika između najniže i najviše gramature za taj ugao iznosi svega 0.33829). Ugao od 0° za paralelno savijene uzorke se izdvaja za ceo set ispitanih papira. Kod poprečnih uzoraka takva značajna razlika između rezultata za potpuno savijene uzorke i ostalih uglova nije uočena.

Male razlike u dobijenim rezultatima (pre svega za uglove 15°- 90°) postavljaju pitanje da li se ti rezultati uopšte razlikuju ili su te razlike slučajne. Odgovor na to pitanje se može dobiti primenom jednofaktorske analize varijanse, gde nezavisnu promenljivu predstavljaju uglovi postavljanja (čiji uticaj se ispituje) dok je zavisna promenljiva procenat belih piksela. Iako se već na prikazanim slikama 6.18 - 6.20 vidi da se varijanse u velikoj meri razlikuju po pojedinim ispitanim grupama, ipak procedura statističke analize nalaže da se izvrši provera homogenosti varijanse grupa čime će se definisati uslovi tumačenje rezultata. Homogenost varijanse je ispitana Leveneovim testom, a dobijeni rezultati tog testa su potvrdili polaznu pretpostavku da nisu sve grupe homogene u pogledu promenljivosti izmerenih procenata belih piksela po uglovima postavljanja (Tabela III.38, Prilog III). Od ukupno 15 ispitanih grupa po smerovima savijanja, za svega 5 grupa je potvrđena homogenost i kod paralelnih i kod poprečnih uzoraka.



Slika 6.24 – Grafički prikaz rezultata procenta belih piksela za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke fotografisanih sa udaljenosti od 12 cm

Iako je potvrđen veliki udeo nehomogenosti grupa, rezultati ANOVA testa i alternativnog Brown-Forsythe testa se poklapaju u potpunosti (Tabele III.39 i III.40, Prilog III). Sa jednoznačnim vrednostima značajnosti od Sig. = 0.000 pri $p < 0.05$ rezultati oba testa nesporno potvrđuju pretpostavku da postoji statistička značajna razlika između grupe uzoraka (posmatrajući sve uglove), bez obzira na smer savijanja i na udaljenost fotografisanja. Vrednosti eta-kvadrata su rasponu od 0.38215 do 0.9322, što po Koenu predstavlja veliki uticaj nezavisne promenljive (ugao postavljanja) na zavisnu promenljivu (procenat belih piksela) (Pallant, 2007). Da bi se proverilo između kojih grupa, tj. uglova, postoji statistička značajna razlika, sprovedena je naknadna analiza značajnosti razlike (Dunetov T3 test). Količina dobijenih rezultata za naknadno poređenje varijanse između grupa (poređenje po parovima nezavisne promenljive) uslovljava da se njihov tabelarni prikaz smesti među priloge, a ovde da se iznesu samo konačni zaključci tih testova značajnosti razlike (Tabele III.41-III.46, Prilog III).

Rezultati naknadnog poređenja srednjih vrednosti procenata belih piksela za sve uglove postavljanja uzoraka su u skladu sa grafičkim prikazom (Slike 6.22-6.25): ne postoji nijedan ugao koji se može izdvojiti za celu populaciju ispitanih materijala da se statistički značajno razlikuje od ostalih uglova. Kod paralelnih uzoraka od 15 osnovnih grupa (5 gramature i 3 udaljenosti) za ugao 0° je registrovana u najvećem broju statistička značajna razlika u srednjim vrednostima (u 7 grupa, većinom za niže gramature), dok za isti ugao kod poprečno savijenih uzoraka svega u 5 slučajeva je utvrđena signifikantna razlika. Za

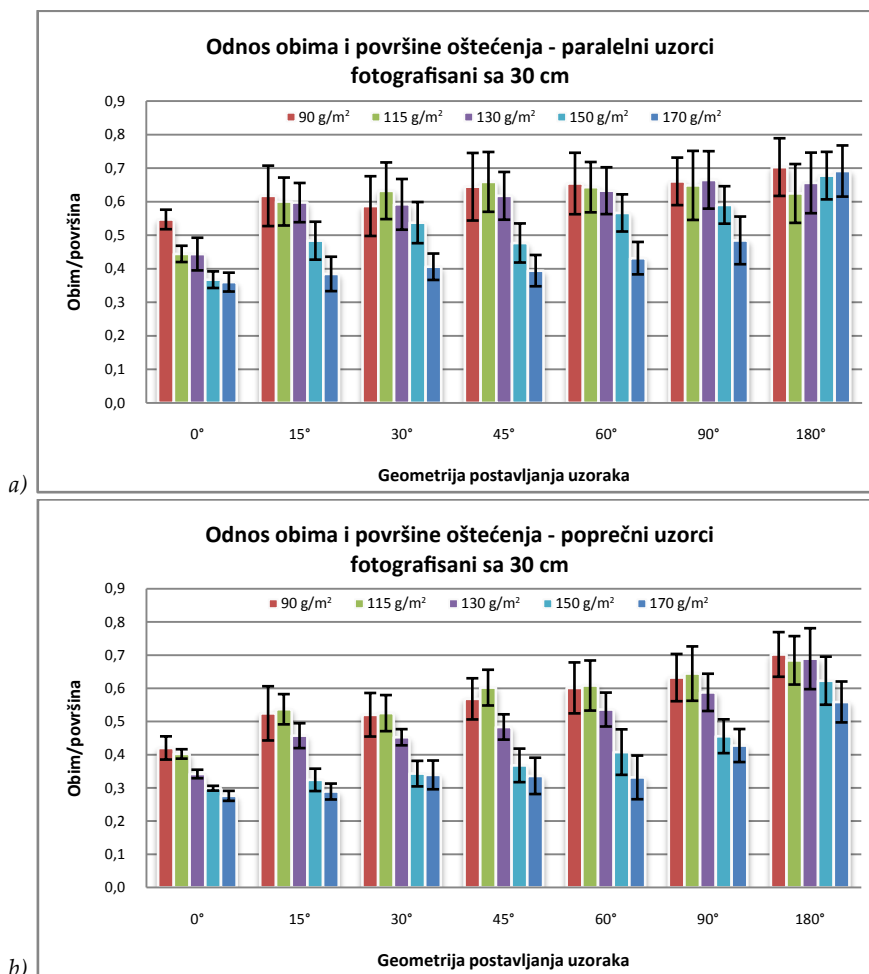
potpuno otvoreni položaj (ugao 180°) u 6 slučajeva je potvrđena statistički značajna razlika kod paralelnih uzoraka i to većim delom za papire većih gramatura, dok za poprečne uzorke za čak 13 kombinacija gramature i udaljenosti dalo je statističko značajno niže vrednosti procenata belih piksela od ostalih uglova. Razlike su bile uočene i po primenjenoj udaljenosti digitalizacije, ali to je već bilo potvrđeno u prethodnoj analizi.

Ugao postavljanja uzoraka ima veliki uticaj na izmerene vrednosti belih piksela, mada ne postoje uglovi među kojima je potvrđena statistički značajna razlika odnosno između kojih su razlike samo slučajne.

6.1.2.2. Odnos obima i površine oštećenja kod fotografisanih uzoraka

U nastavku slede rezultati odnosa obima i površine oštećenja za fotografisane uzorke, predstavljeni prvo po gramaturi i smeru savijanja uzoraka, zatim je izvršen i pregled uticaja udaljenosti epruveta pri digitalizaciji odnosno uticaj promene unutrašnjih uglova postavljanja epruveta pri digitalizaciji na dato obeležje digitalnog uzorka.

Srednje vrednosti i vrednosti standardne devijacije odnosa obima i površine za uzorke slikanih sa 30 cm su prikazane na slikama 6.25a i b, po smerovima savijanja.



Slika 6.25 – Grafički prikaz rezultata odnosa obima i površine oštećenja za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke fotografisanih sa udaljenosti od 30 cm sa različitim unutrašnjim uglovima postavljanja uzoraka

Vrednosti odnosa obima i površine detektovanih oštećenja po uzorcima savijenih u oba pravca imaju neujednačenu tendenciju opadanja. Analizom dobijenih rezultata po smerovima savijanja, utvrđeno je da su veće vrednosti dobijene kod paralelnih uzoraka izuzev dve grupe uzoraka kod ravno postavljenih epruveta (115 g/m² i 130 g/m²). Kako je veći odnos obima i površine pokazatelj zrnastije strukture površine, dobijeni rezultati ukazuju na to da paralelni uzorci imaju sitnija odnosno površinski manja pojedinačna oštećenja. Vrednosti su u rasponu od 0.36038 do 0.70328 za paralelne i od 0.27625 do 0.70226 za poprečne uzorke.

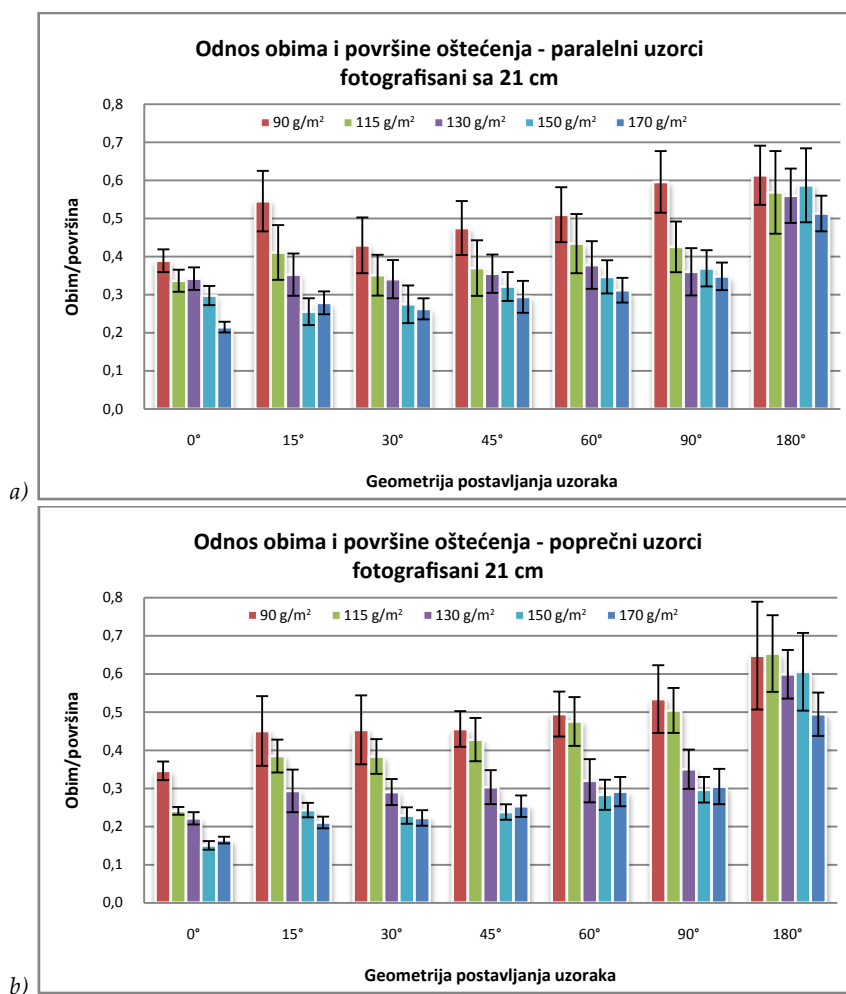
Kada se pogledaju rezultati po gramaturi ispitanih papira, vidi se da uzorci sa većim gramaturama (150 i 170 g/m²) u većini slučajeva imaju značajno manje vrednosti odnosa obima i površine detektovanih oštećenja bez obzira na smer savijanja. Najveće vrednosti su dobijene za gramature 90 i 115 g/m². Opadajući trend rezultata pri povećanju gramature uzoraka je uočen samo u tri slučaja: kod paralelnih uzoraka sa unutrašnjim uglovima postavljana od 0° i 60°, a kod poprečnih uzoraka za ugao postavljanja od 0°. Vrednosti standardnih devijacija, koje su grafički obeležene na slikama 6.25a i b, a tabelarno prikazani kao koeficijenti varijacije u tabeli II.13 (Prilog II) su u rasponu od 5.32% do 15.87% kod paralelnih i 2.42% do 19.82% kod poprečnih epruveta. Najniže vrednosti KV-e u većini slučajeva su registrovane za potpuno savijene uzorke (ugao 0°), dok za najveće vrednosti KV-e se ne može izdvojiti nijedan ugao. Iako postoje manja odstupanja, ipak se može uočiti razlika između rezultata paralelnih i poprečnih uzoraka, uglova i gramature papira.

Rezultati odnosa obima i površine detektovanih oštećenja na fotografisanim uzorcima, uslikanih sa 21 cm, su predstavljeni u nastavku. Na slici 6.26a su dati rezultati paralelno savijenih uzoraka, dok slika 6.26b prikazuje rezultate poprečno savijenih uzoraka.

Posmatrajući slike 6.26a i b se može uočiti da paralelni uzorci i pri ovoj udaljenosti imaju veće vrednosti odnosa obima i površine za uglove 0°- 90° (raspon: 0.21485 ÷ 0.59593) u odnosu na iste uglove kod poprečni uzoraka (raspon: 0.15044 ÷ 0.53396). Ravno postavljene epruvete po smeru savijanja imaju drugačiju strukturu oštećenja od ostalih uglova. Kod tog položaja veće vrednosti odnosa obima i površine su dobijene kod poprečnih uzoraka, koje odgovaraju sitnijim detektovanim pukotinama po liniji savijanja.

Analizom rezultata po gramaturama ispitanih papira, može se uočiti jasan trend opadanja sa povećanjem gramature kod većine uglova postavljanja, iako opadanje nije ravnomerno i ima manjih odstupanja od linearnog trenda. Uzorak gramature 90 g/m² u većini slučajeva se odvaja od ostalih papira, prevashodno kod paralelnog savijanja sa visokim vrednostima odnosa obima i površine. Kod poprečnih uzoraka, pored pomenutog 90 g/m² papira, gramatura 115 g/m² takođe ima značajno veće vrednosti odnosa obima i površine naspram ostalih papira. Takvi istaknuti rezultati odnosa obima i površine odgovaraju strukturi oštećenja sa više sitnih oštećenja i procepa kod nižih gramatura.

Koeficijenti varijacije za dati set uzoraka su u rasponu od 6.54% do 19.09.75% kod paralelnih, odnosno od 4.23% do 21.82% kod poprečnih uzoraka. Najmanje vrednosti KV-e su uočene kod potpuno savijene uzorke i to u oba pravca bez izuzetaka. Po najvećim vrednostima KV-e se ne može izdvojiti nijedan ugao postavljanja (Tabela II.14, Prilog II).

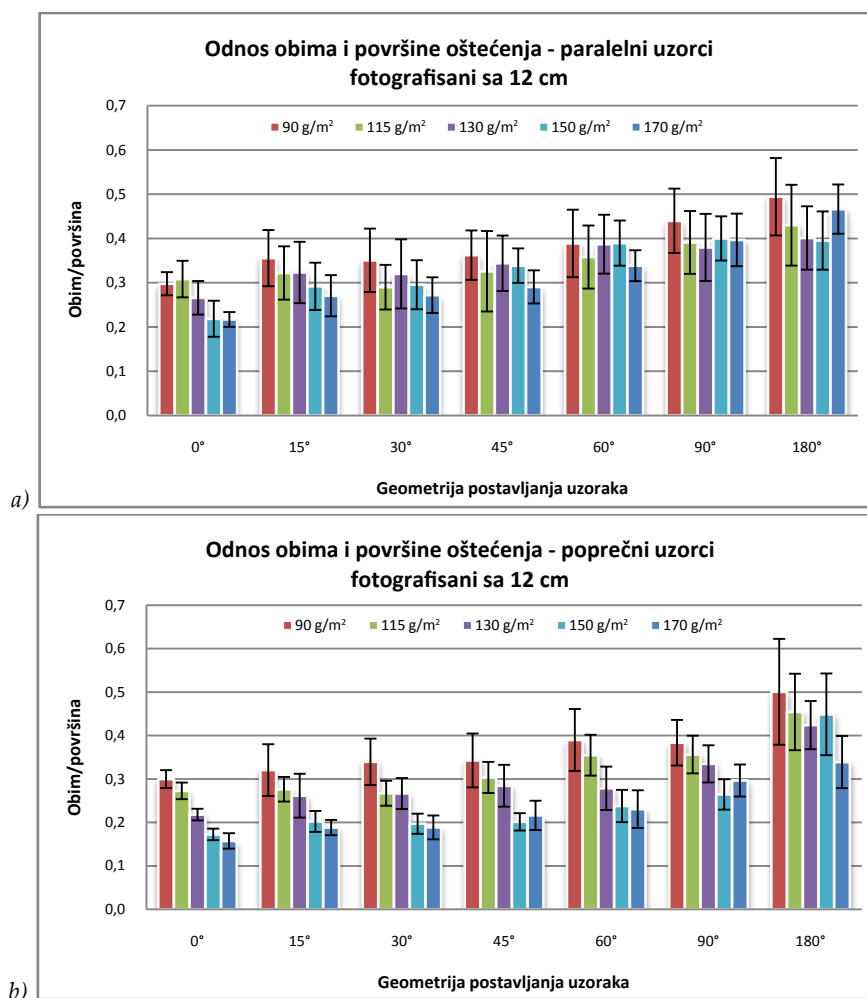


Slika 6.26 – Grafički prikaz rezultata odnosa obima i površine oštećenja za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke fotografisanih sa udaljenosti od 21 cm sa različitim unutrašnjim uglovima postavljanja uzoraka

Srednje vrednosti uz odgovarajućih standardnih devijacija merenja odnosa obima i površine su grafički prikazane na slici 6.27a za paralelno savijene uzorke, odnosno na 6.27b za poprečno savijene uzorke slikanih digitalnim fotoaparatom sa udaljenosti od 12 cm.

Na prikazanim slikama se može videti da rezultati odnosa obima i površine za udaljenost fotografisanja sa 12 cm po strukturi se ne odstupaju znatno od rezultata uzoraka dobivenih sa većih udaljenosti, ali su izmerene vrednosti niže i kreću se od 0.19113 do 0.49882 za paralelno savijene uzorke, odnosno od 0.157745 do 0.50081 za poprečne uzorke. Analizom rezultata po smerovima savijanja može se uočiti da pri uglovima postavljanja 0°- 90° paralelni uzorci su dali veće vrednosti u većini ispitanih kombinacija (28 od 30 kombinacija gramature i ugla postavljanja). U slučaju ravnog postavljanja (ugao 180°) za poprečne uzorke su registrovani veći odnosi obima i površine detektovanih oštećenja (sem uzorka 170 g/m²), mada su razlike male ($0.00642 \div 0.05367$).

Proverom uticaja gramature ispitanih papira vidi se da tendencija ravnomernog opadanja vrednosti odnosa obima i površine oštećenja sa porastom gramature je izraženija kod poprečno savijenih papira, pre svega za uglove 0°- 60° mada sa manjim odstupanjima. Za paralelne uzorke se ne može utvrditi takav trend opadanja.

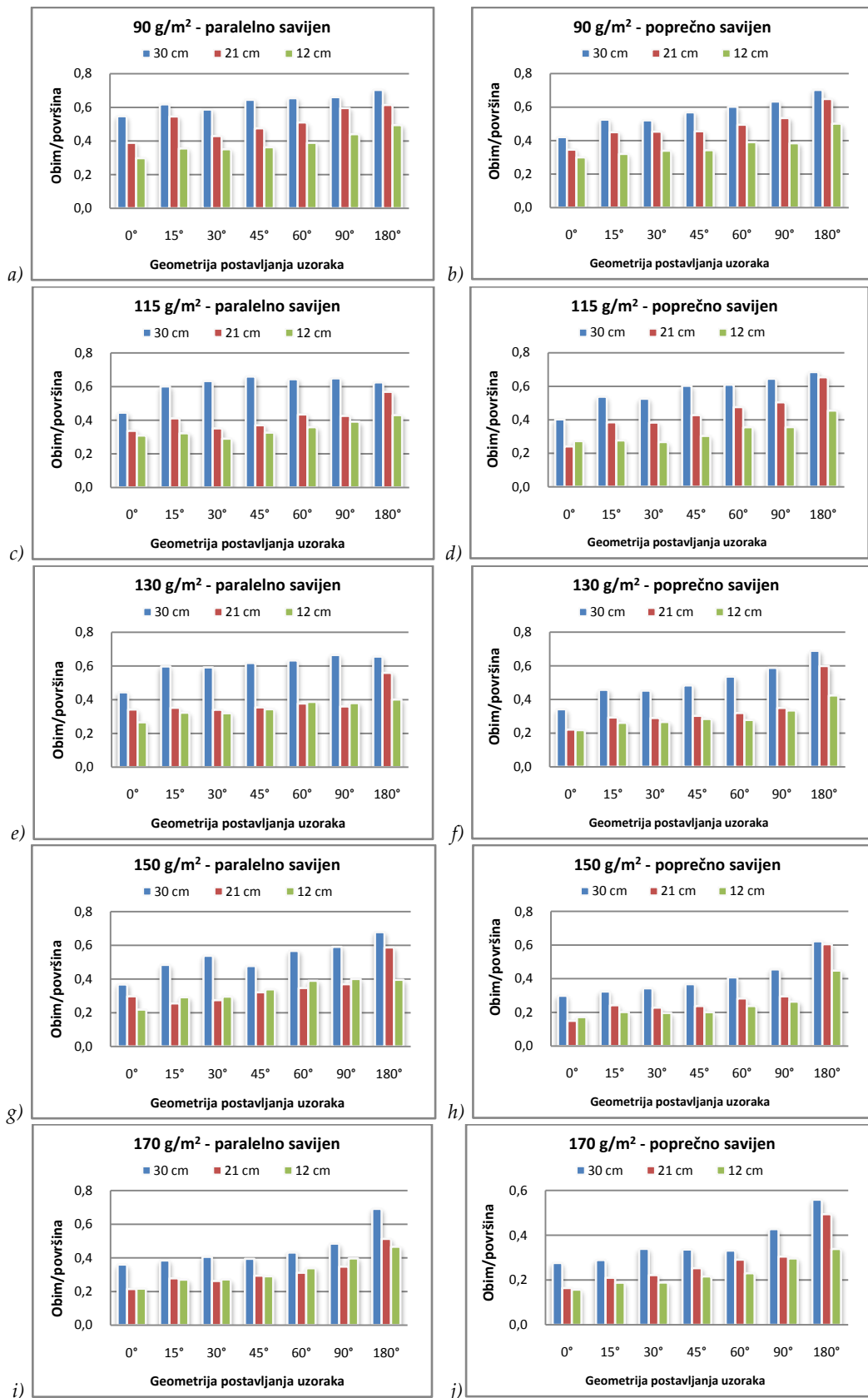


Slika 6.27 – Grafički prikaz rezultata odnosa obima i površine oštećenja za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke fotografisanih sa udaljenosti od 12 cm sa različitim unutrašnjim uglovima postavljanja uzoraka

Vrednosti standardne devijacije (Slika 6.27a i b, Tabela II.15, Prilog II) pokazuju neznatno veće rasipanje izmerenih rezultata kod paralelno savijenih uzoraka (sa koeficijentima varijacije od 7.70% do 27.88%), u poređenju sa poprečnim uzorcima (vrednosti KV-e su od 6.16% do 24.34%). Najniže vrednosti su zabeležene za ugao postavljanja od 0° za sve gramature, označavajući konzistentnu strukturu izmerenih rezultata, dok sa najvećim vrednostima KV-e se ne može izolovati nijedan ugao postavljanja ili gramatura papira.

6.1.2.2.1. Uticaj udaljenosti fotografisanja na odnos obima i površine detektovanih oštećenja

U nastavku sledi analiza uticaja udaljenosti digitalizacije na odnos obima i površine detektovanih oštećenja na fotografisanim uzorcima. Za jednostavniju uporednu analizu rezultata različitih udaljenosti, oni su predstavljeni po gramaturi i smeru savijanja ispitanih uzoraka. Na slici 6.28, oznakama a, c, e, g, i su prikazani rezultati za paralelne uzorke, dok oznakama b, d, f, h i j su dati rezultati poprečnih uzoraka.



Slika 6.28 – Grafički prikaz uticaja udaljenosti fotografisanja na rezultate odnosa obima i površine po smerovima savijanja (paralelno savijanje - a, c, e, g, i; poprečno savijanje - b, d, f, h, j) i po gramaturama uzoraka (90 g/m² - a, b; 115 g/m² - c, d; 130 g/m² - e, f; 150 g/m² - g, h; 170 g/m² - i, j)

Sa prikazanih slika se može primetiti da postoji izraženo opadanje u srednjim vrednostima odnosa obima i površine oštećenja za udaljenosti od 30 cm i 21 cm i to u svim grupama gramature i smera papira, odnosno uglova postavljanja. Razlike između udaljenosti od 21 cm i 12 cm, međutim, nisu toliko izražene za ceo set ispitanih papira. Kod nižih gramatura (90 g/m² i 115 g/m²) još postoji jasna razlika u dobijenim rezultatima za sve uglove i u oba smera savijanja, ali za veće gramature se mogu videti skoro izjednačene vrednosti odnosa obima i površine, odnosno u nekim slučajevima čak su i neznatno veće vrednosti registrovane za najmanju udaljenost.

Radi utvrđivanja značajnosti tih razlika, pomoću jednofaktorske analize varijanse su ispitane grupe po jednoj nezavisnoj promenljivoj, koja u ovom slučaju predstavlja udaljenost fotografisanja. Nakon provere homogenosti ispitanih grupa, pristupilo se sprovođenju jednofaktorske analize. Od ukupno 70 grupa, 17 nema potvrđenu homogenu varijansu (Tabela III.47, Prilog III), pa za njihovu analizu uzimaju se vrednosti od Brown-Forsythe testa, dok za homogene grupe statistička značajnost se proverava na osnovu rezultata analize varijanse. Tabela prikazani rezultati jednofaktorske analize varijanse, Brown-Forsythe testa kao i naknadnih testova (Dunetov T3 test) su dati u priložima na kraju disertacije (Tabele III.48-III.51, Prilog III). Rezultati jednofaktorske analize varijanse su u skladu sa prikazanim dijagramima: kod svih grupa kod kojih su vidljive razlike imaju potvrđenu statističku značajnost sa srednjim i velikim uticajem nezavisne promenljive, tj. udaljenosti pri snimanju na odnos obima i površine oštećenja. Vrednosti eta-kvadrata su u rasponu od 0.43190 do 0.95274 za paralelne, odnosno od 0.36740 do 0.97682 za poprečne uzorke (Tabela III.48, Prilog III).

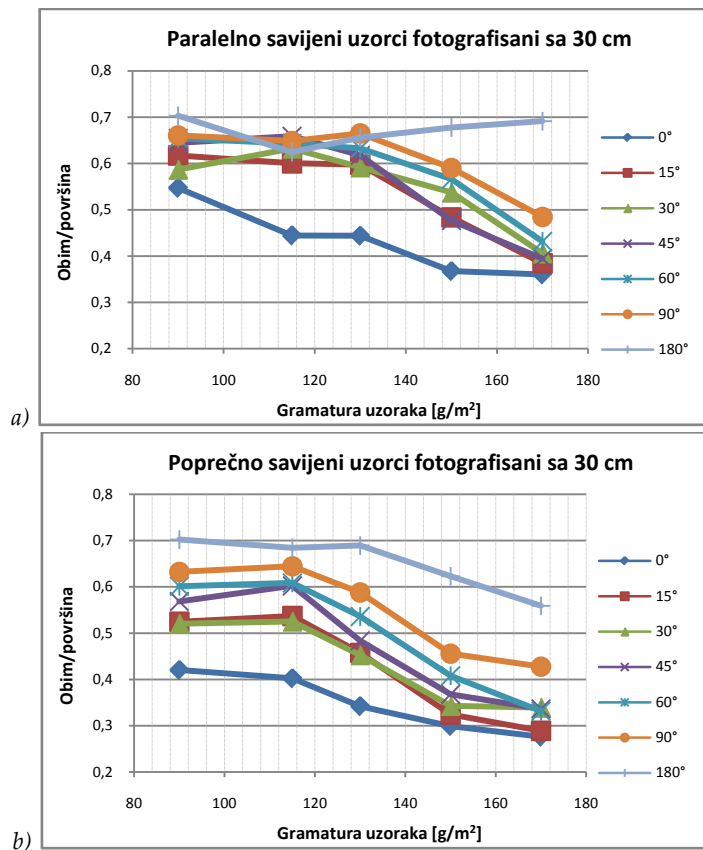
Na osnovu sprovedene analize statističke značajnosti razlike u srednjim vrednostima, može se ustanoviti da za papire većih gramatura (130 g/m² - 170 g/m²) razlike između pojedinih udaljenosti su slučajne. Od ukupno 70 ispitanih grupa kod 26 ne postoji statistički značajna razlika u srednjim vrednostima po primenjenoj udaljenosti fotografisanja materijalnih uzoraka i to 16 kod paralelnih i 10 kod poprečnih uzoraka.

Uticaj udaljenosti fotografisanja na izmerene vrednosti odnosa obima i površine je značajan, mada postoje gramature i smerovi savijanja ispitanih uzoraka kod kojih taj uticaj zanemarljiv, i kod njih su razlike zapravo samo slučajne.

6.1.2.2.2. Uticaj unutrašnjeg ugla postavljanja uzoraka na odnos obima i površine oštećenja

Za analizu uticaja promene unutrašnjeg ugla postavljanja papirnih epruveta kod fotografisanih uzoraka sve udaljenosti su analizirane, s obzirom na postojanje razlike između rezultata odnosa obima i površine po primenjenim udaljenostima. S obzirom na to da se međusobni odnos rezultata sa različitim uglovima postavljanja najlakše uočavaju na linijskim dijagramima, u nastavku slede njihovi grafički prikazi na slikama 6.29-6.31.

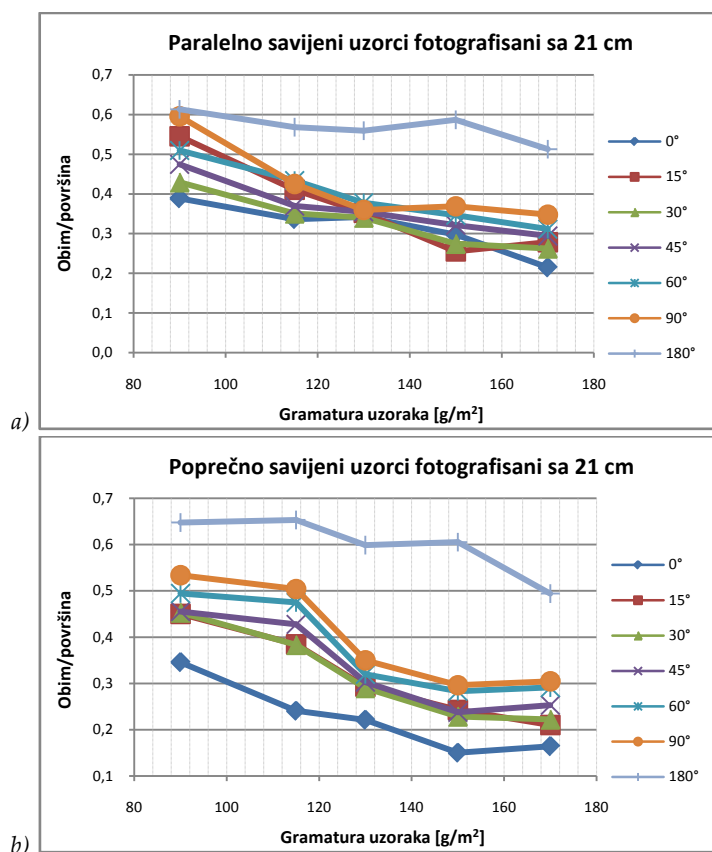
Sa prikazanih linijskih dijagrama na slici 6.29a i b (udaljenost od 30 cm), može se utvrditi da su u opštem smislu sa najmanjim unutrašnjim uglom (0°) dobijene najmanje vrednosti odnosa obima i površine oštećenja u oba smera savijanja, dok su najveće vrednosti zabeležene za ravno skenirane uzorke (180°), ali su prisutna značajna preklapanja.



Slika 6.29 – Grafički prikaz rezultata odnosa obima i površine oštećenja za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke fotografisanih sa udaljenosti od 30 cm

Vrednosti obima i površine u oba smera savijanja imaju opadajuću tendenciju sa povećanjem gramature ispitanih uzoraka skoro kod svih uglova postavljanja. Ravnomerniji pad je uočen kod poprečno savijenih uzoraka, bez nekih izraženih međusobnih preklapanja rezultata između uglova. Takvi rezultati ukazuju na ravnomernu promenu veličine površine detektovanih oštećenja usled promene unutrašnjeg ugla postavljanja pri datoj digitalizaciji. Za paralelne uzorke (Slika 6.30a) se može uočiti da su rezultati za uglove 15°- 90° veoma slični, dok se vrednosti odnosa obima i površine za ugao 180° preklapaju sa vrednostima nižih uglova za gramature 90 g/m² - 130 g/m², odnosno da je ugao 0° jasno izolovan od ostalih uglova za gramature 115 g/m²- 150 g/m².

Rezultati odnosa obima i površine za epruvete fotografisanih sa udaljenosti od 21 cm su prikazani na slici 6.30a i b. Dobijeni rezultati za paralelne uzorke imaju različitu strukturu po uglovima postavljanja u odnosu na veću udaljenost (30 cm). Kod udaljenosti od 21 cm rezultati paralelnih uzoraka imaju mnogo ujednačeniju tendenciju opadanja sa promenom gramature uzoraka. Za te uzorke je moguće još izdvojiti da je ugao 180° dao značajno različite vrednosti odnosa obima i površine za sve gramature osim 90 g/m², kao i da se rezultati za potpuno savijene uzorke (0°) uopšte ne izdvajaju od ostalih uglova. Poprečni uzorci (Slika 6.30b) takođe imaju odstupanja kod ove udaljenosti u odnosu na prethodnu (30 cm). Kod njih je došlo do jasnog diferenciranja rezultata za uglove 0° i 180° (pogotovo za 180°) od rezultata dobijenih sa ostalim uglovima, što kod udaljenosti od 30 cm nije bio slučaj.

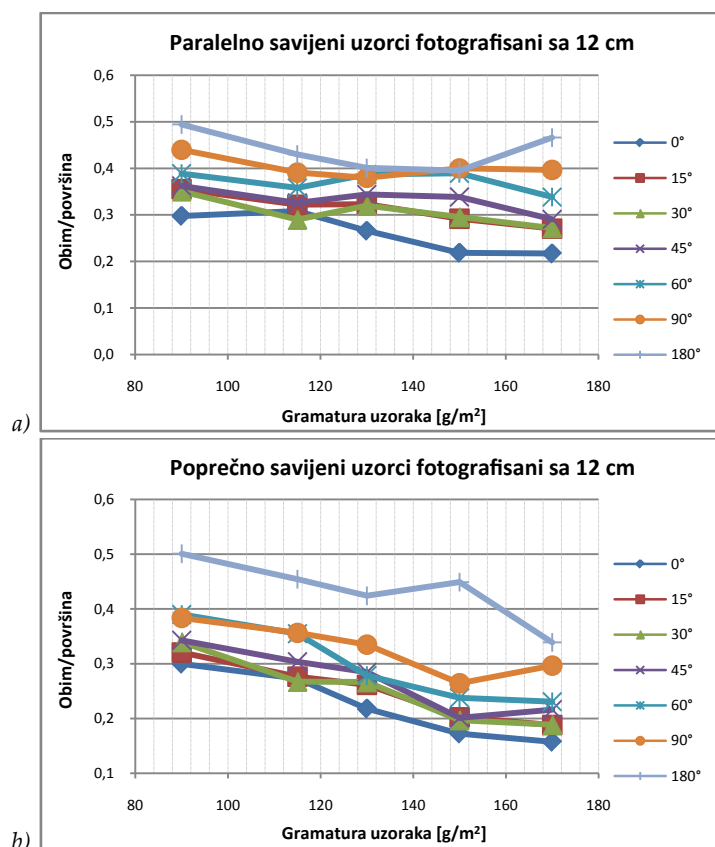


Slika 6.30 – Grafički prikaz rezultata odnosa obima i površine oštećenja za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke fotografisanih sa udaljenosti od 21 cm

Po rezultatima prikazanim na slici 6.31, za udaljenost fotografisanja uzoraka od 12 cm se može ustanoviti da uglovi kod paralelnih uzoraka imaju veći raspon srednjih vrednosti, pa tako imamo manje preklapanja bez odvajanja krajnjih položaja postavljanja uzoraka (uglova 0° i 180°), dok su poprečni uzorci dali sličnu tendenciju opadanja odnosa obima i površine kao i za najveću udaljenost fotografisanja (30 cm), ali sa značajno većim vrednostima kod ravno postavljenih uzoraka.

Izražena preklapanja u delu srednjih uglova postavljanja (15°- 90°) pa čak i u nekim segmentima sa uglom 0° zahtevaju primenu adekvatne statističke analize (jednofaktorske analize varijanse, sa prethodnim testom homogenosti varijanse), kako bi se utvrdilo postojanje statističke značajne razlike između tih uglova.

Rezultati testa homogenosti su predviđaju upotrebu alternativnog testa za analizu razlike u srednjim vrednostima, jer samo za 5 grupa je potvrđena homogena struktura, kako za paralelne, tako i za poprečne uzorke (Tabela III.52, Prilog III). Pri tumačenju rezultata jednofaktorske analize varijanse (Tabela III.53, Prilog III) kriterijumi značajnosti za sve nehomogene grupe su uzeti iz alternativnog testa (Brown-Forsythe test, Tabela III.54, Prilog III), mada ti testovi po dobijenim vrednostima značajnosti se potpuno poklapaju. Za sve gramature ispitanih uzoraka su dobijene vrednosti značajnosti od Sig=0.000 pri $p < 0.05$ sa visokim vrednostima parcijalnog eta-kvadrata (raspon: 0.26017 ÷ 0,83523 za paralelne, 0.45711 ÷ 0.9008 za poprečne uzorke) što potvrđuje veliki uticaj unutrašnjeg ugla postavljanja na rezultate odnosa obima i površine oštećenja.



Slika 6.31 – Grafički prikaz rezultata odnosa obima i površine oštećenja za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke fotografisanih sa udaljenosti od 12 cm

Sa naknadnim testovima (Dunetov T3 test) je ispitano tačno između kojih grupa (uglova) postoji statistički značajna razlika. Zbog količine dobijenih rezultata naknadnih testova ovde su izneti samo sumirani zaključci, dok za pregled rezultata pomenutih testova po smerovima savijanja i udaljenosti fotografisanja, date su tabele na kraju disertacije u delu priloga (Tabele III.55-III.60, Prilog III).

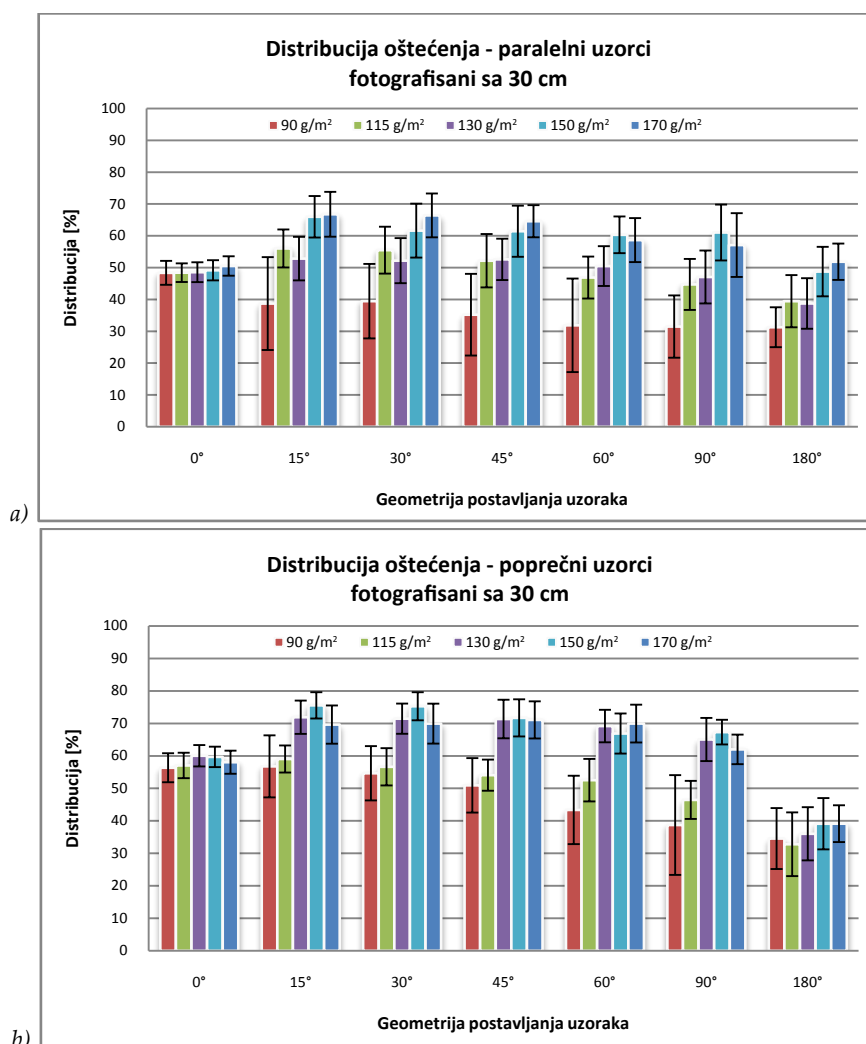
Rezultati naknadnih testova su potvrdili grafički prikazanu strukturu rezultata. Naime, po srednjim vrednostima nijedan ugao se ne može izdvojiti u potpunosti za ceo set ispitanih papira sa statističkom značajnom razlikom u odnosu na druge uglove – čak ni ugao 180°. No, kako je udaljenost takođe uticajni parametar od značaja, rezultati se mogu podeliti po primenjenoj udaljenosti fotografisanja. Za udaljenost od 30 cm kod paralelnih uzoraka ugao 0° se može pomenuti sa značajnim razlikama rezultata u odnosu na ostale uglove (4 od 5 grupa), dok za poprečne uzorke ugao 180° je različit po srednjim vrednostima za ceo set ispitanih papira. Udaljenost od 21 cm ima više izolovanih uglova, ali samo kod poprečnih uzoraka (ugao 180° kod preko cele grupe, a ugao 0° za gramature 90 g/m² i 115 g/m²). Paralelni uzorci su imali samo po dve gramature za ugao 0° i 180° sa različitim srednjim vrednostima po uglovima. Pri udaljenosti od 12 cm, jedino se ugao 180° se može izdvojiti sa značajnim razlikama u rezultatima.

Uticaj ugla postavljanja uzoraka na izmerene vrednosti odnosa obima i površine je značajan, iako se ne može ustanoviti statističko značajna razlika između nekih parova uglova koji su tipični za ceo set ispitanih papira.

6.1.2.3. Distribucija oštećenja po posmatranoj površini kod fotografisanih uzoraka

U ovom poglavlju su predstavljeni rezultati distribucije oštećenja fotografisanih uzoraka, grupisani u dve celine. Prvo slede grafički prikazi srednjih vrednosti izmerenih rezultata uz prikaz standardnih devijacija sa osvrtom na proveru uticaja gramature i smera savijanja uzoraka. Nakon toga su date analize uticaja udaljenosti fotografisanja i postavljanja epruveta pri digitalizaciji na procenat distribucije.

Srednje vrednosti izmerenih rezultata distribucije oštećenja sa standardnim devijacijama su prikazane na slikama 6.32a i 6.32b, redom za paralelno i poprečno savijene uzorke fotografisanih sa udaljenosti od 30 cm.



Slika 6.32 – Grafički prikaz rezultata distribucije oštećenja za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke fotografisanih sa udaljenosti od 30 cm i sa različitom geometrijom postavljanja

Analizom prikazanih rezultata po smeru savijanja se može ustanoviti da su poprečni uzorci dali veće procenat distribucije oštećenja u odnosu na paralelno savijene uzorke (raspon vrednosti distribucije oštećenja za poprečno savijene uzorke je od 34.57% do 71.91%, dok paralelni uzorci imaju vrednosti distribucije u rasponu od 31.30% do 66.8%).

Proverom prikazanih dijagrama po gramaturi papira može se utvrditi da su manje vrednosti zabeležene kod nižih gramatura, kod oba pravca savijanja. Sa povećanjem gramature uzoraka, povećava se i vrednost distribucije, tj. ravnomernost raspoređivanja oštećenja po liniji savijanja. Kod paralelnih uzoraka, zbog izuzetne niske vrednosti distribucije za papir gramature 90 g/m², razlika između najniže i najviše vrednosti procenta distribucije po gramaturama je izraženija u odnosu na poprečno savijene uzorke, kod kojih uzorak 90 g/m² papira samo za uglove 60° i 90° ima signifikantno niže vrednosti. Odstupanja od ravnomernog rasta su prisutna kod oba smera savijanja uzoraka i po gramaturi uzoraka i po uglu postavljanja.

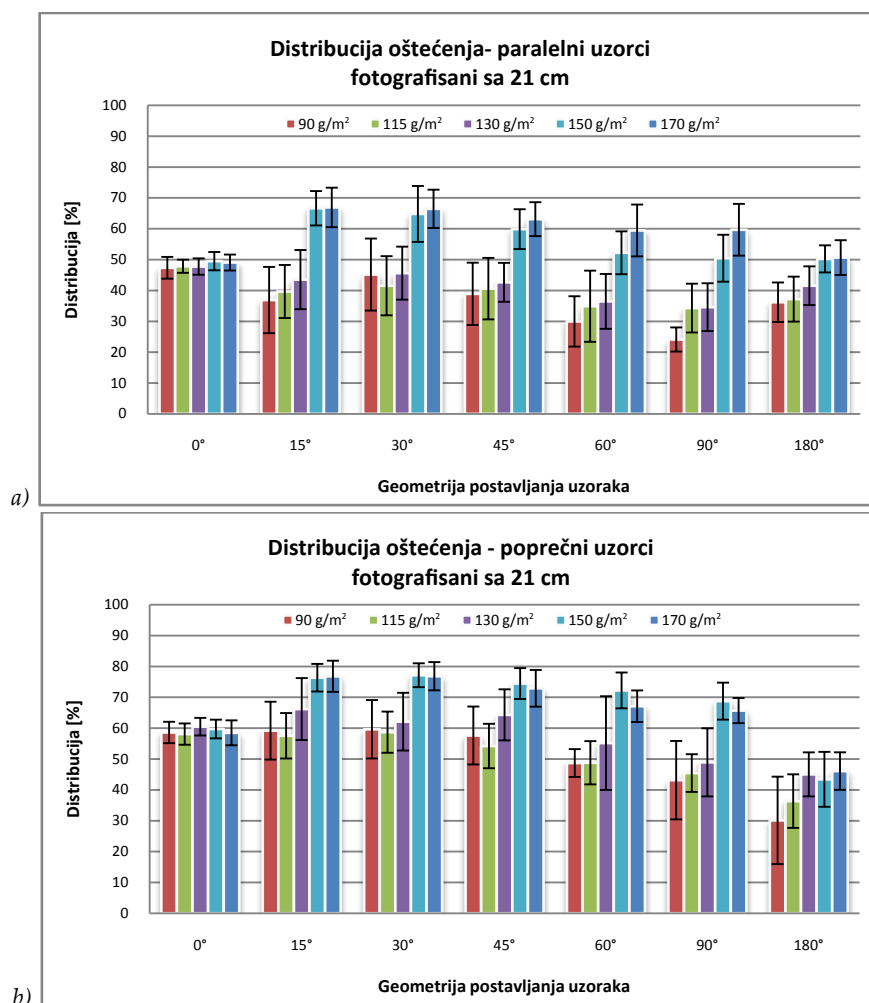
Vrednosti koeficijenta varijacije ukazuju na ujednačenu strukturu ispitanih papira savijenih u oba smera vlakanca, mada postoje odstupanja i to pre svega za gramaturu od 90 g/m². Raspon koeficijenta varijacije je od 6.04% do 46.06% za paralelne, i od 5.27% do 29.88% za poprečne uzorke, pri čemu su vrednosti za paralelno savijene uzorke gramature od 90 g/m² znatno veće u odnosu na ostale papire. Gledajući uglove postavljanja, najveće vrednosti KV-e su tipične za ugao skeniranja od 180° i to skoro kod svih uzoraka u oba smera savijanja.

Srednje vrednosti izmerenih distribucija oštećenja na uzorcima slikanih digitalnim fotoaparatom sa udaljenosti od 21 cm su date na slikama 6.33a za paralelne uzorke i na 6.33b za poprečne uzorke.

Upoređujući dobijene rezultate distribucije za fotografisane uzorke sa udaljenosti od 21 cm po smeru savijanja, može se ustanoviti da su veće vrednosti dobijene za poprečno savijene uzorke za uglove od 0°- 90° i to za sve gramature ispitanih papira. Za ravno postavljene uzorke, paralelno savijene epruvete su dale veće procenete distribucije oštećenja po liniji savijanja za skoro sve papire, jer uzorak gramature od 130 g/m² ima neznatno veću vrednost distribucije od odgovarajućeg poprečno savijenog uzorka.

Analizom rezultata po gramaturi uzoraka, može se reći da postoji tendencija rasta distribucije sa povećanjem gramature savijenih papira, ali ta tendencija je različita po uglovima postavljanja uzoraka. Pri uglu postavljanja od 0° skoro i nema promene u procentu raspodele oštećenja po posmatranoj površini na slikama uzoraka, dok su uglovi od 15° do 90° dali veoma izražene razlike između nižih (90 g/m² - 130 g/m²) i viših gramatura (150 g/m² - 170 g/m²). Za ugao 180° nisu karakteristične takve velike razlike u izmerenim rezultatima i skoro imaju ravnomeran rast sa povećanjem gramature.

Vrednosti standardne devijacije prikazane na slikama 6.33a i b (kao i odgovarajući koeficijenti varijacije izmerenih rezultata - Tabela II.17, Prilog II) ukazuju na različitu strukturu dobijenih rezultata po rasipanju merenja. Po smerovima savijanja se može videti, da su veća rasipanja prisutna kod paralelnih uzoraka (Slika 6.34a), dok poprečni uzorci, a posebno sa većom gramaturom, imaju manju standardnu devijaciju. Najveća vrednost KV-e je registrovana za poprečno savijene uzorke gramature 90 g/m² sa uglom postavljanja od 180° (47.5%) koja ujedno predstavlja i ekstremnu vrednost s obzirom na to da druga najznačajnija KV-e iznosi 29.44%. Posmatrajući uglove, najniže vrednosti KV-e su zabeležene u većini slučajeva za potpuno savijene uzorke (ugao 0°), dok se za najveće vrednosti ne mogu izdvojiti uglovi.



Slika 6.33 – Grafički prikaz rezultata distribucije oštećenja za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke fotografisanih sa udaljenosti od 21 cm i sa različitom geometrijom postavljanja

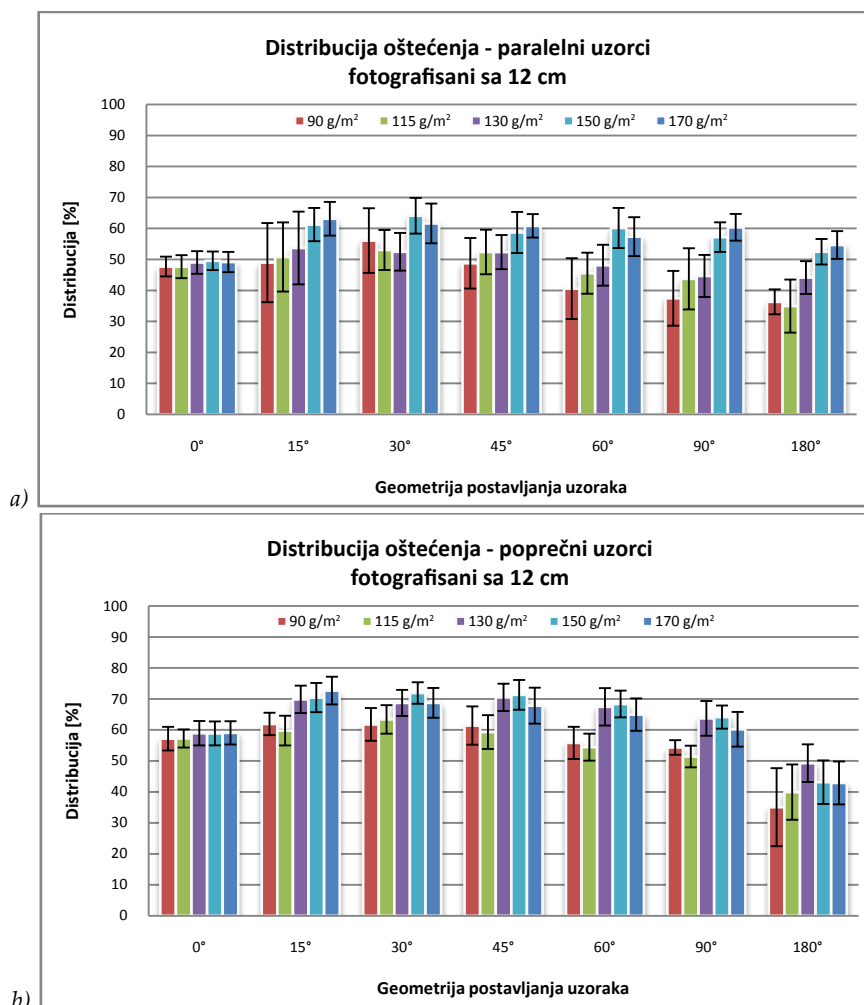
U daljem delu slede grafički prikazi rezultata distribucije oštećenja (srednje vrednosti i standardne devijacije) za papirne uzorke savijenih u oba smeru vlakanca sa analiziranih slika dobijenih pomoću digitalnog fotoaparata sa udaljenosti od 12 cm (Slika 6.34a i b).

Posmatrajući dobijene rezultate po smeru savijanja, i za ovu udaljenost je moguće istaknuti da su poprečni uzorci dali veće vrednosti distribucije skoro za sve ispitane papire po celom opsegu uglova postavljanja. Raspon izmerenih rezultata se kreće od 34.98% do 64.14% za paralelne uzorke, a za poprečne uzorke ist se kreće od 35.07% do 72.71%.

Vrednosti procenata distribucije prate rast gramature, i to sa ravnomernom tendencijom, pri čemu se može ustanoviti da su razlike između najnižih i najvećih vrednosti distribucije kod ove udaljenosti najmanje. Tome doprinesi umerenije odskakanje rezultata za veće gramature (150 g/m² i 170 g/m²), kako u paralelnom tako i u poprečnom smeru savijanja.

Analizom rasipanja izmerenih rezultata pomoću koeficijenta varijacije utvrđeno je da su poprečno savijeni uzorci i pri ovoj udaljenosti dali homogenija merenja sa vrednostima KV-e ispod 10% za sve gramature papira i sve uglove postavljanja, izuzev ugla od 180°. Za taj ugao su zabeležene vrednosti KV-e od 16.16% do 35.92%. Ova poslednja predstavlja ujedno i

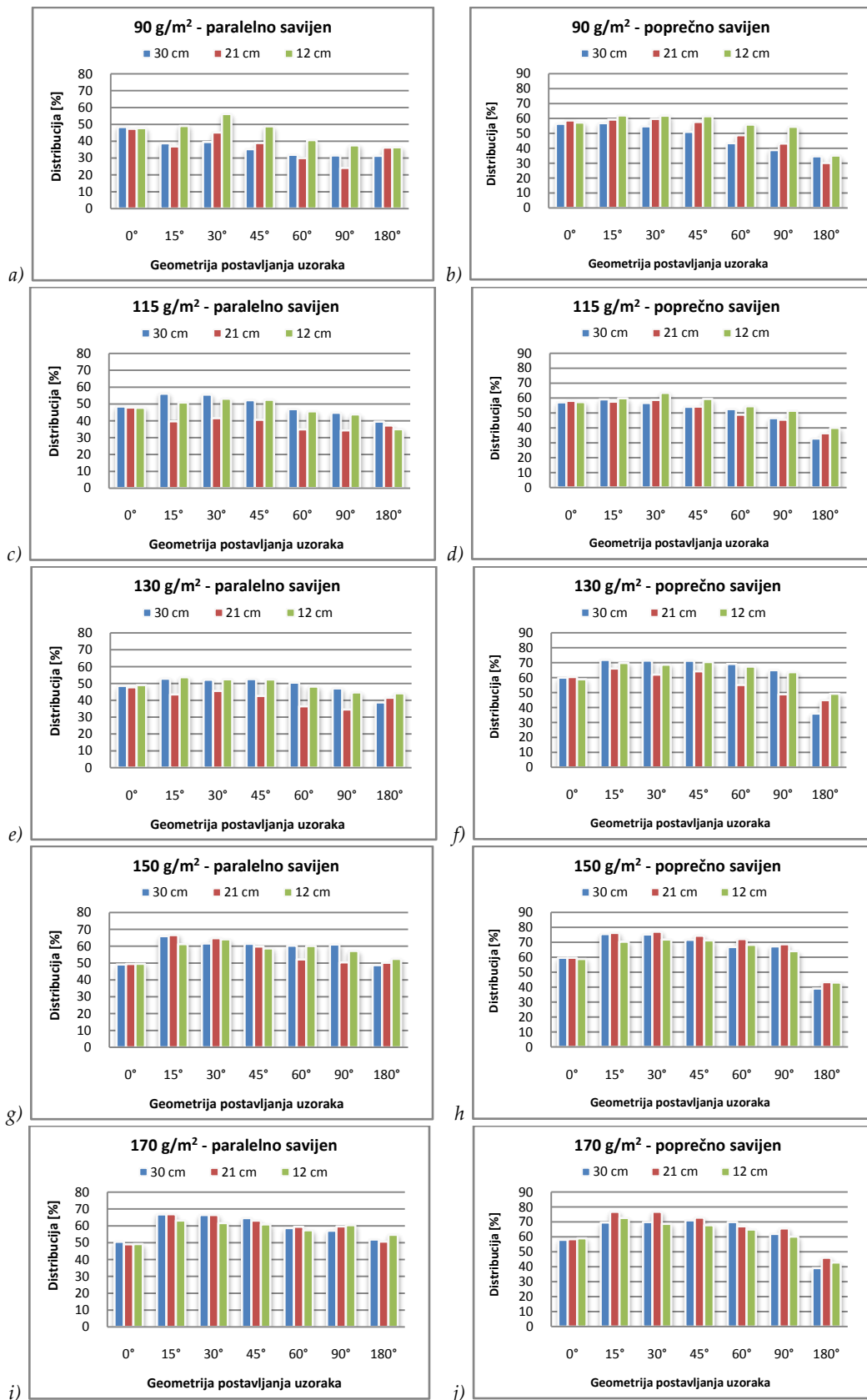
najveću vrednost KV-e za ceo set ispitanih uzoraka (kao i ekstremnu), koja je registrovana za poprečno savijene uzorke gramature 90 g/m² sa uglom postavljanja od 180° (što je bio slučaj i kod udaljenosti od 21 cm).



Slika 6.34 – Grafički prikaz rezultata distribucije oštećenja za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke fotografisanih sa udaljenosti od 12 cm i sa različitom geometrijom postavljanja

6.1.2.3.1. Uticaj udaljenosti fotografisanja na distribuciju oštećenja

Uticaj udaljenosti na distribuciju oštećenja preliminarno je analiziran i u prethodnom poglavlju, ali za detaljan pregled i međusobno upoređivanje dobijenih rezultata, oni su prikazani pomoću dijagrama po gramaturi i smeru savijanja papirnih epruveta (Slika 6.35a-j). Na prikazanim dijagramima se lako primeti da po udaljenosti fotografisanja kod nekih uzoraka ima, a opet kod nekih drugih nema znatnih razlika u srednjim vrednostima. Upoređujući rezultate procenta distribucije i procenta belih piksela po udaljenostima digitalizacije (Slika 6.21a-j), može se uočiti određen stepen sličnosti: veće razlike su primećene kod uzoraka nižih gramatura (npr: slika 6.36a, c i e, sa uglovima postavljanja od 15°- 90°), dok za papire većih gramatura je karakteristično da ne postoje tako izražene razlike (posebno ne za ugao postavljanja od 0°).



Slika 6.35 – Grafički prikaz uticaja rezolucije skeniranja na rezultate distribucije oštećenja po smerovima savijanja (paralelno savijanje - a, c, e, g, i; poprečno savijanje - b, d, f, h, j) i po gramaturama uzoraka (90 g/m² - a, b; 115 g/m² - c, d; 130 g/m² - e, f; 150 g/m² - g, h; 170 g/m² - i, j)

Primenom jednofaktorske analize varijanse različitih grupa izvršena provera pomenutih razlika, da bi se utvrdila da li postoji statistički značajna razlika u primenjenim udaljenostima za distribuciju oštećenja. Analizu varijanse je prethodio test homogenosti grupa. Na osnovu rezultata testa homogenosti ispitanih grupa, (Leveneov test, Tabela III.61, Prilog III), utvrđeno je da promenljivost zavisne promenljive (distribucije) po uticaju nezavisne (udaljenosti snimanja uzoraka pri digitalizaciji) nije jednaka u svim grupama ispitanih papira (od ukupno 70 grupa za 52 je potvrđena homogenost). Pri tumačenju rezultata statističke značajnosti razlike u srednjim vrednostima procenata distribucije, za te nehomogene grupe su korišćeni rezultati Brown-Forsythe testa, dok je za sve homogene grupe, značajnost razlike proverena na osnovu rezultata ANOVA testa (Tabele III.62 i III.63, Prilog III).

Rezultati jednofaktorske analize varijanse i kod distribucije oštećenja potvrđuju grafički prikazano stanje međusobnog odnosa: kod svih grupa kod kojih su vidljive razlike imaju potvrđenu statističku značajnost sa srednjim i velikim uticajem nezavisne promenljive, tj. udaljenosti pri snimanju na procenata belih piksela. Vrednosti parcijalnog eta-kvadrata su za te grupe od 0.10580 do 0.42484 kod paralelnih i od 0.10847 do 0.46138 kod poprečnih uzoraka za ANOVA test. Od ukupno 35 ispitanih grupa po smeru savijanja, kod 14 paralelnih i 11 poprečnih grupa ne postoji statistički značajna razlika u srednjim vrednostima procenata belih piksela po primenjenoj udaljenosti fotografisanja materijalnih uzoraka. Vrednosti parcijalnog eta-kvadrata su za te grupe od 0.00327 do 0.09661 kod paralelnih i od 0.01211 do 0.09613 kod poprečnih uzoraka.

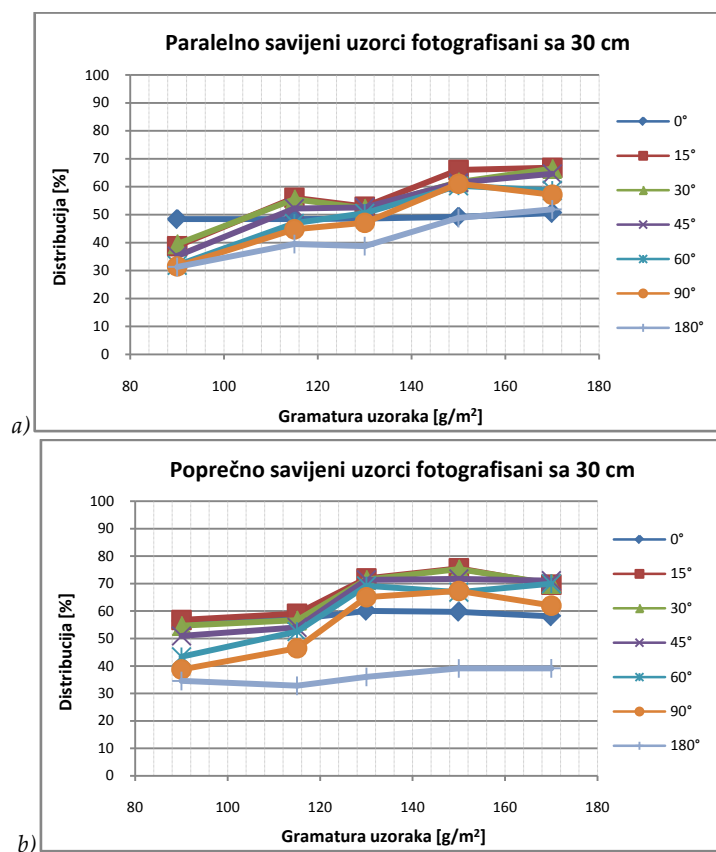
Naknadnim poređenjem ispitanih grupa (Dunetovim T3 testom) su provere tačno između kojih podgrupa postoji razlika po udaljenostima. Za paralelne uzorke su najmnogobrojnije grupe sa razlikama u rezultatima sa udaljenosti između 21 cm i 12 cm (19 grupa), odnosno između 30 cm i 21 cm (13 grupa). Kod poprečnih uzoraka, razlike su manje izražene, ipak postoji 17 grupa ispitanih papira sa značajnom razlikom između 21 i 12 cm. Po rezultatima jednofaktorska ANOVA i alternativni testovi se potpuno poklapaju (Tabele III.64 i III.65, Prilog III).

Značajan je uticaj udaljenosti fotografisanja na izmerene vrednosti distribucije oštećenja, mada postoje gramature i smerovi savijanja ispitanih uzoraka kod kojih taj uticaj zanemarljiv.

6.1.2.3.2. Uticaj unutrašnjeg ugla postavljanja uzoraka na distribuciju oštećenja

U nastavku je sprovedena detaljna analiza uticaja unutrašnjeg ugla postavljanja savijanih uzoraka pri digitalizaciji na rezultat procenata distribucije. Za preglednost rezultata, oni su prikazani pomoću linijskih dijagrama po primenjenoj udaljenosti fotografisanja u oba pravca savijanja papira.

Dijagrami na slici 6.36a i b, prikazuju konsistentnu strukturu izmerenih rezultata u oba smera savijanja. Rezultati jednoznačno ukazuju na umeren uticaj unutrašnjeg ugla postavljanja kod uglova 15°- 90° na promene distribucije, pa čak za neke gramature uglovi 0° i 180° su takođe blizu ostalim uglovima. Po smeru savijanja ipak može da se kaže, da se ugao 180° izdvaja po najnižim vrednostima distribucije, dok za paralelne uzorke takvo jasno diferenciranje nije prisutno.



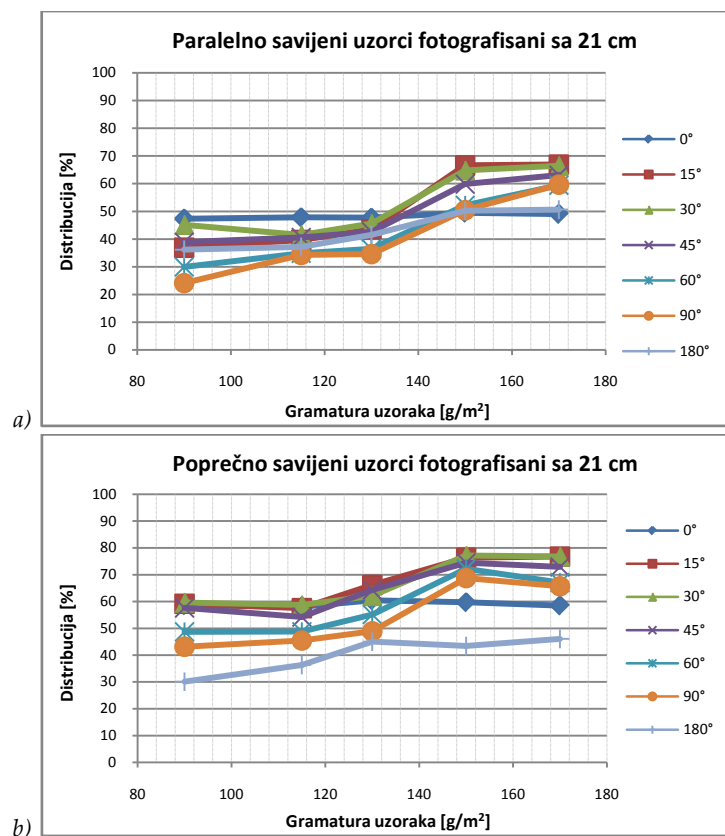
Slika 6.36 – Grafički prikaz rezultata distribucije oštećenja za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke fotografisanih sa udaljenosti od 30 cm

Za rezultate dobijene sa digitalnih uzoraka fotografisanih sa 21 cm, prikazane sa slikama 6.37a i b, može se videti da sa povećavanjem unutrašnjeg ugla postavljanja od 15° do 90°, rezultati distribucije većini slučajeva opadaju. Kod paralelnih uzoraka, uglovi 0° i 180° su dosta specifični jer se vrednosti distribucije za te uglove preklapaju sa rezultatima nekih drugih uglova. Za ugao od 0° je još karakteristično da skoro i nema pozitivne tendencije povećanja distribucije oštećenja pri porastu gramature. Za poprečno savijene uzorke ugao 0° ima slične osobine, ali ugao 180° se izdvaja sa najnižim vrednostima distribucije.

Za uzorke fotografisane sa udaljenosti od 12 cm (Slika 6.38a i b) rezultati distribucije oštećenja imaju sličnu strukturu kao i za uzorke od 21 cm. Pri povećavanju unutrašnjeg ugla postavljanja uzoraka od 15° do 90°, rezultati procenata distribucije opadaju kod većine ispitanih uzoraka u oba pravca savijanja i to ravnomerno, mada postoje veće i manje razlike u srednjim vrednostima. Za potpuno savijene uzorke (ugao 0°) rezultati po gramaturi uzoraka skoro se i ne razlikuju ni pri paralelnom i pri poprečnom savijanju. Kod poprečnih uzoraka ugao 180° se jasno odvaja od ostalih uglova sa najnižim vrednostima distribucije oštećenja.

Sa prikazanih linijskih dijagrama se jasno vidi, da su neke razlike vrlo male, međutim, mora se ispitati adekvatnim statističkim metodama da li su te male razlike značajne ili ne. Pomoću jednofaktorske analize varijanse, odnosno naknadnog testa (Dunetov T3 test) će se ispitati da li nezavisna promenljiva, tj. uglovi postavljanja imaju uticaja na vrednosti

distribucije. Dobijeni rezultati testa homogenosti (Leveneov test), potvrdili su polaznu pretpostavku da zbog velikih rasipanja kod nekih gramatura, homogenost varijanse nije jednaka u svim grupama pri analizi distribucije (Tabela III.66, Prilog III). Od ukupno 30 ispitanih grupa (15 po smerovima savijanja), za svega 4 je potvrđena homogenost i to samo kod poprečnih uzoraka.

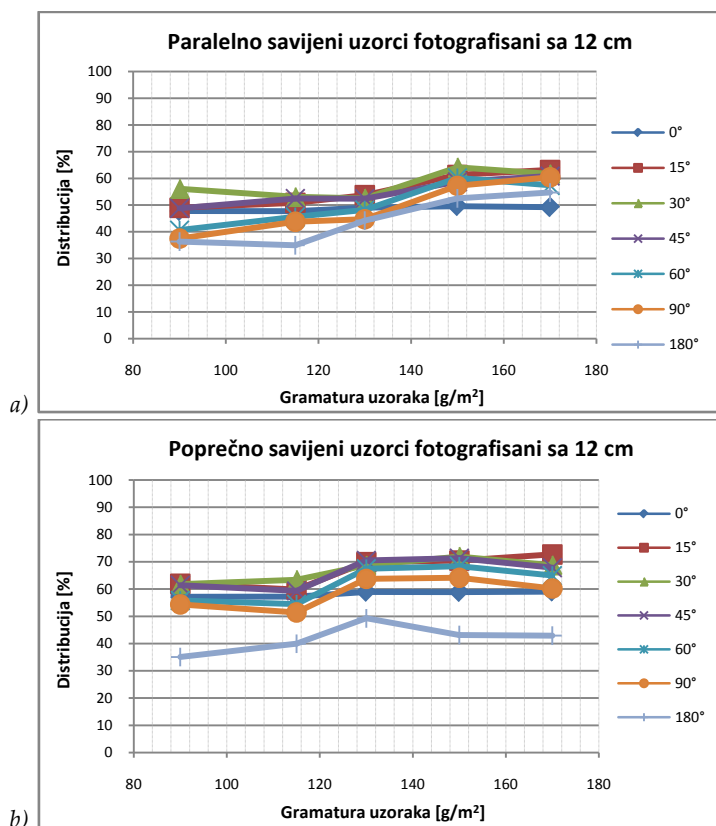


Slika 6.37 – Grafički prikaz rezultata distribucije oštećenja za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke fotografisanih sa udaljenosti od 21 cm

Bez obzira što je utvrđen veliki udeo nehomogenosti u ispitanim grupama, vrednosti značajnosti za ANOVA i Brown-Forsythe testove se podudaraju u celosti (Tabele III.67 i III.68, Prilog III). Skoro sa apsolutno jednoznačnim vrednostima značajnosti od Sig. = 0.000 ($p < 0.05$) rezultati oba testa nesporno potvrđuju statističku značajnu razliku između grupe uzoraka bez obzira na smer savijanja i na udaljenost fotografisanja, ali posmatrajući sve uglove postavljanja. Vrednosti eta-kvadrata su rasponu od 0.13258 do 0.55527 za paralelne, odnosno od 0.55897 do 0.85191 za poprečne uzorke, što po Koenu predstavljaju srednji i veliki uticaj ugla postavljanja procenat distribucije oštećenja po liniji savijanja (Pallant, 2007).

Dunetovim T3 naknadnim testom su proverene razlike između pari uglova po svim udaljenostima fotografisanja. Obimnost dobijenih rezultata Dunetovog T3 testa diktira potrebu da se tabelarni prikazi daju u delu priloga, a ovde da se iznesu samu najbitniji zaključci analize (Tabele III.69-III.74, Prilog III). Dobijeni rezultati naknadnog poređenja srednjih vrednosti distribucije za sve uglove postavljanja uzoraka su u skladu sa grafičkim

prikazima datim na slikama 6.37-6.39: ne može nijedan ugao da se izdvoji za kompletan set ispitanih uzoraka po svim podešavanjima (gramatura, smer savijanja i udaljenost) da se statistički značajno razlikuje od ostalih uglova.



Slika 6.38 – Grafički prikaz rezultata distribucije oštećenja za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke fotografisanih sa udaljenosti od 12cm

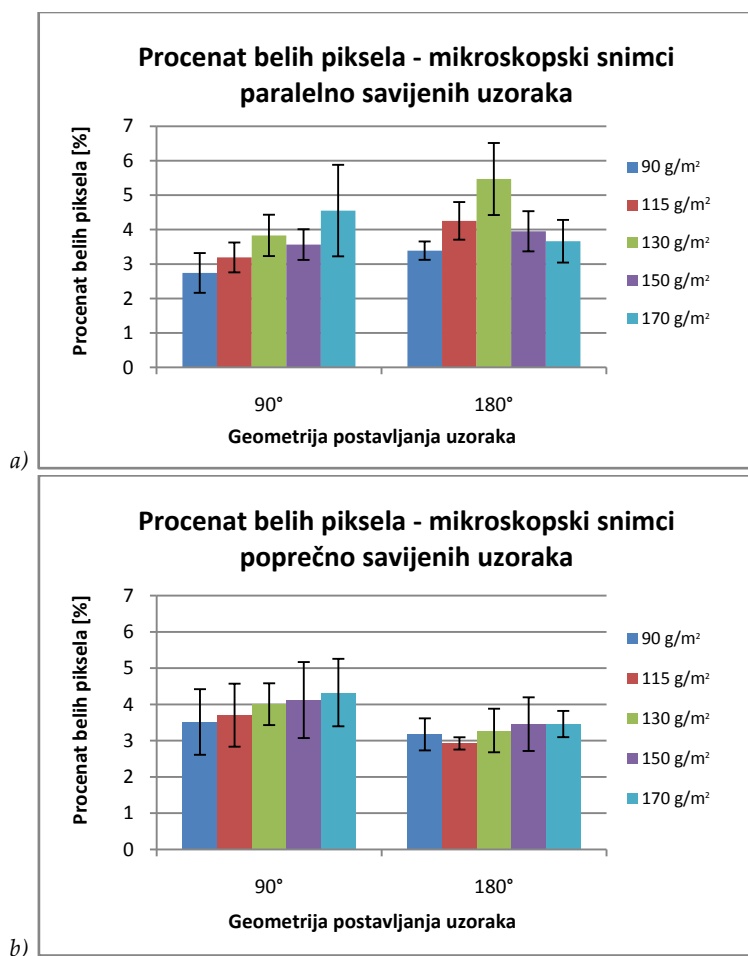
Postavljanje uzoraka pri različitim unutrašnjim uglovima u velikoj meri može da utiče na konačne rezultate distribucije, mada postoji veliki broj kombinacije uglova i između kojih nije potvrđena statistički značajna razlika za ovaj set ispitanih papira.

6.1.3. Rezultati uzoraka digitalizovanih pomoću optičkog mikroskopa

Savijeni papirni uzorci, pored skeniranja i fotografisanja, bili su snimljeni i digitalizovani i pomoću optičkog mikroskopa. Zbog tehničkih razloga, uzorci su bili pripremljeni samo sa dva različita ugla postavljanja, sa unutrašnjim uglom od 90° i 180° i tako formirano je svega 12 digitalnih uzoraka po ispitanjnoj grupi. Probimom snimanjem je utvrđeno da za razvijenu proceduru analize oštećenja površine uvećanja od 100x i 200x ne daju adekvatne rezultate, stoga korišćeno je samo najmanje uvećanje od 50x. Slike su bile čuvane u .tiff formatu, dimenzija 3096 x 4140 piksela, zatim su bile podvrgnute analizi oštećenja pomoću razvijenog algoritma i dobijene su vrednosti procenata belih piksela, odnosa obima i površine oštećenja kao i procentualni odnos distribucije oštećenja na posmatranoj površini digitalne epruvete. Rezultati su prikazani u nastavku u pomenutom redosledu.

6.1.3.1. Procenat belih piksela uzoraka snimljenih optičkim mikroskopom

Po analogiji prikaza rezultata skeniranih i fotografisanih uzoraka, i kod mikroskopskih snimaka će se prvo izvršiti pregled dobijenih rezultata procenata belih piksela sa osvrtom na uticaja gramature i smera vlakanca papira na posmatrano obeležje, nakon čega sledi kratka analiza uticaja unutrašnjeg ugla postavljanja uzoraka na detektovanu količinu oštećenja. Na slici 6.39a i b su dati grafički prikazi dobijenih rezultata po smerovima savijanja uzoraka papira.



Slika 6.39 – Grafički prikaz rezultata procenta belih piksela za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke digitalizovanih pomoću optičkog mikroskopa

Raspon srednjih vrednosti procenata belih piksela se kreće od 2.74199 do 5.46854 za paralelno savijene uzorke, odnosno od 2.92455 do 4.32677 za poprečno savijene uzorke. Detaljnijim pregledom dobijenih rezultata po smeru savijanja može se ustanoviti, da su paralelni uzorci dali veće vrednosti belih piksela kod ravno postavljenih epruveta (mada su dobijeni znatno viši rezultati naspram skeniranih i fotografisanih epruveta). Kod uzoraka postavljenih sa unutrašnjim uglom od 90°, veće vrednosti procenata belih piksela su registrovane za poprečno savijene uzorke, sa manjim odstupanjem kod epruvete gramature 170 g/m² (procenat belih piksela za pomenuti uzorak je za nekih 0.23% je niži u odnosu na paralelno savijen). Takvi rezultati mogu ukazati na postojanje većih površinskih

oštećenja po liniji prevoja kod poprečno savijenih uzoraka. Iako su ti rezultati u skladu sa literaturnim nalazima, ipak male razlike u srednjim vrednostima dobijenim po smerovima predlažu da se rezultati tumače sa određenom dozom rezerve.

Posmatrajući rezultate po gramaturi uzoraka, jasan trend povećanja količine detektovanih oštećenja sa povećanjem gramature se može uočiti kod poprečno savijenih i pod uglom postavljenih uzoraka. Slična situacija se uočava kod paralelno savijenih papira, sa manjim odstupanjem za uzorke 150 g/m². Ravno postavljeni uzorci su pokazali različitu tendenciju promene po povećanju gramature: paralelno savijeni uzorci imaju rastući pa opadajući trend i značajno veće vrednosti za gramaturu od 130 g/m², dok su poprečno savijeni uzorci dali vrlo bliske procenat belih piksela i odstupanje za papir gramature 115 g/m².

Na osnovu grafički prikazanih vrednosti standardne devijacije (Slika 6.40), kao i vrednosti koeficijenata varijacije datih u tabeli II.19 (Prilog II), može se ustanoviti da su ispitane grupe u većini slučajeva homogene, tj. da rezultati ne rasipaju više od jedne trećine srednje vrednosti (najveća vrednost KV-e je 29.18%). Raspon koeficijenata varijacije je 7.87% ÷ 29.18% za paralelne uzorke i 5.79% ÷ 25.73% za poprečne uzorke. Bitno je napomenuti, da najniže vrednosti KV-e po smerovima savijanja predstavljaju ekstremnu nisku vrednost za datu grupu uzoraka (što se može videti i na slici 6.39) s obzirom na to da za ostale uzorke vrednosti KV-e se kreću oko 15% i više.

6.1.3.1.1. Uticaj unutrašnjeg ugla postavljanja uzoraka na procenat belih piksela kod mikroskopskih uzoraka

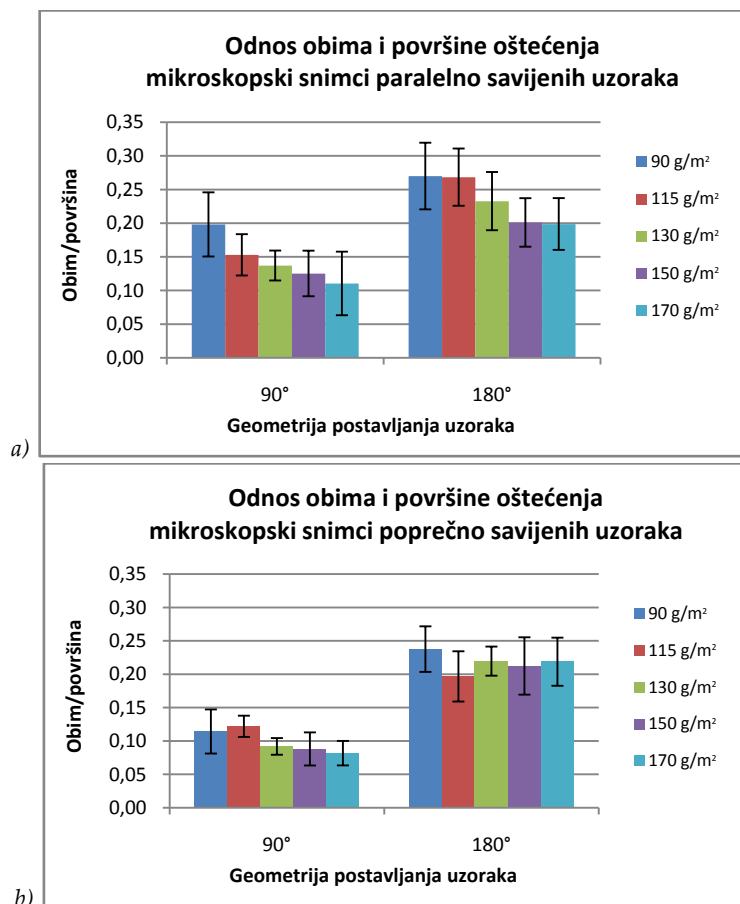
Analiza rezultata sa posebnim osvrtom na uticaj unutrašnjeg ugla postavljanja uzoraka na procenat belih piksela sledi u nastavku. S obzirom na to da su svega dva ugla korišćena u ovoj metodi digitalizacije, koja se vidno razlikuju po srednjim vrednostima procenata belih piksela (Slika 6.39a i b), nije bilo potrebe za dodatnim linijskim dijagramima radi vizualizacije preklapanja bliskih rezultata kao ni za iscrpnu statističku analizu. U nastavku je data samo kratka pregledna analiza dobijenih rezultata prema uglovima postavljanja.

Posmatrajući dobijene rezultate može se zaključiti da sa povećanjem unutrašnjeg ugla postavljanja uzoraka sa 90° na 180° se smanjuje procenat belih piksela, ali samo kod poprečnih uzoraka. Paralelni uzorci su dali suprotan trend: za sve gramature, osim 170 g/m², su registrovane veće površine oštećenja u vidu belih piksela sa povećanjem ugla postavljanja. Kako su tehničke mogućnosti mikroskopske analize, diktirale primenu manjeg broja uglova kao i ispitanih uzoraka (digitalizovanih slika) rezultati se moraju analizirati samo u kontekstu tih ograničenja. Takav pristup dolazi još više do izražaja u slučaju procenata belih piksela, koji, kao obeležje odgovara kvantitativnom opisu oštećene površine materijala sa izrazitom stohastičnom strukturom u smislu pojave oštećenja po liniji prevoja kao i anizotropne prirode pri mehaničkom opterećenju i pri pojavi raznih deformacija.

Uticaj ugla postavljanja na procenat belih piksela pri mikroskopskoj analizi je utvrdjen samo za poprečno savijene uzorke. Paralelni uzorci zahtevaju dodatna ispitivanja sa većim brojem uzoraka.

6.1.3.2. Odnos obima i površine oštećenja kod mikroskopskih snimaka

Na slikama 6.40a i b su grafički prikazane srednje vrednosti i odgovarajuće standardne devijacije odnosa obima i površine detektovanih oštećenja na mikroskopskim uzorcima. Pregled dobijenih rezultata sa akcentom na gramaturu ispitanih papira kao i smer vlaknaca istih pri savijanju sledi u nastavku, nakon čega sledi analiza uticaja unutrašnjeg ugla postavljanja uzoraka na vrednosti datog obeležja digitalizovane slike.



Slika 6.40 – Grafički prikaz rezultata odnosa obima i površine oštećenja za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke digitalizovanih pomoću optičkog mikroskopa

Vrednosti odnosa obima i površine se kreću od 0.11027 do 0.26982 kod paralelnih, i od 0.08184 do 0.23765 kod poprečnih uzoraka. Analizom dobijenih rezultata po smeru savijanja, vrednosti se bitno razlikuju za ugao od 90° i to u korist paralelnih uzoraka. Svi uzorci imaju veće vrednosti odnosa obima i površine pri paralelnom savijanju. Ravno postavljeni uzorci su već dali drugačije rezultate. Kod njih su samo za niže gramature (90 g/m² i 115 g/m²) zabeležene veće vrednosti odnosa obima i površine pri paralelnom savijanju. Kod većih gramatura takve razlike su manje izražene, a za gramature 150 g/m² i 170 g/m² čak su i niže vrednosti registrovane za paralelne uzorke. Rezultati paralelnih uzoraka nesporno ukazuju na opadajući trend odnosa obima i površine oštećenja pri porastu gramature ispitanih papira. Za poprečno savijene uzorke pomenuta tendencija nije toliko izražena zbog prisutnih odstupanja, pogotovo za potpuno otvorene uzorke.

Analizom vrednosti standardnih devijacija se može ustanoviti da se izmereni rezultati u većini slučajeva ne rasipaju mnogo oko srednje vrednosti, što potvrđuju i vrednosti koeficijenta varijacije, koje su rasponu od 9.92% do 42.82%, uz napomenu da najveća vrednost KV-e od 42.82% predstavlja ujedno i ekstremnu vrednost s obzirom na to da su sledeći najveći koeficijenti varijacije iznose 28.89% i 28.10%. Takvi rezultati koeficijenta varijacije ukazuju na homogenu strukturu ispitanih grupa po promenljivosti rezultata ($KV < 30\%$).

6.1.3.2.1. Uticaj unutrašnjeg ugla postavljanja uzoraka na odnos obima i površine detektovanih oštećenja kod mikroskopskih uzoraka

Detaljna analiza uticaja unutrašnjeg ugla postavljanja na rezultate ni kod ovog obeležja mikroskopskih slika nije zahtevala dodatne dijagrame za lakšu analizu međusobnog odnosa rezultata dobijenih za uglove 90° i 180° . Sa slika 6.41a i b se jasno vidi diferenciranje vrednosti odnosa obima i površine računatih za uzorke savijenih u oba smera vlakanca, otuda je moguće zaključiti da dobijeni rezultati jednoznačno potvrđuju uticaj ugla postavljanja na odnos obima i površine oštećenja. Izuzetno niske vrednosti odnosa obima i površine ($0.08184 \div 0.11430$) kod poprečnih uzoraka digitalizovanih pod uglom od 90° odgovaraju jednom velikom oštećenju premaza po liniji savijanja bez puno sitnih pukotina ili odvojenih komadića premaza. Sa otvaranjem savijenih uzoraka, tj. njihovim postavljanjem pod uglom od 180° , površina oštećenja se smanjuje (zbog samog geometrijskog položaja) a otuda za odnos obima i površine se dobijaju veće vrednosti.

Na odnos obima i površine, kao obeležja usitnjenosti oštećenja po posmatranoj površini kod mikroskopskih uzoraka veliki uticaj ima ugao postavljanja ispitanih epruveta.

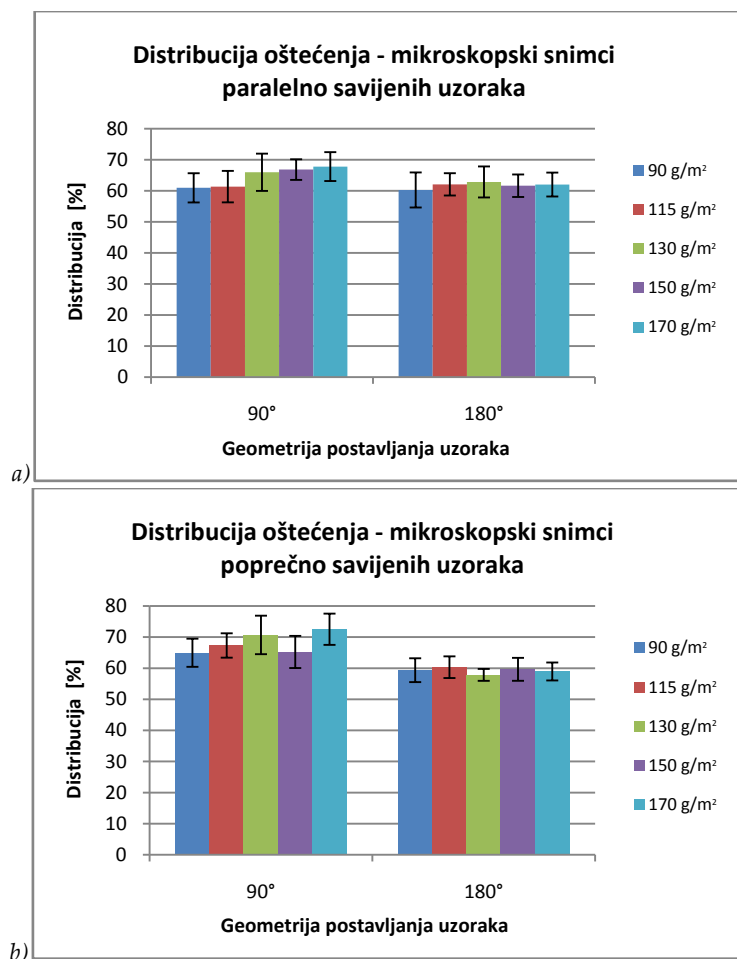
6.1.3.3. Distribucija oštećenja po posmatranoj površini kod mikroskopskih uzoraka

U nastavku su dati rezultati distribucije oštećenja mikroskopskih uzoraka (srednje vrednosti i standardne devijacije) u grafičkom obliku i to po smerovima savijanja uzoraka: slika 6.41a predstavlja rezultate paralelnih uzoraka, a slika 6.41b poprečnih. Analiza prikazanih rezultata sa obzirom na uticaj smera savijanja i gramature uzoraka je data u prvom delu, zatim sledi provera uticaja geometrije postavljanja epruveta pri digitalizaciji (uticaj unutrašnjih uglova epruveta).

Upoređivanjem dobijenih rezultata po smeru savijanja ispitanih papira, može se ustanoviti da su poprečni uzorci u većini slučajeva dali veće procenete distribucije oštećenja u odnosu na paralelno savijene uzorke kod ugla postavljanja od 90° . Uzorak gramature 150 g/m^2 se jedino izdvaja iz niza, jer ima manju vrednost pri paralelnom savijanju (mada je razlika neznatna). Za potpuno otvorene epruvete je dobijena upravo suprotna struktura rezultata: paralelni uzorci imaju veće vrednosti, mada su razlike male (kreću se od 0.94 do 5.03). Slični odnosi su dobijeni i za prethodne metode digitalizacije.

Posmatrajući rezultate po gramaturi korišćenih papira, manje vrednosti su zabeležene kod nižih gramatura, kako kod paralelnih tako i kod poprečnih uzoraka. Sa povećavanjem gramature uzoraka, povećava se i vrednost distribucije, tj. kontinuitet linije oštećenja,

međutim, tendencija povećanja je različita po smerovima savijanja. Kod paralelnih uzoraka, izražena je razlika između najnižih i najviših vrednosti gramature, sa značajnim odstupanjem od linearnog trenda zbog papira gramature 150 g/m², koji odskaje po vrednostima distribucije. Kod poprečno savijenih uzoraka razlika u srednjim vrednostima po gramaturama je znatno manja, a nemaju ni delimično ujednačen trend rasta.



Slika 6.41 – Grafički prikaz rezultata distribucije oštećenja za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke digitalizovanih pomoću optičkog mikroskopa

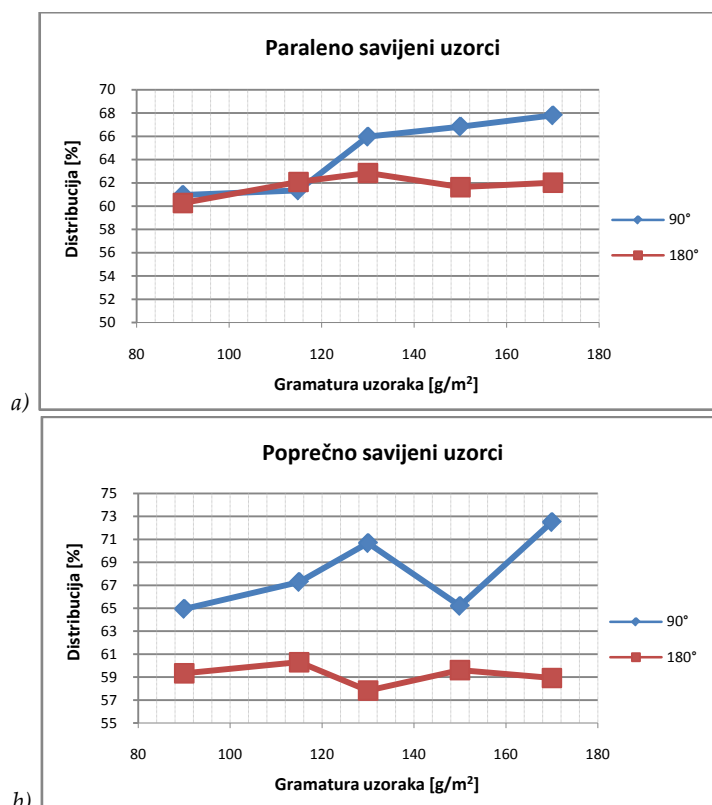
Sumirajući analizu rezultata može se videti, da dobijeni rezultati imaju mali raspon, bez obzira na smer, gramaturu pa čak i ugao postavljanja, i to sa malim rasipanjem (vrednosti koeficijenta varijacije su u rasponu od 3.31 % do 9.36%, Tabela II.21, Prilog II). Takvi rezultati su bili i očekivani, budući da distribucija predstavlja brojčanu reprezentaciju raspoređivanja oštećenja po liniji prevoja a mikroskopski snimci prikazuju znatno manju površinu (pre svega dužinu) od ostalih digitalizacija, pa koncept definisanja distribucije po dužini linije savijanja ne dolazi toliko do izražaja.

Takve bliske srednje vrednosti diktiraju potrebu za analizom statističke značajnosti razlike između grupa sa osvrtom na uticaj nezavisnih promenljiva (gramature, smeru i ugla postavljanja) na rezultate zavisne promenljive (distribucija oštećenja). Kako su međutim u ovom istraživanju gramatura i smer definisani kao kontrolni uticajni parametri (usvojeni

prema literaturnim izvorima), i kod ostalih metoda digitalizacije dokazano imaju velik uticaj na rezultate, njihova statistička analiza nije uključena u ovo istraživanje. Takav pristup je opravdan i zbog toga što je veličina ispitanih površina znatno manja od predefinisane, i skoro se 7x kraća linija savijanja analizirala na ovim snimcima.

6.1.3.3.1. Uticaj unutrašnjeg ugla postavljanja uzoraka na distribuciju oštećenja

Sa grafikona, prikazanih u prethodnom poglavlju se može primetiti da su srednje vrednosti distribucije oštećenja po uglovima postavljanja poprilično bliske za neke od ispitanih papira. Radi preglednijeg prikaza dobijenih rezultata, u nastavku su dati linijski dijagrami po smerovima savijanja uzoraka (Slika 6.42a i b), na kojima se jasno vidi da kod paralelnih uzoraka gramature 90 g/m² i 115 g/m² vrednosti se preklapaju. Za ostale gramature pri paralelnom savijanju, odnosno sve gramature pri poprečnom savijanju, rezultati pokazuju određenu razliku u srednjim vrednostima. S obzirom na malu disperziju pojedinačnih merenja, na specifičan slučaj metode digitalizacije i prethodnih saznanja za druge dve metode digitalizacije, usvojiće se da su te razlike značajne. Za gramature 90 g/m² i 115 g/m² pri paralelnom savijanju je izvršena statistička analiza srednjih vrednosti pomoću T-testa nezavisnih uzoraka, koji je predviđen za upoređivanje samo dve grupe po jednoj nezavisnoj promenljivoj, što je u ovom slučaju procentualna vrednost distribucije. Ispitane grupe imaju homogenu strukturu i normalnu raspodelu, tako da su ispunjeni neophodni preduslovi date statističke analize i s obzirom na to da se vrši provera uticaja uglova, broj uzoraka po ispitanoj grupi je 24.



Slika 6.42 – Grafički prikaz uticaja uglova postavljanja na rezultate distribucije oštećenja za paralelno (a) i poprečno (b) savijene uzorke digitalizovanih pomoću optičkog mikroskopa

Rezultat T-testa potvrđuje grafički prikazanu situaciju, da se srednje vrednosti procenata distribucije za gramature 90 g/m² i 115 g/m² ne razlikuju statistički značajno, tj. da su razlike slučajne (Tabela III.75, Prilog III).

U opštem slučaju može se zaključiti da ugao postavljanja uzoraka i kod mikroskopskih snimaka utiče na izmerene vrednosti distribucije, mada postoje gramature kod kojih nije utvrđena statistička značajna u srednjim vrednostima.

6.2. Rezultati otpornosti premaznih papira na površinska oštećenja pri savijanju

Među korištenim metodama ispitivanja otpornosti premaznih papira na površinska oštećenja pri savijanju u ovom istraživanju spada određivanje zaostale zatezne čvrstoće i dve modifikovane metode otpornosti prema prskanju po Mulenu. Rezultati navedenih ispitivanja su prikazani i analizirani u nastavku u pomenutom redosledu. Radi pregledne, precizne i sveobuhvatne analize dobijenih rezultata neophodno je prvo osvrnuti se na izmerene vrednosti osnovnih karakteristika ispitanih papira da bi se utvrdilo postojanje neophodnih korelacija između osnovnih i referentnih rezultata. Iz tog razloga, pre izlaganja rezultata otpornosti premaznih papira na površinska oštećenja su prikazane osnovne karakteristike.

6.2.1. Pregled rezultata osnovnih karakteristika premaznih papira

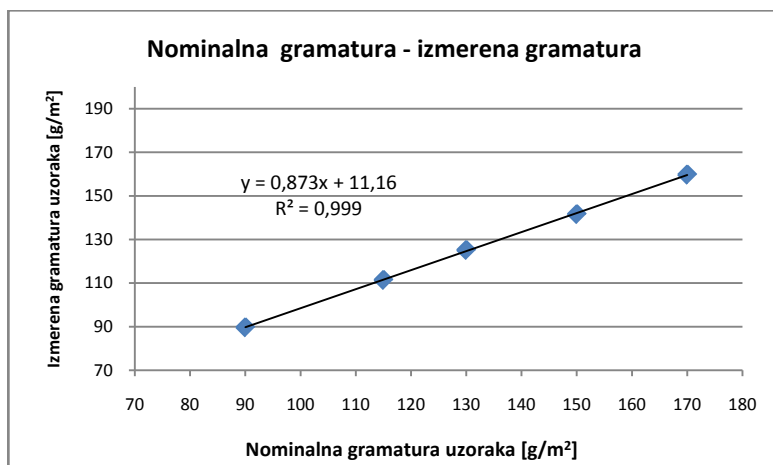
Pomoću osnovnih karakteristika materijalnih uzoraka definišu se polazni uslovi, bitni za izvođenje eksperimenta i analize dobijenih rezultata, prema tome u nastavku su dati grafički prikazi rezultata merenja gramature, debljine, sadržaja pepela, hrapavosti kao i zatezne čvrstoće sa izduženjem pri kidanju i indeksom zatezanja (Tabela 5.2, poglavlje 5.2.1.1.).

6.2.1.1. Gramatura

Na slici 6.43 je dat grafički prikaz rezultata merenja gramature ispitanih papira. Izmerene vrednosti gramature su u većini slučajeva unutar standardom definisanih granica tolerancije ($\pm 3\%$). Izuzeci su papiri gramature od 150 i 170 g/m², kod kojih izmere vrednosti iznose 141.65 i 159.76 pa tako su 5,56% i 6.02% niže od nominalnih vrednosti.

Iako postoje određena odstupanja, izmerene vrednosti gramature ispitanih papira imaju linearan trend korelacije sa nominalnim vrednostima sa izuzetno visokim faktorom determinacije ($R^2 = 0.999$). Jednačina linearnog trenda sa vrednostima koeficijenta pravca od 0.873 i odsečka ordinate sa 11.16, ukazuje na to da bi izmerene vrednosti mogle koristiti u daljoj analizi (pri idealnoj linearnoj korelaciji, u jednačini prave koeficijent pravca k bi imao vrednost 1, a odsečak ordinate n bi imao vrednost 0). Veoma niske vrednosti

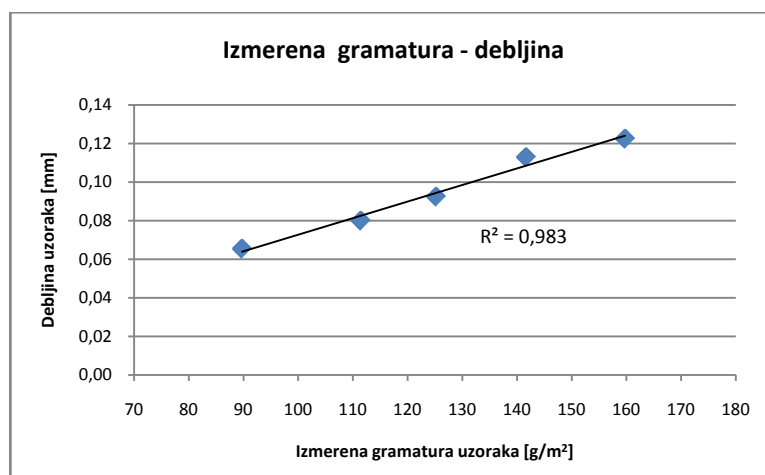
standardne devijacije pokazuju visoku konzistenciju izmerenih rezultata (vrednosti standardne devijacije su toliko niske, da se ni vide pri grafičkom prikazu). Odgovarajući koeficijenti varijacije su redom: 1.59%, 0.87%, 1.40%, 1.01% i 1.07%.



Slika 6.43 – Grafički prikaz rezultata gramature ispitanih papira

6.2.1.2. Debljina

Pored gramature, debljina predstavlja bitnu karakteristiku ispitanih papira. Rezultati izmerenih debljina po gramaturi materijalnih uzoraka su dati na slici 6.44.

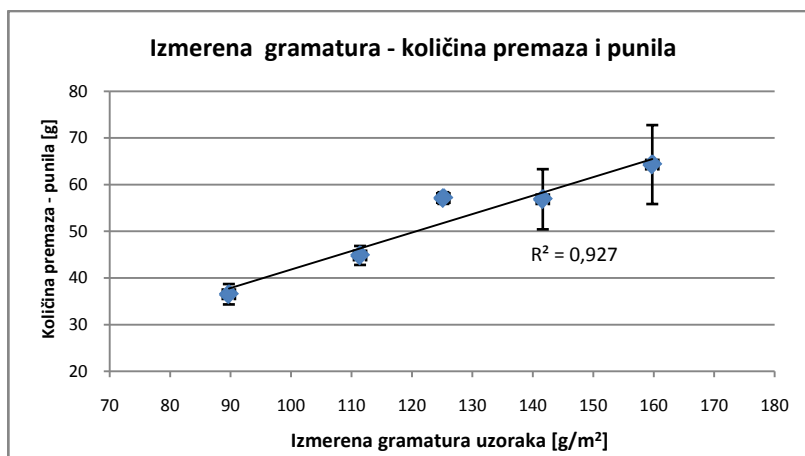


Slika 6.44 – Grafički prikaz rezultata debljine ispitanih papira

Sa prikazanog grafikona se može videti da debljina uzoraka ima linearan trend korelacije sa izmerenom gramaturom, sa manjim odstupanjem za uzorak gramature 150 g/m². Za pomenutu gramaturu, dobijena je veća srednja vrednost debljine. Sa većom debljinom papira moguće su veće destrukcije površine pri savijanju, prema tome pri analizi rezultata otpornosti papira na površinska oštećenja (bilo da je reč o referentnim ili predloženim metodama) to treba uzeti u obzir. Premda postoje odstupanja, visoka vrednost faktora determinacije od $R^2 = 0.983$ ipak ukazuje na ujednačeno povećanje debljine uz povećanje gramature.

6.2.1.3. Sadržaj pepela

Sadržaj pepela papira odabranih za potrebe istraživanja predstavlja ukupnu količinu mineralnih materija u sastavu ispitanih papira. Najčešće se prikazuje kao procentualna vrednost mase testiranog papira pre žarenja (~2 g), ipak u ovom delu, radi međusobnog upoređivanja korišćenih papira, dobijeni rezultati su izraženi u gramima (Slika 6.45).



Slika 6.45 – Grafički prikaz rezultata sadržaja pepela ispitanih papira

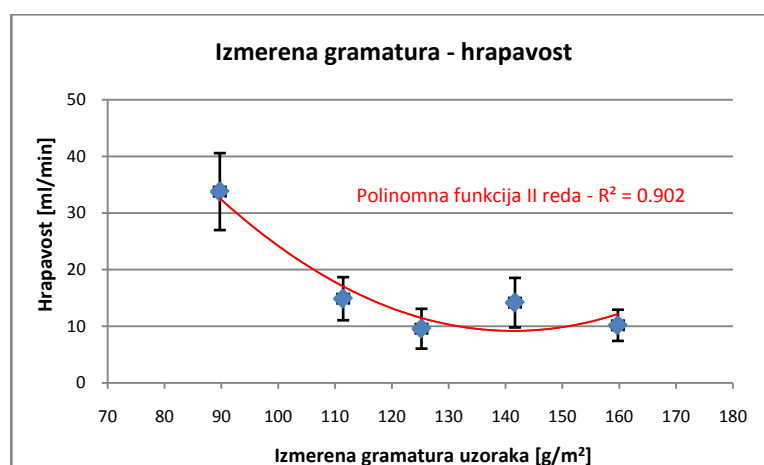
Iako, količina pepela ne mora nužno da prati porast gramature premaznih papira, jer ukupna količina pepela potiče i od baznog papira (zbog sadržaja punila) i od samog premaza i oni ne rastu proporcijalno jednako sa gramaturom, ipak za dati set materijalnih uzoraka se može utvrditi da imaju izražen trend pozitivne korelacije sa gramaturom i faktor determinacije od $R^2 = 0,927$ koji bi mogao biti veći da nema značajnog odstupanja uzorka gramature 130 g/m². Za dati papir sadržaj pepela iznosi 45,63%, što je za 5% veći u odnosu na ostale uzorke (procentualne vrednosti su prikazani u tabeli 5.2, poglavlje 5.2.1.1.). Takvi rezultati mogu biti uzrokovani većom količinom premaza uz smanjen sadržaj punila u sastavu baznog papira, jer jedino tako može da se desi da ukupna težina premaznog papira (gramatura) i debljina ne odstupaju od ostalih papira iz te grupe. Zbog većeg sadržaja pepela i veće količine premaza, za uzorke gramature 130 g/m² se očekuju niže vrednosti zatezne čvrstoće kao i hrapavosti. Koeficijenti varijacije su u rasponu od 2.18% do 13.15%, pri čemu za niže gramature su dobijene vrlo niske vrednosti, a za veće gramature su dobijene oko iznad 10% (Slika 6.45).

6.2.1.4. Hrapavost

Merenje hrapavosti je vršeno sa obe strane papirnih uzoraka (lice i naličje) kako to i nalaže primenjeni standard (SRPS ISO 8791-2:1993), zatim je računata prosečna vrednost za obe strane. Dobijeni rezultati su upoređeni sa izmerenim vrednostima gramature i prikazani na slici 6.46.

Hrapavost premaznih papira u velikoj meri zavisi od sastava i od količine premaza, od broja slojeva premaza kao i od načina nanošenja tih slojeva. Uzorci papira su odabrani iz iste grupe premaznih papira, tako da su sastav, količina (procentualna) i način nanošenja identični za

sve uzorke, jedino se broj slojeva razlikuje, jer zbog tehnoloških razloga 90 g/m² papir ima samo dva sloja premaza, otuda i veću hrapavost površine. Izmereni rezultati, kao i vrednosti standardne devijacije za sve uzorke su u skladu sa referentnim vrednostima datih od strane proizvođača. Veća hrapavost kod uzoraka 90 g/m² može prouzrokovati veću neujednačenosti nanosa boje pri štampi punog tona, što može uticati na količinu detektovanih površina oštećenja pri velikim uvećanjima analize. Izmerene vrednosti hrapavosti za odabrani set premaznih papira prate polinomnu funkciju II reda.

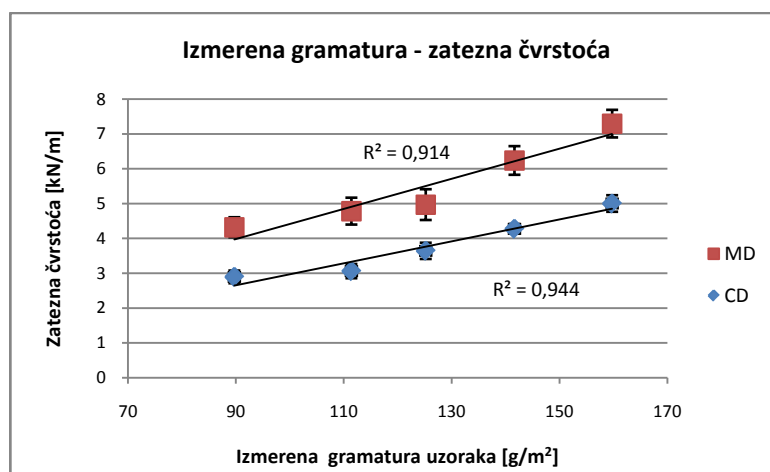


Slika 6.46 – Grafički prikaz rezultata hrapavosti površine ispitanih papira

6.2.1.5. Zatezna čvrstoća

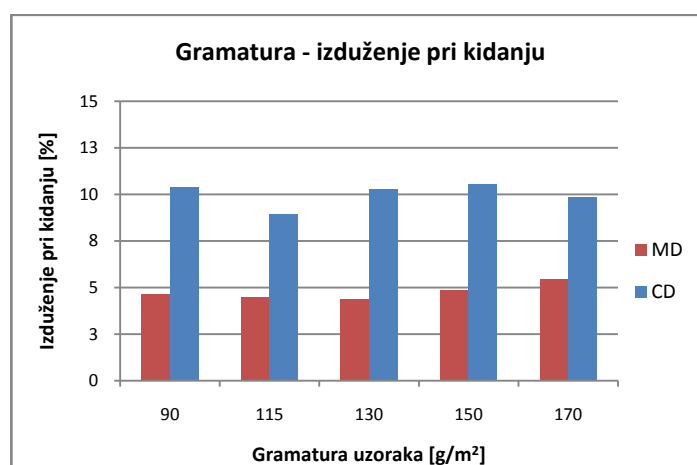
Srednje vrednosti zatezne čvrstoće uz prikazanih standardnih devijacija su prikazane grafički na slici 6.47, dok su izduženja pri kidanju predstavljene na slici 6.48. Za upoređivanje različitih gramatura, date su i vrednosti indeksa zatezanja na slici 6.49. Otpornost papira na kidanje i zatezna čvrstoća, zajedno sa izduženjem pri kidanju su veoma važni pokazatelji kvaliteta papira i njegovih mehaničkih svojstava, tako da su informacije o njima od velikog značaja pri analizi rezultata otpornosti papira prema površinskom oštećenju.

Dobijeni rezultati zatezne čvrstoće su u većini slučajeva u skladu sa referentnim vrednostima definisanih od strane proizvođača i u granicama tolerancije. Izmere vrednosti sa izuzetno malim rasipanjem (vrednosti KV-e su ispod 9%) ukazuju na ujednačenu strukturu ispitanih papira, a visoke vrednosti faktora determinacije, pogotovo u poprečnom pravcu (CD) na veliku konzistenciju proizvodnih karakteristika. Značajnija odstupanja od referentnih vrednosti u mašinskom pravcu (MD) su vidljiva i na grafikonu, zbog kojih je faktor determinacije u tom pravcu samo $R^2 = 0.914$. Naime, za papir gramature 90 g/m² je dobijena 20% veća zatezna čvrstoća u odnosu na referentnu vrednost (3.5 kN/m), odnosno kod uzorka gramature 130 g/m² je registrovana 6.6% niža vrednost u odnosu na tehničku specifikaciju (5.1 kN/m). U poprečnom pravcu papir gramature 90 g/m² ima nešto veću izmerenu vrednost (2.82 kN/m) od referentne (2.7 kN/m).



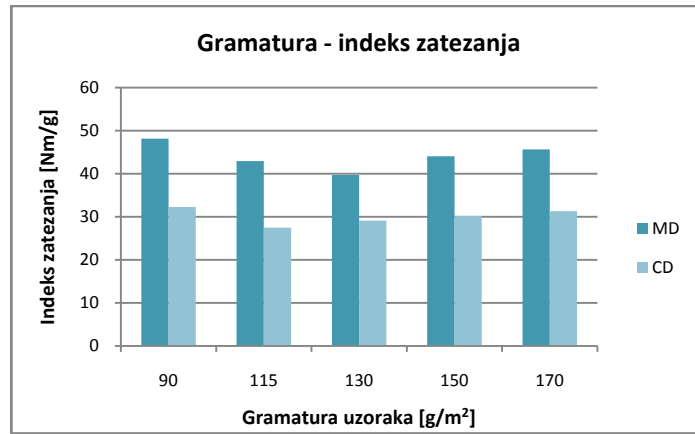
Slika 6.47 – Grafički prikaz rezultata zatezne čvrstoće ispitanih papira

Analizom rezultata izduženja pri kidanju (Slika 6.49) se može primetiti da ispitani papiri imaju slične vrednosti izduženja pri zatezanju: oko 5% u mašinskom i oko 10% u poprečnom pravcu (izuzev gramaturu 115 g/m²). Takvi rezultati potvrđuju referentne karakteristike ispitanih papira, tj. da spadaju u istu familiju/grupu premaznih papira, čiji sirovinski sastav, procentualni udeo mineralnih dodataka i premaza su približno jednaki.



Slika 6.48 – Grafički prikaz rezultata izduženja pri kidanju

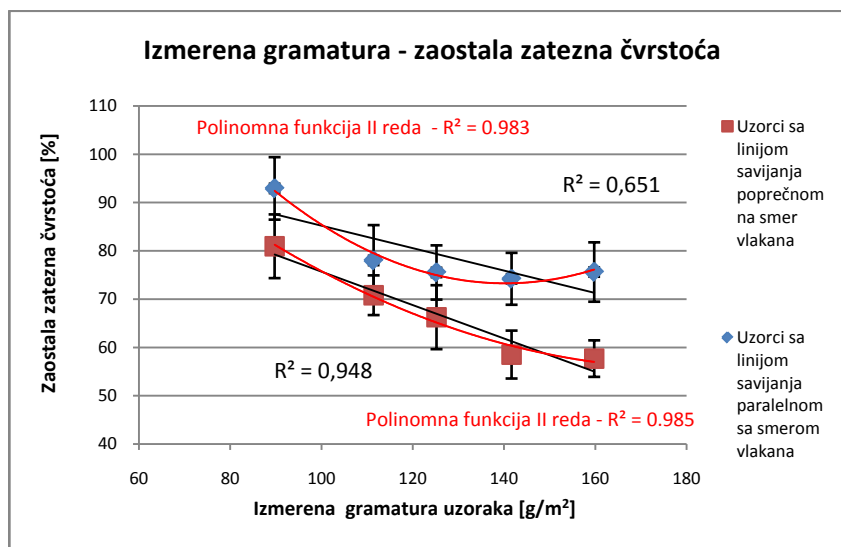
Indeks zatezanja se primenjuje za međusobno upoređivanje zateznih čvrstoća papira sa različitim gramaturama, prema tome je od velike koristi za slučaj naših uzoraka. Kao što se sa slike 6.49 može videti, visoke vrednosti zatezne čvrstoće papira gramature 90 g/m² se odražavaju i na rezultate indeksa zatezanja pa su najveće vrednosti dobijene baš za te uzorke. Značajno odstupanje zatezne čvrstoće kod uzoraka 130 g/m² u mašinskom pravcu se može videti i kod indeksa zatezanja. Posmatrajući rezultate po smeru vlakanca se može utvrditi da je veći raspon zabeležen u mašinskom pravcu i iznosi 8.45 Nm/g, dok u poprečnom pravcu razlika između najniže i najviše vrednosti je svega 4.79 Nm/g.



Slika 6.49 – Grafički prikaz rezultata indeksa zatezanja ispitanih papira

6.2.2. Rezultati zaostale zatezne čvrstoće

Prva referentna metoda ispitivanja otpornosti premaznih papira prema površinskom oštećenju u toku savijanja predstavlja određivanje zaostale zatezne čvrstoće uzoraka. Srednje vrednosti merenja po smerovima vlakanca ispitanih papira su date na grafikonu na slici 6.50.



Slika 6.50 – Zaostala zatezna čvrstoća ispitanih papira

Vrednosti zaostale zatezne čvrstoće su u rasponu od 74.21% do 93.62% za paralelno savijene uzorke, i od 57.69% do 80.95% za poprečno savijene uzorke. Izmerene vrednosti su u skladu sa literaturnim rezultatima, odnosno i njihov međusobni odnos se poklapa sa zaključcima istraživanja objavljenih u (Barbier i drugi, 2003; UPM, 2008; Yang i Xie, 2011). Sa prikazanog dijagrama se vidi da poprečno savijeni uzorci imaju ujednačenu tendenciju opadanja zaostale zatezne čvrstoće sa porastom gramature i to sa faktorom determinacije $R^2 = 0.948$ za linearnu funkciju. Prilikom savijanja, ti uzorci trpe veća oštećenja, jer zbog

orijentacije vlakana baznog papira (stoje normalno na liniju savijanja), gornji, tj. spoljašnji slojevi su manje elastični i tako ne mogu rasteretiti zonu velikih napona zatezanja. Takva oštećenja u vidu pucanja premaznog sloja i prekida vlakana samog baznog papira značajno utiču na smanjenje sile kidanja. Kao posledica toga zaostala zatezna čvrstoća je signifikantno manja. Kod paralelno savijenih uzoraka struktura papira usled orijentacije vlakana u papiru (stoje paralelno sa linijom savijanja) dozvoljava veća izduženja na spoljnim slojevima baznog papira i to bez neke ozbiljnije destrukcije vlakana, samo se premaz oštećuje u većoj ili manjoj meri u zavisnosti od ukupne debljine papira. To znači, da uzorci nižih gramatura, pa i manjih ukupnih debljina imaju manja oštećenja, bez obzira na smer savijanja.

Pored toga što dolazi do manjih površinskih destrukcija, za uzorke gramature 90 g/m² se može uočiti još jedna karakteristika. Naime, za te uzorke su zabeležene najveće vrednosti indeksa zatezanja u mašinskom pravcu, tj. oni imaju najveću silu kidanja naspram gramature a pored toga imaju u najtanji nanos premaza, koji zbog svoje smanjene debljine ima manji uticaj na promenu sile kidanja. Prema tome, iako dolazi do površinskih oštećenja na tim uzorcima, ona neće imati drastičan uticaj na zaostalu zateznu čvrstoću.

Pored navedenih, moraju se spomenuti specifičnosti rezultata za gramature 150 g/m² i 170 g/m² i to u oba pravca savijanja papira. Za uzorke 170 g/m² su dobijene veće vrednosti zaostale zatezne čvrstoće od očekivanih prema gradaciji gramature. Sa dijagrama se može uočiti, da kod poprečnih uzoraka dobijena srednja vrednost uzoraka 170 g/m² je blizu uzorcima niže gramature (150 g/m²), dok za paralelne uzorke su registrovane čak veće vrednosti zaostale zatezne čvrstoće. Ne može se jednoznačno utvrditi, da li se radi o odstupanju papira 170 g/m² ili je reč o papiru 150 g/m². Naime, po analizi debljine papira uzorak 150 g/m² značajno odstupa od ostalih u nizu (ima znatno veće vrednosti debljine – Slika 6.44) sa čime se može obrazložiti veća količina oštećenja i po tome i niža vrednost zaostale zatezne čvrstoće.

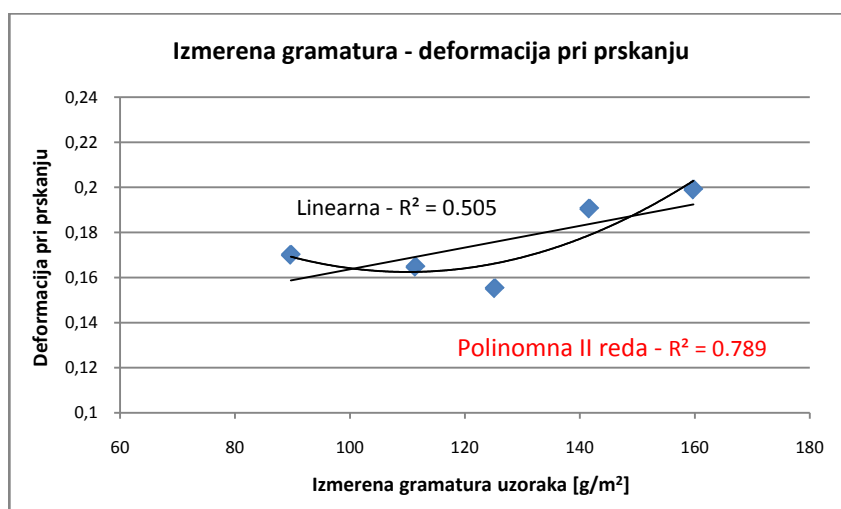
Vrednosti standardne devijacije prikazani na grafikonu tumače konsistentnu grupu ispitanih uzoraka. Koeficijenti varijacije su u rasponu od 7.23% do 9.36% za paralelno savijene uzorke, odnosno od 5.79% do 9.92% za poprečno savijene. S obzirom na izraženu anizotropnu prirodu papira rasipanje izmerenih rezultata je više nego prihvatljivo.

Na osnovu gore izvedenih analiza, može se zaključiti da dobijene vrednosti zaostale zatezne čvrstoće se mogu koristiti u funkciji referentnih rezultata za kvantitativnu analizu oštećenja, i to pre svega kod uzoraka savijenih poprečno na smer vlakana. Prilikom analize posebnu pažnju treba posvetiti uzorcima gramature 150 g/m² i 170 g/m². Za date uzorke se očekuju slične vrednosti obeležja i ukupne količine analize oštećenja.

Iako se dobijeni rezultati mogu aproksimirati i sa polinomnim funkcijama II reda sa veoma visokim vrednostima faktora determinacije ($R^2 = 0.983$ i $R^2 = 0.985$), zbog korelacionih analiza linearne funkcije su odabrane kao merodavne.

6.2.3. Rezultati ispitivanja otpornosti prema prskanju – određivanje veličine deformacije

Druga odabrana referentna metoda predstavlja modifikovanu primenu ispitivanja papira na prskanje po Mulenu. Po literaturnim izvorima, data metoda omogućava predviđanje ponašanja papira pri savijanju, tj. sklonost ka površinskom oštećenju u toku te operacije (Popil, 2010). Kako su sprovedena istraživanja uključila samo lajner papir, primenljivost ove metode za premazne papire se mora prvo potvrditi. Određivanje veličine deformacije uključuje merenje sile pritiska kod otpornosti prema prskanju i zatezne čvrstoće u oba smera vlakanca papira, pri čemu se dobija bezdimenziona vrednost deformacije (ϵ) na spoljašnjoj strani epruvete. Rezultati određivanja veličine deformacije su dati na slici 6.51.



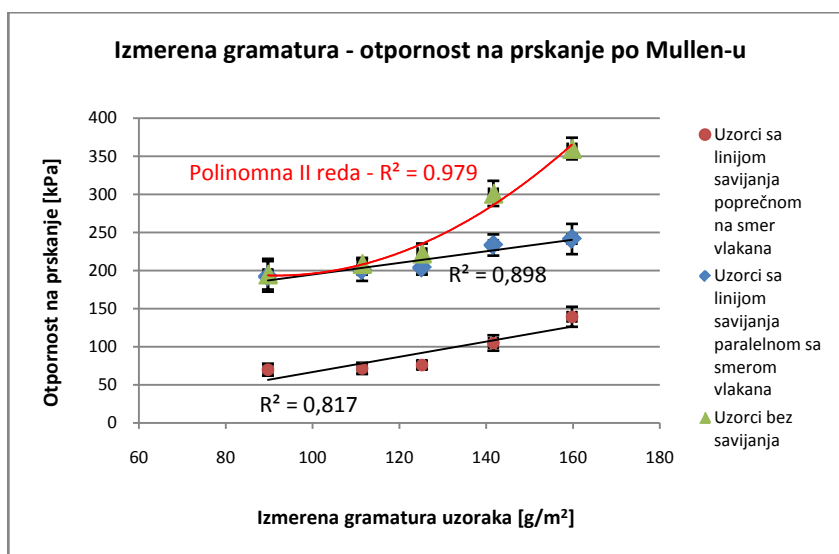
Slika 6.51 – Grafički prikaz rezultata veličine deformacije pri prskanju po Mulenu

Vrednosti izračunatih deformacija pri ispitivanju otpornosti na prskanje se kreću od 0.155 do 0.199. Pošto je računanje vršeno pomoću srednjih vrednosti različitih parametara (pritiskak pri prskanju i zatezna čvrstoća), prikazivanje rasipanja rezultata u obliku standardne devijacije ili koeficijenta varijacije nije moguće.

Sa prikazanog dijagrama se mogu uočiti dve bitne stvari koje remete ravnomeran rast veličine deformacije sa porastom gramature ispitanih papira. Prva, mnogo više uočljivija, jeste niža vrednost deformacije za uzorak gramature 130 g/m², kod kojeg dolazi do izražaja povećan mineralni sastav (što za sobom povlači smanjenu količinu vlaknaste sirovine i njihovu oslabljenu međusobnu vezu) u odnosu na ostale gramature, koji u velikoj meri može uticati na izmerene vrednosti sile pritiska Mullen testa, pa i na izračunatu veličinu deformacije. Drugo odstupanje je manje primetno na slici, međutim ima isto velik uticaj na dobijene rezultate. A to je veća vrednost izračunate deformacije kod 90 g/m² papira. Dati rezultat se može pripisati većoj zateznoj čvrstoći u mašinskom smeru, koja tako direktno utiče na povećanje otpornosti prema prskanju (Ek i drugi, 2009). Zbog tih značajnih odstupanja vrednosti deformacija, dobijeni rezultati ne prate linearnu funkciju u odgovarajućoj meri. Čak ni polinomna funkcija ne daje dovoljno visoku vrednost faktora determinacije, prema tome ovaj parametar se neće koristiti u korelacionoj analizi digitalnih obeležja ispitanih papira.

6.2.4. Rezultati otpornosti prema prskanju savijenih papira

Ispitivanje otpornosti papira prema prskanju po Muluenu u ovom delu se koristi u funkciji okarakterisanja savijenih premaznih papira, koji su usled te operacije pretrpeli određena površinska i eventualna strukturalna oštećenja pri kontrolisanim uslovima. Da bi se moglo utvrditi do koje mere utiču pomenuta oštećenja na otpornost prema prskanju, neophodno je uključiti u analizu i rezultate nesavijenih uzoraka. Pa tako, srednje vrednosti dobijenih rezultata izvedenih merenja uzoraka sa savijanjem ili bez njega su date na slici 6.52.



Slika 6.52 – Rezultati otpornosti na prskanje epruveta sa i bez savijanja

Ispitivanje otpornosti prema prskanju se prvenstveno koristi za ambalažne papire, ali pod određenim uslovima dobijeni rezultati se mogu upotpuniti istraživanja vezana i za premazne štamparske papire. Rezultati Mullen testa ukazuju na uticaj gramature na otpornost prema prskanju kod premaznih papira. Dobijene vrednosti rastu sa povećavanjem gramature sa 195.22 kPa na 360.03 kPa. Takvi rezultati su se mogli očekivati, s obzirom na to da kod većih gramatura i sam bazni papir ima veći udeo u ukupnoj težini, pa otuda je veća i količina vlaknastih sirovina i njihova unutrašnja međusobna veza. Rezultati za dati set ispitanih papira ipak ne prate linearnu funkciju, već polinomnu II reda (sa $R^2 = 0.979$) zbog odstupanja papira gramature 130 g/m² u količini pepela. To potvrđuje i niska vrednost indeksa otpornosti prema prskanju po Muluenu (Tabela 5.2). Standardne devijacije izmerenih rezultata su niske i ukazuju na nezatno rasipanje oko srednje vrednosti (Slika 6.53). Koeficijenti varijacije za tu grupu ispitanih papira se kreću od 3.66 % do 10.32 %. Rezultati savijenih epruveta se kreću od 192.27 kPa do 241.33 kPa za paralelno savijene uzorke, odnosno od 69.95 kPa do 139.30 kPa za poprečno savijene uzorke.

Po prikazanim rezultatima, paralelno savijanje jedva oštećuje premazne papire nižih gramatura (90 g/m² -115 g/m²), odnosno ta oštećenja se ne manifestuju kroz smanjenje otpornosti prema prskanju (za svega 1.51% i 3.99% su dobijene niže vrednosti od nesavijenih uzoraka). Kod većih gramatura, počevši od 130 g/m², uticaj savijanja papira kao jednog oblika kontrolisanog oštećenja, dolazi sve više do izražaja. Oštećenja, prouzrokovanih paralelnim savijanjem uzoraka za gramature 130 g/m², 150 g/m² i 170 g/m²,

su rezultovala smanjenje polazne otpornosti prema prskanju za 8.50%, 22.47% i 32.97%, respektivno. Ta oštećenja, očigledno, nisu samo estetskog karaktera, već u toku savijanja dolazi i do strukturnih promena. Po (Barbier i drugi, 2012) usled delovanja napona smicanja dolazi do raslojavanja baznog papira, tj. oslabljuju se unutrašnje veze, a to direktno utiče na opadanje otpornosti prema prskanju. Dobijeni rezultati potvrđuju tu literaturnu postavku. Po vrednostima standardne devijacije i za paralelno savijene uzorke je moguće konstatovati da su merenja konzistentna, dajući koeficijente varijacije u rasponu od 4.46% do 10.42%.

Za razliku od paralelnog, poprečno savijanje ima veći uticaj na promene otpornosti papira na prskanje. Na prikazanom grafikonu se lako uočavaju mnogo veće razlike između nesavijenih i poprečno savijenih uzoraka. Izmerene procentualne razlike su približno jednake, kreću se u rasponu od 61.31% do 65.81%. Takvo uniformno opadanje otpornosti prema prskanju usled poprečnog savijanja se može objasniti činjenicom da pri poprečnom savijanju se javljaju veća opterećenja usled poprečne orijentacije vlakanca baznog papira. Ta opterećenja nisu samo u vidu destrukcije premaznog sloja (po pretpostavci celom debljinom premaza) već se oštećuju i sama vlakanca, razarajući time strukturu baznog papira. Sa smanjenim međuvlaknastim vezama i kompaktnosti papira, smanjuje se i otpornost prema prskanju. Pored pomenutih, uticaj napona smicanja i pri ovom savijanju se može primetiti kod većih gramatura, mada naspram velikih destrukcija papira ne dolazi toliko do izražaja. Za dati set ispitanih papira su vrednosti standardne devijacije niske, s obzirom na izraženu nehomogenu strukturu papira, sa koeficijentima varijacije od 6.55% do 11.24%.

Po osnovnoj postavki zadatka referentnih merenja, dobijeni rezultati su upoređeni sa linearnom funkcijom pri čemu su dobijene visoke vrednosti faktora determinacije od $R^2 = 0.898$ za paralelno savijene uzorke i $R^2 = 0.818$ za poprečno savijene uzorke. Kod paralelnog savijanja, odstupanje je opaženo za uzorak gramature 150 g/m^2 , koji usled veće debljine (Slika 6.45) ima veću otpornost na prskanje naspram ostalih gramatura. Veća izmerena vrednost kod papira gramature 90 g/m^2 , koja odskaka od linearnog trenda kod poprečno savijenih uzoraka, može se pripisati većoj zateznoj čvrstoći i indeksu zatezanja u mašinskom smeru (Slike 6.47 i 6.49). Budući da poprečno savijanje smanjuje silu kidanja u mašinskom pravcu, veća polazna zatezna čvrstoća kao i indeks zatezanja za pomenutu gramaturu ima za posledicu veće sile kidanja i nakon poprečnog savijanja.

Prednost ispitivanja otpornosti papira prema prskanju da u jednu brojčanu vrednost ujedinjuje osobine kao što je čvrstoća, izduženje, elastičnost, savitljivost i slično, predstavlja dobru podlogu za njenu primenu u funkciji ispitivanja oštećenja nakon savijanja. Iako prema izloženim rezultatima ne korelira u potpunosti sa gramaturom, ipak može okarakterisati kompleksu karakteristiku savijenih papira sa posebnim osvrtom na veličinu pojedinačnih oštećenja i na njihovu raspodelu po liniji savijanja.

S obzirom na to da otpornost na prskanje zavisi i od veličine pojedinačnih oštećenja, povezanosti istih tj. njihovog prostornog raspoređivanja, ova referentna metoda će se koristiti i za proveru kvalitativnih obeležja digitalnih uzoraka odnosa obima i površine kao i distribucije.

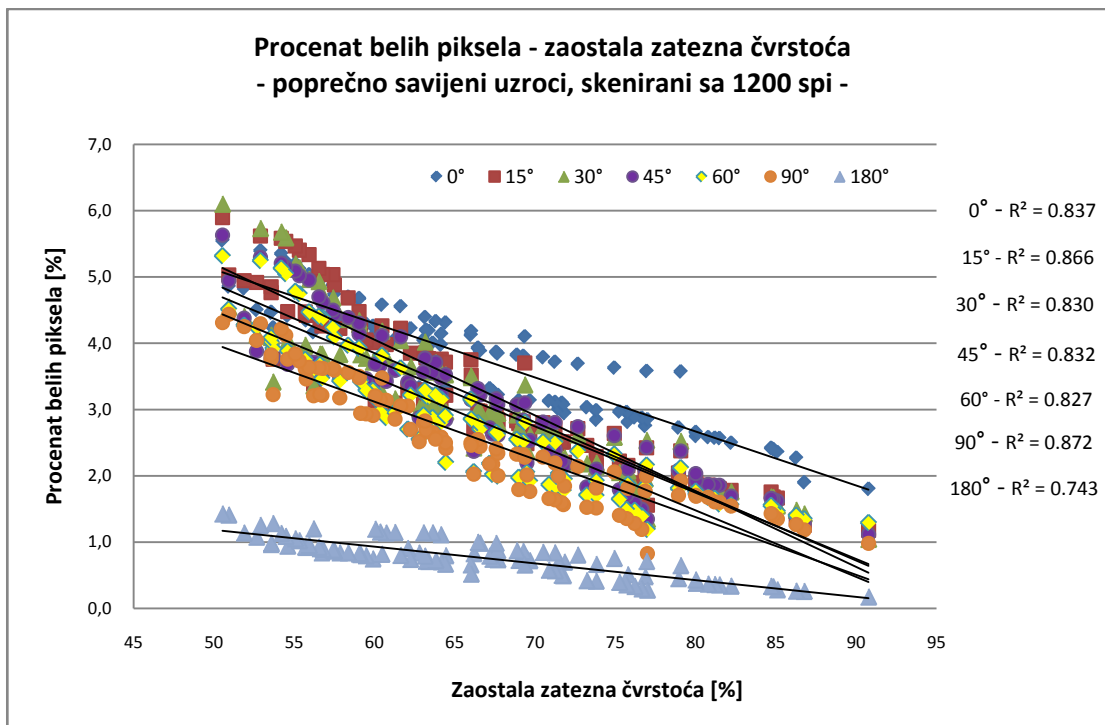
6.3. Usporedna analiza rezultata referentnih metoda ispitivanja otpornosti premaznih papira na površinska oštećenja i predloženih obeležja objektivne metode

U analizi primenljivosti predloženih obeležja, koristiće se faktor determinacije. Faktor determinacije (korišćeno nekoliko puta već u prethodnim analizama) predstavlja parametar sa kojim se dobije odgovor na pitanje: koliki je deo dve varijanse promenljive zajednički. U matematičkom smislu, faktor determinacije predstavlja kvadrat koeficijenta Pirsonove korelacije (r). Pirsonova korelacija daje informacije o jačini i smeru veze između neprekidnih promenljivih, i tako odgovara svim referentnim metodama kao i predloženim obeležjima dobijenih sa digitalnih slika.

Propisno utvrđivanje Pirsonove korelacije, međutim, zahteva povezane parove, tj. da rezultati obe promenljive za upoređivanje potiču od istog subjekta (uzorka) (Pallant, 2007). Kako iz tehničkih razloga nije bilo moguće ispoštovati da se sa istih materijalnih uzoraka dobijaju svi parametri, analiza korelacije rezultata referentnih metoda i predloženih obeležja će se bazirati na srednjim vrednostima, a ne na pojedinačnim merenjima. Za proračun Pirsonovog koeficijenta korelacije na osnovu srednjih vrednosti merenja korišćen je program Microsoft Excel, a dobijeni rezultati se podudaraju sa vrednostima korelacije dobijenih za veštački poređana i uparena pojedinačna merenja u programu za statističku obradu SPSS.

Sa takvim veštački uparenim pojedinačnim rezultatima su formirani i dijagrami rasturanja da bi se potvrdio preduslov Pirsonove korelacije. Naime, korelacija karakteriše jačinu i smer linearne veze između dve promenljive, pa je neophodno da na dijagramu rasturanja te dve promenljive nazire pravolinijska veza između ispitanih obeležja (Pallant, 2007). Pa tako za sva obeležja po metodama digitalizacije su bili pripremljeni dijagrami rasturanja sa veštački uparenim rezultatima kako bi se mogao proveriti uslov za korelaciju. Velika većina dijagrama je pokazala određen sklad i linearnu zavisnost, ali zbog velikog broja ispitanih kombinacija ispitanih obeležja, ovde je prikazan samo jedan primer dijagrama rasturanja i to između procenata belih piksela za poprečno savijene uzorke skeniranih sa rezolucijom 1200 spi i zaostale zatezne čvrstoće (Slika 6.53). U datom primeru je lako uočiti izraženu negativnu korelaciju između procenta belih piksela i zaostale zatezne čvrstoće i to za sve uglove postavljanja. Na osnovu Pirsonove korelacije dobijene su vrednosti faktora determinacije u rasponu do $R^2 = 0.743$ do $R^2 = 0.872$, koje po Koenu (Pallant, 2007) ukazuju na postojanje jake korelacije između ispitanog obeležja procenta belih piksela i zaostale zatezne čvrstoće po svim uglovima postavljanja uzoraka.

Za analizu primenljivosti predloženih obeležja i odabir adekvatnih varijabilnih parametara pripreme uzoraka i digitalizacije istih, za svaku predviđenu kombinaciju referentnih metoda i predloženih obeležja su izračunati faktori determinacije na osnovu srednjih vrednosti (po uzoru od Chinga-Carrasco i drugi, 2008). Zbog obimnosti dobijenih rezultata njihov sveobuhvatni tabelarni prikaz je smešten među priložima (Tabele IV.1-3, Prilog IV), a ovde su iznete analize kombinacije sa najvišim vrednostima faktora determinacije. Po analogiji prikazanih rezultata obeležja digitalnih slika, i analiza faktora determinacije se vrši istim redosledom, tj. prvo su prikazani rezultati za skenirane uzorke, zatim za fotografisane epruvete, a na kraju slede mikroskopski snimci.



Slika 6.53 – Primer dijagrama rasturanja za procenat belih piksela i zaostale zatezne čvrstoće

6.3.1. Skenirani uzorci

Prvo obeležje kod skeniranih uzoraka predstavlja procenat belih piksela, koji se analizira sa zaostalom zateznom čvrstoćom i sa otpornošću savijenih epruveta prema prskanju po Mulenu. S obzirom da se rezultati procenata belih piksela ne razlikuju statistički značajno po rezoluciji skeniranja, faktori determinacije su određeni samo za najnižu rezoluciju (1200 spi). Nakon procenata belih piksela slede kvalitativna obeležja (odnos obima i površine detektovanih oštećenja i distribucija istih po posmatranoj liniji savijanja) koja će se analizirati samo sa otpornošću savijenih epruveta prema prskanju po Mulenu.

6.3.1.1. Procenat belih piksela – zaostala zatezna čvrstoća

Najveći faktor determinacije je utvrđen za poprečno savijene uzorke sa uglom postavljanja od 0° i iznosi $R^2 = 0.943$. Najjača korelacija kod paralelnih uzoraka ima nešto nižu vrednost faktora determinacije ($R^2 = 0.840$) i registrovan je za ravno skenirane uzorke (ugao 180°). Karakteristično je za poprečne uzorke da su svi uglovi dali dosta visoke vrednosti (raspon od $R^2 = 0.745$ do $R^2 = 0.943$), dok su paralelni uzorci baš suprotno, imaju niže faktore determinacije ($R^2 = 0.429$ ÷ $R^2 = 0.840$).

6.3.1.2. Procenat belih piksela – otpornost prema prskanju savijenih epruveta

Za ovaj set promenljivih najveći faktor determinacije iznosi od $R^2 = 0.981$ i to za paralelne uzorke postavljene pod uglom od 30°. Kod poprečnih uzoraka najizraženija korelacija ima faktor determinacije $R^2 = 0.902$. Na osnovu prikazanih rezultata u tabeli IV.1 (Prilog IV) se

može primetiti da kod ovog seta parametara paralelni uzorci su dali veće vrednosti faktora determinacije ($R^2 = 0.794 \div R^2 = 0.981$) u odnosu na poprečne uzorke ($R^2 = 0.326 \div R^2 = 0.902$).

6.3.1.3. Odnos obima i površine – otpornost prema prskanju savijenih epruveta

Prvo kvalitativno obeležje strukture oštećenih površina na skeniranim uzorcima, odnos obima i površine detektovanih oštećenja ima izjedančene faktore determinacije po smerovima savijanja. Oni se kreću u rasponu od $R^2 = 0.232$ do $R^2 = 0.904$ za paralelne uzorke, pri čemu je najveća vrednost zabeležena za ugao postavljanja od 15° , dok za poprečne uzorke su faktori determinacije u rasponu od $R^2 = 0.017$ do $R^2 = 0.885$, sa najvećim registrovanim za isti ugao postavljanja kao i kod paralelnih uzoraka (ugao 15°). Iako su vrednosti odnosa obima i površine različite po rezolucijama skeniranja, ipak struktura je identična pa su i faktori determinacije bliski.

6.3.1.4. Procenat distribucije – otpornost prema prskanju savijenih epruveta

Drugo kvalitativno obeležje po redu čini procenat distribucije oštećenja po liniji savijanja. Sa rezultatima otpornosti savijenih epruveta prema prskanju, distribucija ima visoke faktore determinacije za paralelne uzorke postavljenih pod uglovima 15° - 90° ($R^2 = 0.836 \div R^2 = 0.912$), dok za uglove od 0° i 180° su veličine korelacije značajno niže ($R^2 = 0.107 \div R^2 = 0.554$). Kod poprečnih uzoraka, nije bio uočen jasan pravolinijski trend na dijagramu rasturanja ni za jedan ugao, što potvrđuju i niske vrednosti faktora determinacije ($R^2 = 0.038 \div R^2 = 0.560$) za te uzorke. Po rezoluciji skeniranja ni kod ovog obeležja nisu uočene značajne razlike među vrednostima faktora determinacije.

6.3.2. Fotografisani uzorci

Za fotografisane uzorke sledi identičan redosled analize obeležja sa referentnim merenjima kao i kod skeniranih uzoraka. Naime, prvo su dati rezultati za kvantitativno obeležje, za procenat belih piksela, zatim slede kvalitativna obeležja za opis strukture oštećenja posmatrane površine: odnos obima i površine kao i procenat distribucije. Pošto uticaj udaljenosti fotografisanja kod nekih uzoraka značajan, u okviru analize svakog seta parametara istaknuto je ukoliko se značajno razlikuju rezultati faktora determinacije po udaljenostima fotografisanja.

6.3.2.1. Procenat belih piksela – zaostala zatezna čvrstoća

Kod fotografisanih uzoraka najveći faktor determinacije je utvrđen takođe za poprečno savijene uzorke, ali za ugao postavljanja od 45° i iznosi $R^2 = 0.944$, međutim, druga najjača korelacija kod istih (poprečnih) uzoraka je potvrđena za ugao od 0° ($R^2 = 0.933$) što se poklapa sa rezultatima dobijenih kod skeniranih uzoraka. Sveukupno gledano, poprečni uzorci su dali veće faktore determinacije, označavajući bolju korelaciju između procenata belih piksela i zaostale zatezne čvrstoće ($R^2 = 0.517 \div R^2 = 0.944$). Kod paralelnih uzoraka faktori determinacije imaju niže vrednosti ($R^2 = 0.320 \div R^2 = 0.877$), pri čemu je najveći

faktor determinacije registrovan za ravno postavljene uzorke sa $R^2 = 0,877$ koji predstavlja ekstremnu visoku vrednost, jer sledeća najveća u nizu iznosi $R^2 = 0.749$, a ostale vrednosti su ispod $R^2 = 0.7$.

6.3.2.2. Procenat belih piksela – otpornost prema prskanju savijenih epruveta

Pri analizi procenata belih piksela i otpornosti savijenih papira prema prskanju su utvrđene izuzetno visoke vrednosti faktora determinacije i kod fotografisanih slika i to za paralelno savijene uzorke i uglove 0° - 90° ($R^2 = 0.914$ ÷ $R^2 = 0.996$). Ravno postavljeni uzorci su dali niže vrednosti faktora determinacije ($R^2 = 0.567$ ÷ $R^2 = 0.822$). Najveća vrednost je zabeležena za ugao 15° pri udaljenosti fotografisanja od 21 cm ($R^2 = 0.996$), a druga najveća za ugao 30° sa udaljenosti od 12 cm ($R^2 = 0.995$), a najveća vrednost za udaljenost od 30 cm je uočen za ugao 90° ($R^2 = 0.977$). Poprečni uzorci uopšteno gledajući su dali niže faktore determinacije i dve najveće vrednosti od $R^2 = 0.954$ i $R^2 = 0.948$ (zabeležene za ugao 0° , 12 cm, odnosno ugao 180° , 30 cm), predstavljaju izuzetno visoke vrednosti naspram ostalih, koji su ispod $R^2 = 0.9$.

6.3.2.3. Odnos obima i površine – otpornost prema prskanju savijenih epruveta

Odnosi obima i površine oštećenja za fotografisane uzorke su dali vrlo različite vrednosti korelacije po uglovima postavljanja kod paralelnih uzoraka (raspon je od $R^2 = 0.0466$ do $R^2 = 0.952$). Najveća vrednost je zabeležena kod ugla postavljanja od 45° sa udaljenosti fotografisanja od 30 cm, mada mora se napomenuti da su za ugao od 15° dobijene druge dve najveće vrednosti faktora determinacije ($R^2 = 0.936$ i $R^2 = 0.926$) za udaljenost od 30 cm i 12 cm. Visoka vrednost koeficijenta korelacije za pomenuti ugao se poklapa sa rezultatima skeniranih uzoraka. Poprečni uzorci imaju konzistentniju strukturu rezultata faktora determinacije, jer se vrednosti kreću od $R^2 = 0.525$ do $R^2 = 0.938$, međutim, najveća vrednost (koja je detektovana za 60° , 30 cm) istovremeno je i ekstremna, jer su za sve ostale uglove vrednosti ispod $R^2 = 0.883$.

6.3.2.4. Procenat distribucije – otpornost prema prskanju savijenih epruveta

Rezultati procenta distribucije oštećenja po liniji savijanja sa rezultatima otpornosti savijenih papira prema prskanju daju izuzetno visoke faktore determinacije za udaljenost fotografisanja od 21 cm, ali samo kod paralelnih uzoraka ($R^2 = 0.904$ ÷ $R^2 = 0.994$). Druge dve udaljenosti imaju i nižih i viših faktora determinacije (njihov zajednički raspon je od $R^2 = 0.657$ do $R^2 = 0.989$). Kod poprečnih uzoraka za sve te udaljenosti faktori determinacije imaju izuzetno velik raspon (od $R^2 = 0,008$ do $R^2 = 0.820$), pri čemu najveća vrednost dosta odskakće.

6.3.3. Mikroskopski snimci

Rezultati korelacione analize za treću metodu digitalizacije su manjeg obima, shodno manjem broju varijabilnih parametara korišćenih pri izradi uzoraka. Prema tome, njihov

pregled će se obaviti sažeto sa fokusom na najznačajnije rezultate. Od svih ispitanih obeležja digitalnih slika, jedino su vrednosti belih piksela dali visoku vrednost faktora determinacije u iznosu od $R^2 = 0.926$ (za poprečno savijene uzorke, postavljenih pod uglom od 90°) i to u kombinaciji sa zaostalom zateznom čvrstoćom. Za korelaciju između procenata belih piksela i otpornosti savijenih papira prema prskanju, najveća vrednost faktora determinacije iznosi svega $R^2 = 0.758$ (za poprečno savijene uzorke, postavljenih pod uglom od 90°), dok sa istim referentnim parametrima odnos obima i površine daje vrednost faktora determinacije od $R^2 = 0.888$ (paralelno savijene i ravno postavljene uzorke), a distribucija $R^2 = 0.745$ (za paralelno savijene uzorke, postavljenih pod uglom od 90°).

7. Diskusija

Diskusija dobijenih rezultata je grupisana po predloženim obeležjama sa digitalnih slika materijalnih epruveta, gde su izloženi značajni rezultati po metodama digitalizacije kao i rezultati uporedne analize sa referentnim metodama.

7.1. Procenat belih piksela

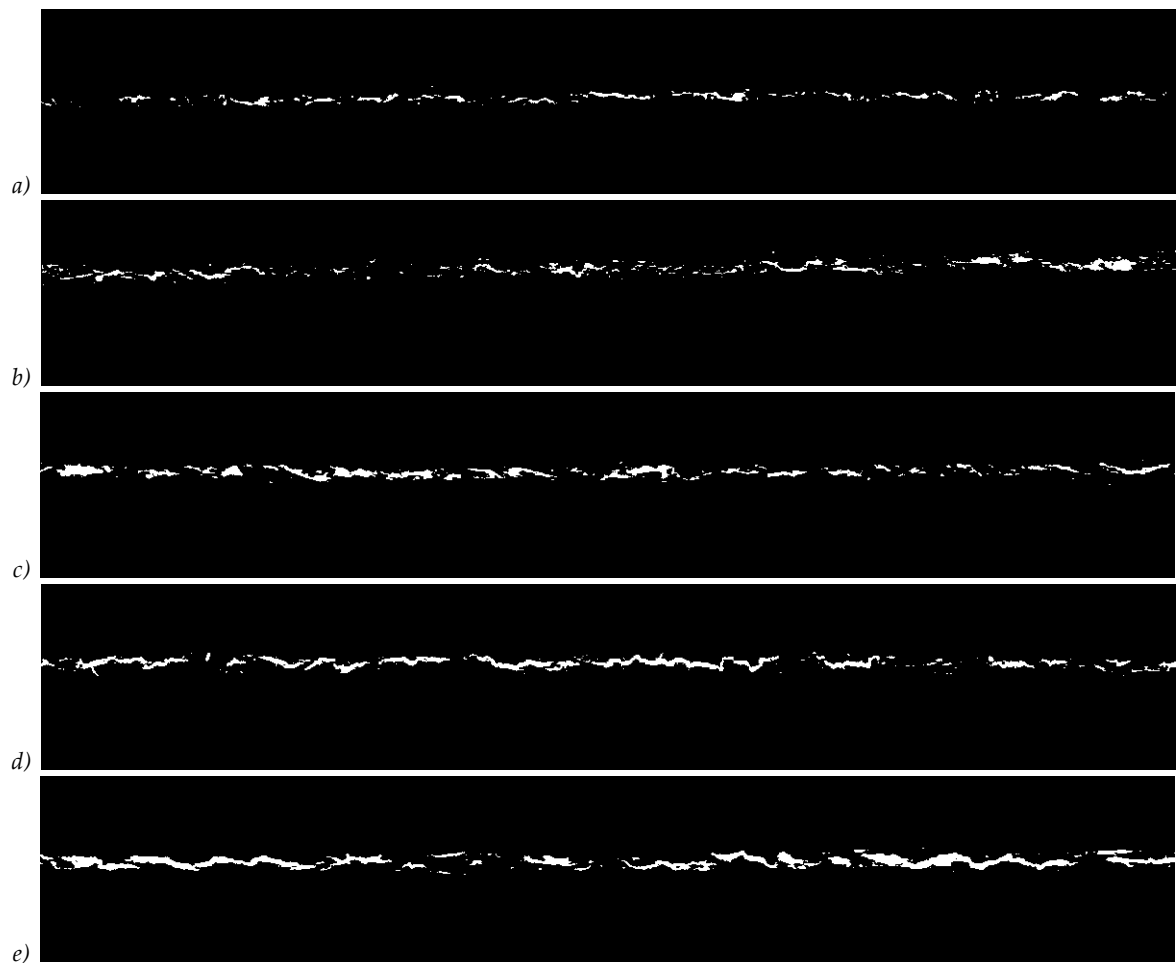
Procenat belih piksela, kao jedini kvantitativni parametar obeležja digitalne slike, po osnovnoj definiciji odgovara ukupnoj količini oštećenja na materijalnim uzorcima. Pomoću tri metode digitalizacije, sa različitim parametrima pripreme i digitalizacije uzoraka, dobijene su vrednosti procenata belih piksela, koja su prvo analizirana prema gramaturi ispitanih papira i smeru vlakancu savijanja istih zatim su upoređene sa zaostalim zateznom čvrstoćom i otpornošću savijenih papira prema prskanju po Mulenu.

Od korišćene tri metode digitalizacije, skeniranje je dalo najkonzistentniju strukturu izmerenih vrednosti procenata belih piksela po gramaturi, smeru savijanja sa doslednim trendovima pri promeni unutrašnjeg ugla postavljanja uzoraka kao i rezolucije skeniranja.

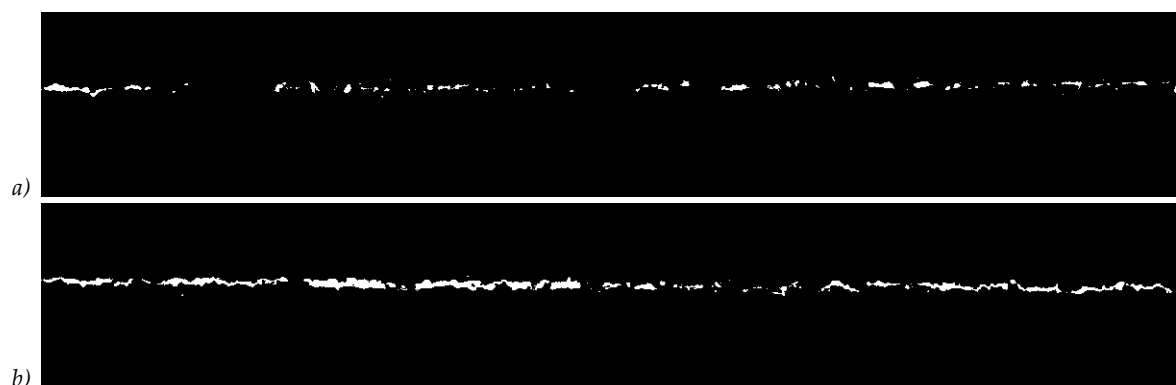
Dobijeni rezultati po gramaturi, kao i po smeru savijanja su u skladu sa literaturnim izvorima i osnovnim pretpostavkama za definisanje varijabilnih parametara (Sappi, 2006; Apro i drugi, 2008; Kim i drugi, 2010). Naime, rezultati procenata belih piksela imaju jasnu tendenciju povećanja sa povećanjem gramature ispitanih uzoraka. Takva tendencija potvrđuje osnovnu pretpostavku da sa povećavanjem gramature, a samim tim i debljine (ukoliko se radi o papirima sa istim proizvodnim osobinama), dolazi do intenzivnijeg naponskog opterećenja pri savijanju, a time i do pojave izražajnijeg površinskog oštećenja, pa tako i do belih piksela na analiziranoj površini. Na slikama 7.1a-e se može jasno i videti to povećanje detektovanih oštećenja sa porastom gramature savijenih uzoraka.

U slučaju uticaja smeru savijanja, dobijeni rezultati, takođe, prate osnovnu pretpostavku. Pri zatezanju u toku paralelnog savijanja papira, vlakanca trpe poprečno opterećenje i jednostavno se samo razdvajaju duž linije savijanja, dok ta ista naprezanja kod poprečnih papira izazivaju uzdužno opterećenje vlakanca baznog papira usled čega, u većini slučajeva, dolazi do prekida tih vlakancu, tj. do destrukcije samog baznog papira. Kako na ponašanje premaznog sloja utiču i mehaničke karakteristike baznog papira, tako kod paralelno savijenih premaznih papira se javljaju manja, dok kod poprečno savijenih papira veća površinska oštećenja. Na slici 7.2a i b su dati uporedni prikazi uzoraka od papira gramature 130 g/m² savijenih u oba smera. Na njima se lako uočavaju razlike u veličini površine oštećenja premaznog sloja.

Analizom uticaja rezolucije skeniranja na rezultate procenata belih piksela je utvrđeno da iako postoje neznatna odstupanja u rezultatima (koja su neizbežne posledice povećane finoće prikaza objekata pri većim rezolucijama skeniranja), ta odstupanja nemaju statističku značajnost pa se tako može zaključiti da rezolucija skeniranja ne utiče na dobijene vrednosti belih piksela.



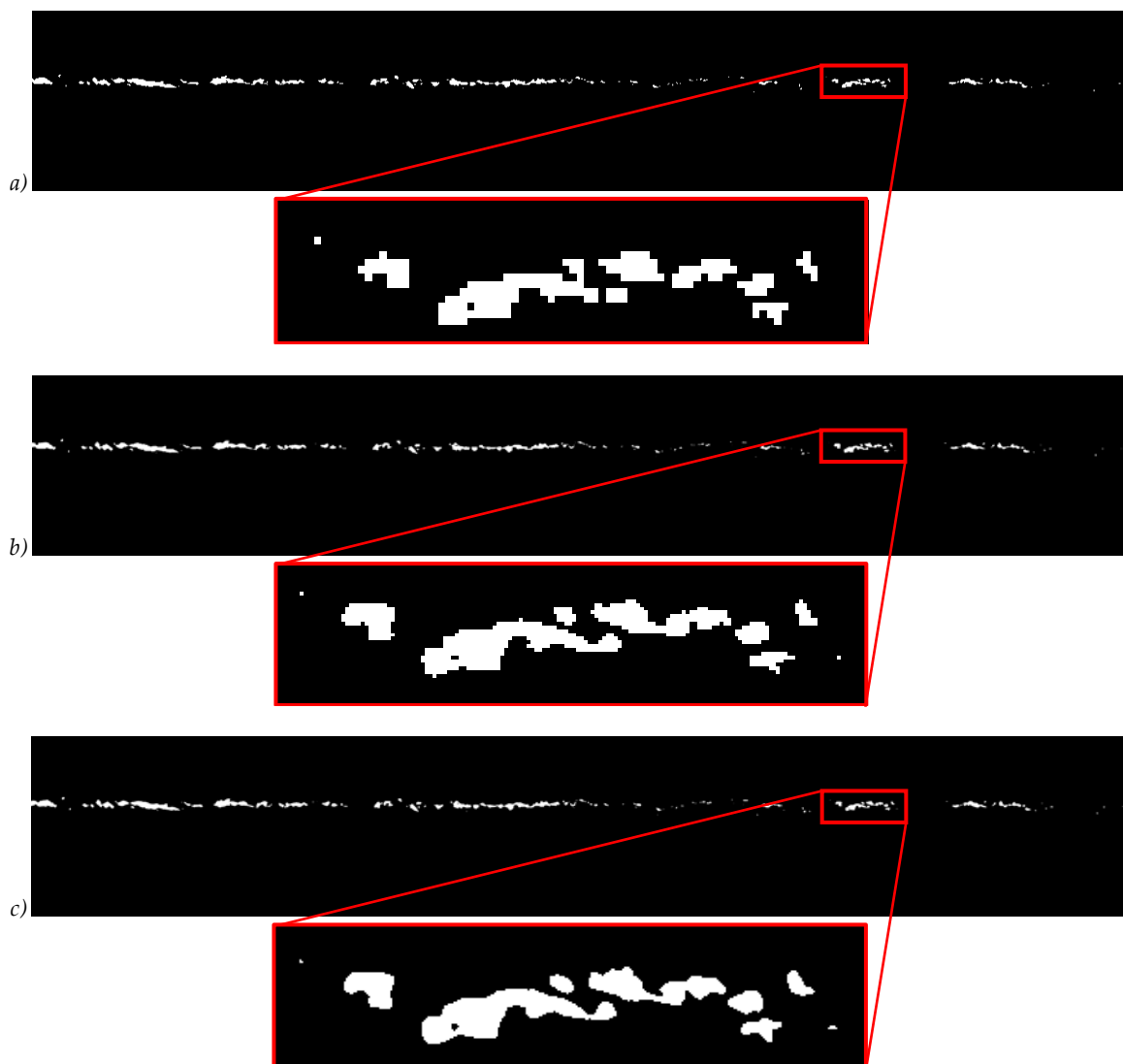
Slika 7.1 – Uporedni prikaz detektovanih oštećenja na uzorcima paralelno savijenih papira sa gramaturama od 90 g/m² (a), 115 g/m² (b), 130 g/m² (c), 150 g/m² (d) i 170 g/m² (e)



Slika 7.2 – Tipični primeri detektovanih oštećenja na uzorcima paralelno (a) i poprečno (b) savijenih papira gramature 130 g/m²

Mora se napomenuti, da su prilikom skreniranja sa iste selektovane površine formirani digitalni snimci (uzorci) sa različitim rezolucijama pa tako nakon obrade statističkih podataka i odbacivanja ekstremnih vrednosti, osnovni skup rezultata većim delom čine digitalni uzorci dobijeni sa iste površine. Primeri uzoraka (sa povećanim segmentima)

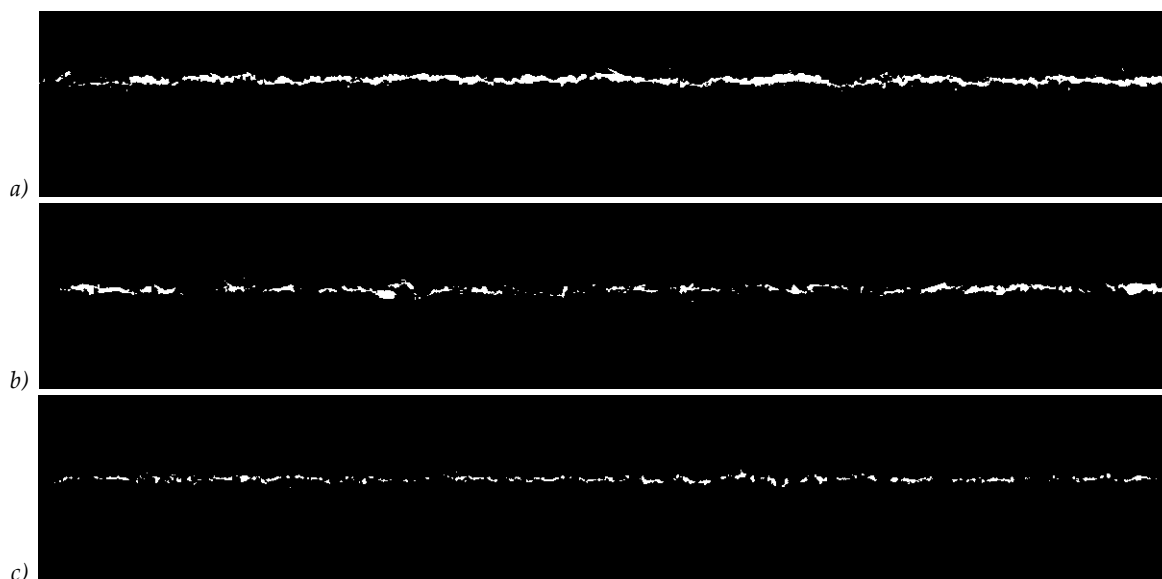
skeneranih sa različitim rezolucijama dati na slici 7.3a-c prikazuju uticaj povećanog uzorkovanja pri digitalizaciji i potvrđuju dobijene rezultate statističke analize. Sa datih slika se lako uočavaju razlike u detaljima detektovanih objekata na slikama, međutim, kako su procenti belih piksela naspram cele slike vrlo niske vrednosti, te razlike na detektovanim objektima ne utiču statistički značajno na konačne razlike u rezultatima.



Slika 7.3 – Uporedni prikaz detektovanih oštećenja paralelno savijenih uzoraka gramature 90 g/m² skerinarnih sa rezolucijom 1200 spi (a), 2400 spi (b) i 4800 spi (c)

Detaljnou statističkom analizom je utvrđeno da uglovi postavljanja generalno imaju značajan uticaj na ukupnu količinu vidljivog oštećenja, odnosno na procenat belih piksela na analiziranim slikama. To je bilo i očekivano zbog velikog raspona korišćenih uglova postavljanja (0° - 180°) koja su bila uključena u analizu. Međutim, naknadnom proverom statističke značajnosti razlika između uglova utvrđeno je da od korišćenih 7 uglova, samo ugao 180° se razlikuje statistički značajno od ostalih uglova za sve uključene parametre (gramatura, smer, rezolucija) analize. Ugao 0° u većini slučajeva se razlikuje, dok za uglove 15°- 90° postoje razne kombinacije parova, kod kojih se srednje vrednosti međusobno

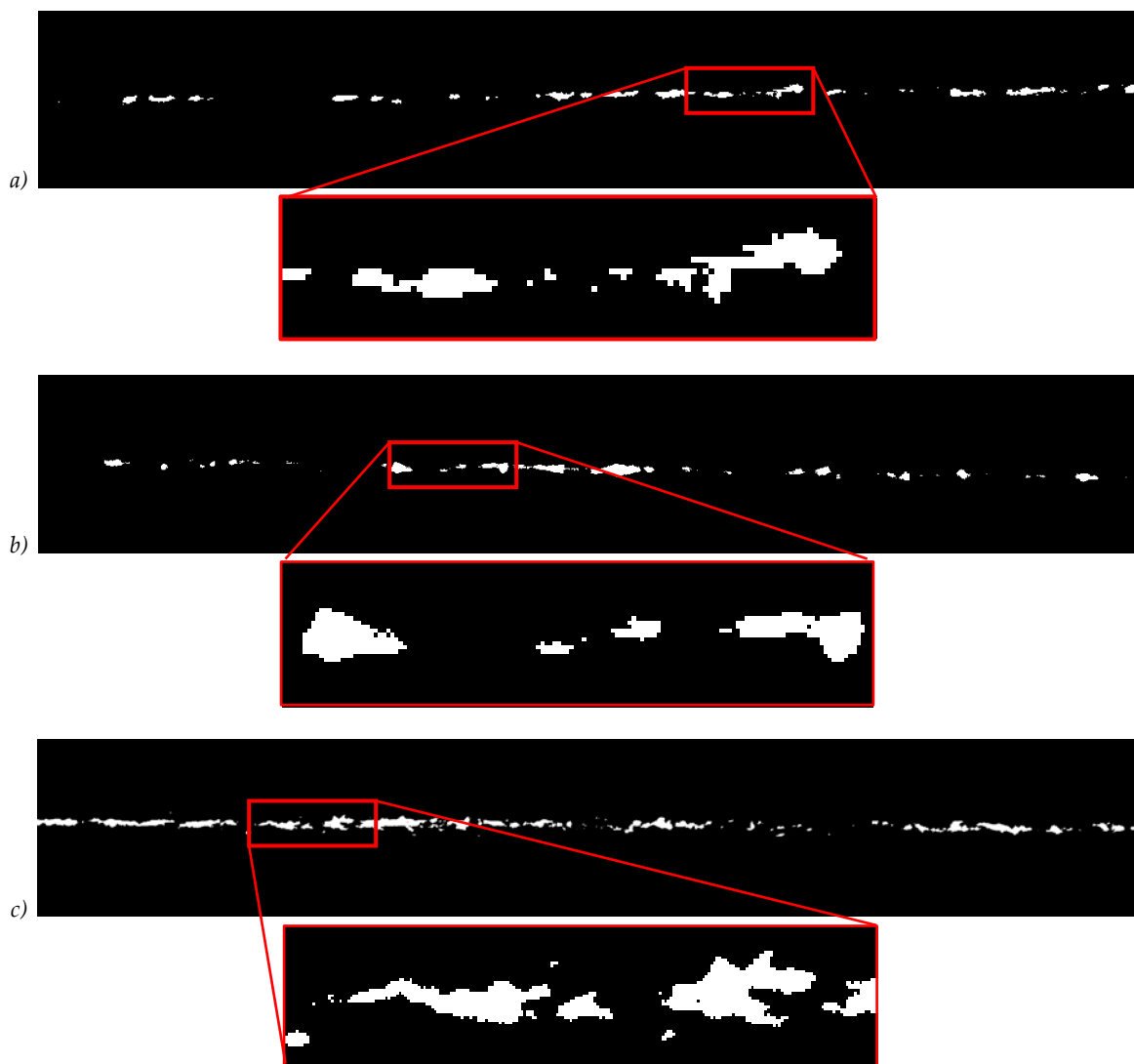
statistički značajno razlikuju, kako za paralelno, tako i za poprečno savijene uzorke, ali postoje i takvi upareni uglovi kod kojih je ta razlika slučajna. Veliko odstupanje ugla 180° , ali i ugla 0° od ostalih uglova postavljanja pri digitalizaciji može se pripisati graničnom položaju tih uzoraka. Naime, pri skeniranju sa uglom od 0° (što zapravo predstavlja potpuno zatvorene papirne uzorke) kod uzoraka, kod kojih nije došlo do potpunog odvajanja premaza od baznog papira već samo do formiranja linije prekida po prevoju, površinska oštećenja su maksimalno otvorena i tako daju najveće vrednosti procenta belih piksela. Sa povećavanjem unutrašnjeg ugla između savijenih listova (tj. otvaranjem listova) postepeno se zatvaraju te prekidne linije i tako ukupna površina oštećenja se smanjuje, sve dok ne postignu skroz ravan položaj sa unutrašnjim uglom od 180° , pri kojem se linije prekida premaza se najčešće zatvaraju u potpunosti. Tako se formiraju karakteristično niske vrednosti procenata belih piksela za potpuno otvorene uzorke i to u oba smera savijanja papira. Pri takvom položaju postavljanja, vrednosti procenata belih piksela se ne povećavaju značajno sa porastom gramature. Pa tako, iako ravno postavljanje predstavlja najjednostavniji položaj za digitalizaciju (ne zahteva nikakve dodatne držače ili postolja) kod takvih epruveta oštećenja nisu realno prikazana, jer u slučaju da ne dolazi do potpunog odvajanja premaza od baznog papira, prekidna linija u premaznom sloju koja je nastala pri savijanju postaje potpuno zatvorena pri ponovnom otvaranju savijenog lista papira. Na slikama 7.4a-c su dati primeri poprečno savijenih papira gramature 90 g/m^2 po uglovima postavljanja od 15° , 45° i 180° .



Slika 7.4 – Uporedni prikaz poprečno savijenih uzoraka gramature 90 g/m^2 skeniranih sa rezolucijom od 1200 spi sa unutrašnjim uglovima postavljanja od 15° (a), 45° (b) i 180° (c)

Sa primenom digitalnog fotoaparata, kao druge metode digitalizacije materijalnih epruveta, dobijeni rezultati su, takođe, u skladu sa osnovnim pretpostavkama uticaja gramature papira i smera vlaknaca (potvrđujući literaturne rezultate), ali zbog specifičnosti primenjene metode dobijeni rezultati imaju mnogo manju konzistentnost jer cela postavka pri fotografisanju uzoraka je sklona manjim odstupanjima pri digitalizaciji, gde na primer zbog promene žižne daljine usled manjih odstupanja u visini držača

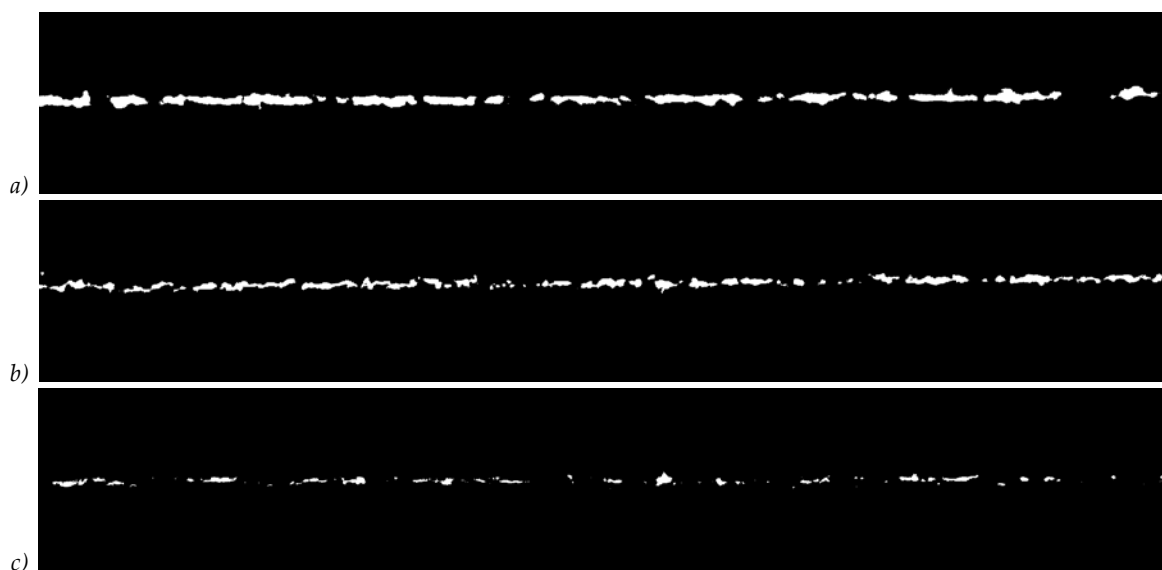
uzoraka ili uticaja nepoželjnih vibracija fotoaparata zbog neadekvatnog fiksiranja na stalak pri uzorkovanju razlikuju se digitalni uzorci čak i pri jednoj kombinaciji parametara (jedna gramatura, jedan smer, jedna udaljenost i jedan ugao). Statističkom analizom su utvrđene izvesne razlike između korišćenih udaljenosti (za razliku od skeniranja), kao značajan uticaj ugla postavljanja uzoraka posmatrajući rezultate za sve udaljenosti digitalizacije (kao i kod skeniranja). Na slikama 7.5a-c su dati primeri paralelno savijenih uzoraka gramature 90 g/m² fotografisanih sa udaljenosti od 30 cm, 21 cm i 12 cm, dok na slikama 7.6a-c su prikazani karakteristični predstavnici poprečno savijenih uzoraka gramature 90 g/m² fotografisanih sa udaljenosti od 12 cm i postavljenih pod uglovima od 15°, 45° i 180°.



Slika 7.5 – Uporedni prikaz paralelno savijenih uzoraka gramature 90 g/m² fotografisanih sa udaljenosti od 30 cm (a), 21 cm (b) i 12 cm (c)

Rezultati procenata belih piksela dobijenih trećom metodom digitalizacije, koja uključuje upotrebu optičkog mikroskopa sa digitalnom kamerom, delimično prate strukturu rezultata dobijenih skeniranjem i fotografisanjem. Najveći uzrok tome je specifičnost digitalizacije pošto se pri uvećanju od 50x dolazi do velikog izražaja neujednačenosti površine (*engl. mottling*), koja pri drugim metodama nije bila toliko uočljiva. Na slici 7.7a i b su prikazane

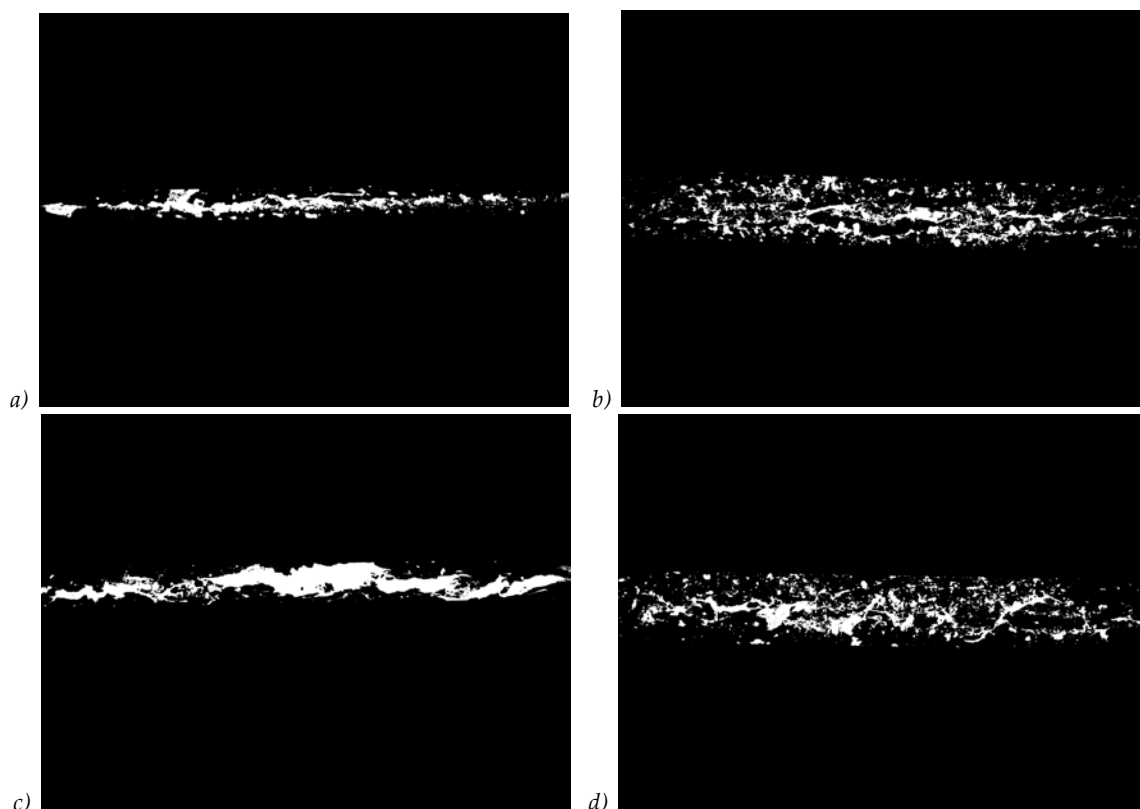
tipične segmentirane fotografije paralelno savijenih uzoraka 90 g/m² papira postavljenih pod uglom od 90° i 180°, odnosno na slici 7.7c i d su dati primeri papira 130 g/m² postavljenih isto pod uglovima od 90° i 180°.



Slika 7.6 – Uporedni prikaz poprečno savijenih uzoraka gramature 90 g/m² fotografisanih sa udaljenosti od 12 cm sa unutrašnjim uglovima postavljanja od 15° (a), 45° (b) i 180° (c)

Na prikazanim slikama se lako primećuje da šum detektovanih objekata oko linije prevoja, nastalih segmentacijom svetlijih površina štampe punog tona (neujednačenost površine) u velikoj meri povećava vrednosti procenata belih piksela kod ravno postavljenih uzoraka (ugao 180°). Za uzorke postavljene pod uglom od 90° takav uticaj nije izražen, jer prilikom snimanja, te problematične površine neujednačenosti štampe nisu bile u istoj ravni sa linijom prevoja i nisu bile adekvatno osvetljene. Karakteristično za ovu metodu digitalizacije da nema velikih razlika između srednjih vrednosti procenata belih piksela po uglovima, jer iako su stvarna oštećenja kod ravno postavljenih uzoraka površinski manja, zbog okolnog šuma od neujednačenosti štampe ukupna količina belih piksela skoro jednaka belim pikselima dobijenih za uzorke postavljenih pod uglom od 90°, gde su sama oštećenja po prevoju otvorenija, stoga i površinski veća.

Na osnovu izloženog nije iznenađujuće da dobijeni rezultati analize uticaja uglova postavljanja na procenat belih piksela nisu ukazali na jednoznačnu razliku kod oba smera savijanja. Samo za poprečne uzorke je utvrđena značajna razlika u srednjim vrednostima, dok je za paralelne uzorke neophodno izvršiti dodatna ispitivanja sa većim brojem uzoraka, što zbog tehničkih ograničenja izvođenja mikroskopske analize u ovom istraživanju nije bilo moguće ispoštovati. Pored navedenih, mora se napomenuti, da smanjeni varijabilni parametri i broj digitalnih uzoraka kod ove metode su doprineli većem izražaju anizotropnosti premaznih papira i oštećenja na njima.



Slika 7.7 – Uporedni prikaz paralelno savijenih uzoraka papira 90 g/m² sa unutrašnjim uglovima postavljajnja od 90° (a) i 180° (b) kao i poprečno savijenih papira gramature 130 g/m² sa unutrašnjim uglovima postavljajnja od 90° (c) i 180° (d)

Na osnovu analize korelacije između procenata belih piksela skeniranih uzoraka i zaostale zatezne čvrstoće, kao jedne od referentnih metoda, utvrđeno je da su svi uglovi za poprečno savijene uzorke dali visoke vrednosti faktora determinacije, osim ugla od 180° i to za sve metode digitalizacije. Ukoliko se uzme u obzir, da su vrednosti zaostale zatezne čvrstoće u poprečnom pravcu imale linearni trend sa gramaturom sa visokim faktorom determinacije ($R^2 = 0.948$, Slika 6.50), može se usvojiti zaključak da su oštećenja na uzorcima savijenih poprečno na smer vlakanaca papira realno predstavljena vrednošću procentom belih piksela za dati set ispitanih papira kod svih uglova postavljajnja, izuzev ugla od 180°. Za razliku od njih, paralelno savijeni uzorci su dali niže vrednosti faktora determinacije, što nije iznenađujuće s obzirom na to da oštećenja kod tih uzoraka zahvataju samo premaz a ne i bazni papir i time dolazi do manjeg razaranja strukture premaznog papira tako rezultujući mnogo veće vrednosti zaostale zatezne čvrstoće naspram vidljivih i detektovanih oštećenja. Takvi rezultati su dobijeni pri svakoj metodi digitalizacije.

Procenti belih piksela u poređenju sa vrednostima otpornosti savijenih papira na prskanje prema Mulenu ukazali su mnogo veću korelaciju sa paralelnim uzorcima nego sa poprečnim. Takav trend je uočen i kod skeniranih i kod fotografisanih uzoraka, dok kod mikroskopskih slika faktori determinacije za paralelno i poprečno savijene uzorke su skoro jednaki. Po rezultatima otpornosti savijenih papira prema prskanju po Mulenu, utvrđeno je da prilikom paralelnog savijanja većim delom se oštećuju samo premazni slojevi, odnosno dolazi do raslojavanja baznog papira usled napona smicanja pri savijanju kod većih gramatura. Takva oštećenja su manje vidljiva, pa manji procenat belih piksela kod

paralelnih uzoraka realno prikazuje moguće stanje otpornosti takvih uzoraka prema prskanju po Mulenu. Kako je to bilo izloženo u prethodnoj analizi (korelacija sa zaostalom zateznom čvrstoćom), kod poprečnih uzoraka dolazi do oštećenja samih vlakanaca baznog papira, koja direktno smanjuju međuvlakanaste veze i kompaktnost papira, pa tako drastično i otpornost prema prskanju, što se ne može u potpunosti uporediti sa vizuelnim doživljajem oštećenja.

7.2. Odnos obima i površine oštećenja

Odnos obima i površine detektovanih oštećenja po liniji prevoja predstavlja kvalitativno obeležje, koje ima za cilj da brojčano prikazuje strukturu površine sa akcentom na veličinu detektovanih oštećenja.

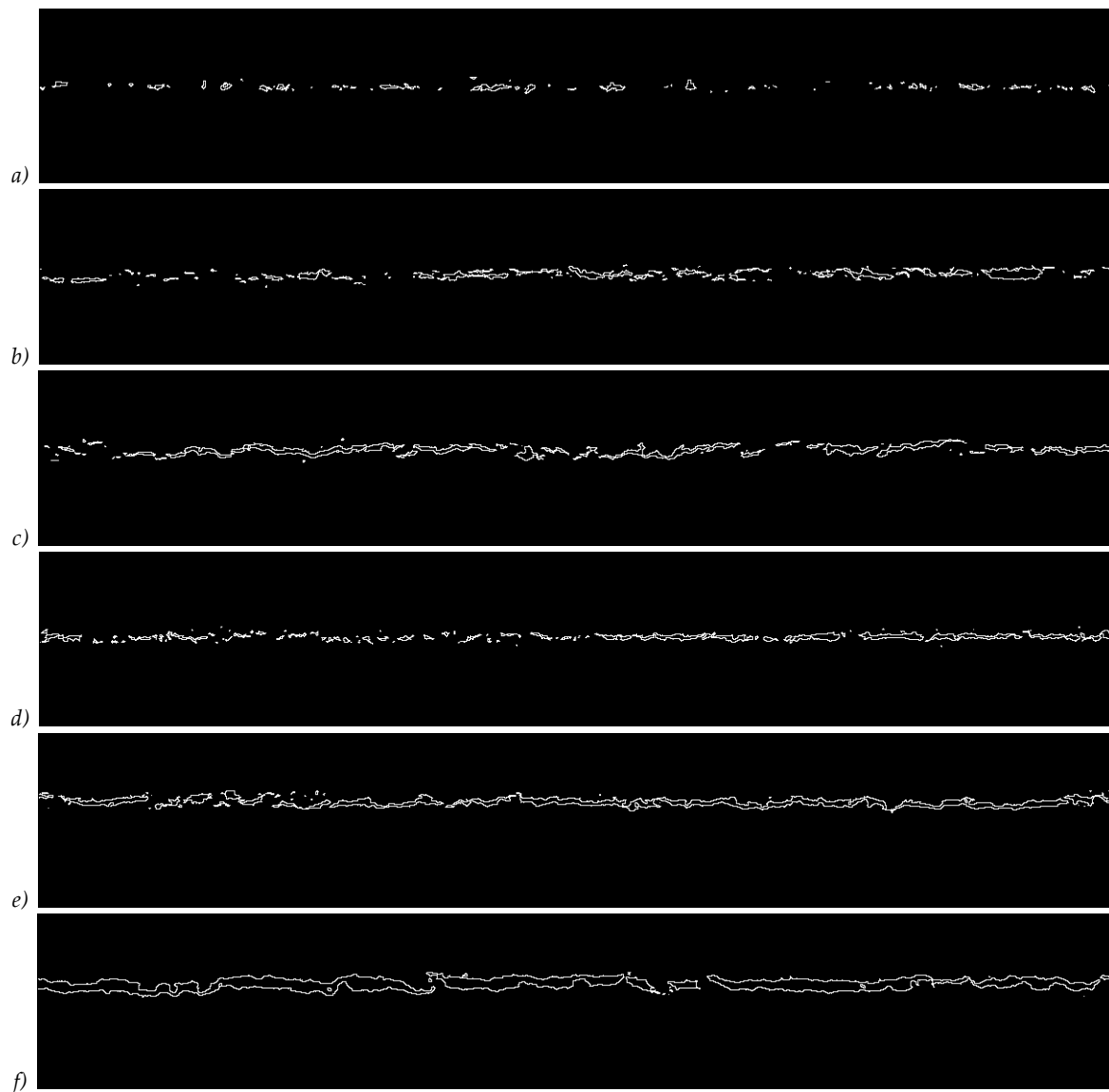
Metode digitalizacije i kod ovog obeležja imaju i sličnosti, a i razlike. Sličnosti se ogledaju u tome da jednoznačno ukazuju na smanjenje odnosa obima i površine sa porastom gramature, kao i na razlike između paralelno i poprečno savijenih uzoraka.

Sa povećavanjem gramature, ne samo da dolazi do količinski više oštećenja, već su ta oštećenja i krupnija, pa otuda odnos obima i površine opada. Trendovi po smerovima savijanja nisu isti ni kod skeniranih, a ni kod fotografisanih epruveta. Kod paralelnih uzoraka u poređenju sa poprečnim uzorcima dolazi do količinski manjih oštećenja, a njihova pojedinačna veličina se ne menja ravnomerno sa gramaturom, već one postaju samo krzavije, pa otuda odnos obima i površine ukazuje na sitnija oštećenja (Slika 7.8a-c). Kod poprečnih uzorka promene veličine pojedinačnih oštećenja prate rast gramature. Kod njih ne samo da se povećava ukupna površina oštećenja pri većim gramaturama, već su pukotine, oštećenja sve krupnije i krupnije, odnosno njihova linija obima sve glađa. Razlike među metodama digitalizacije i kod ovog obeležja uključuju strukturu ispitanih grupa i dobijenih rezultata (Slika 7.8d-e).

Skeniranjem se formiranju homogene grupe ne samo po smeru savijanja, već i po uticaju rezolucije i uglova postavljanja epruvete. Fotografisane uzorke karakterišu manje vrednosti standardne devijacije, ali kod dobijenih srednjih vrednosti su uočena veća odstupanja od ravnomernog opadanja odnosa obima i površine, pre svega za poprečne uzorke upoređujući sa rezultatima sa skenera. Mikroskopski snimci su u skladu sa prethodnim metodama digitalizacije, jer su dali veće odnosne obima i površine za paralelne uzorke i kod oba testirana ugla postavljanja (90° i 180°), mada ne i za sve gramature.

Sa povećanjem rezolucije se smanjuje odnos obima i površine detektovanih oštećenja, ali uticaj rezolucije skeniranja na rezultate odnosa obima i površine ima jednoznačan trend, za razliku od fotografisanih uzoraka. Prilikom skeniranja su korišćene 2 i 4 puta veće rezolucije u odnosu na najmanju rezoluciju. Pa tako, s obzirom da su uzorci skenirani bez uvećanja posmatrane površine (tj. izlazna digitalizovana slika je bila jednaka po dimenzijama sa skeniranom površinom) sa povećanjem rezolucije sa 2 ili 4 puta za opisivanje istih oštećenja korišćeno je približno 4 (2400 spi) ili 16 (4800 spi) puta više elementarnih jedinica digitalizacije (u slučaju skenera to su bili uzorci, *engl. samples* odakle i

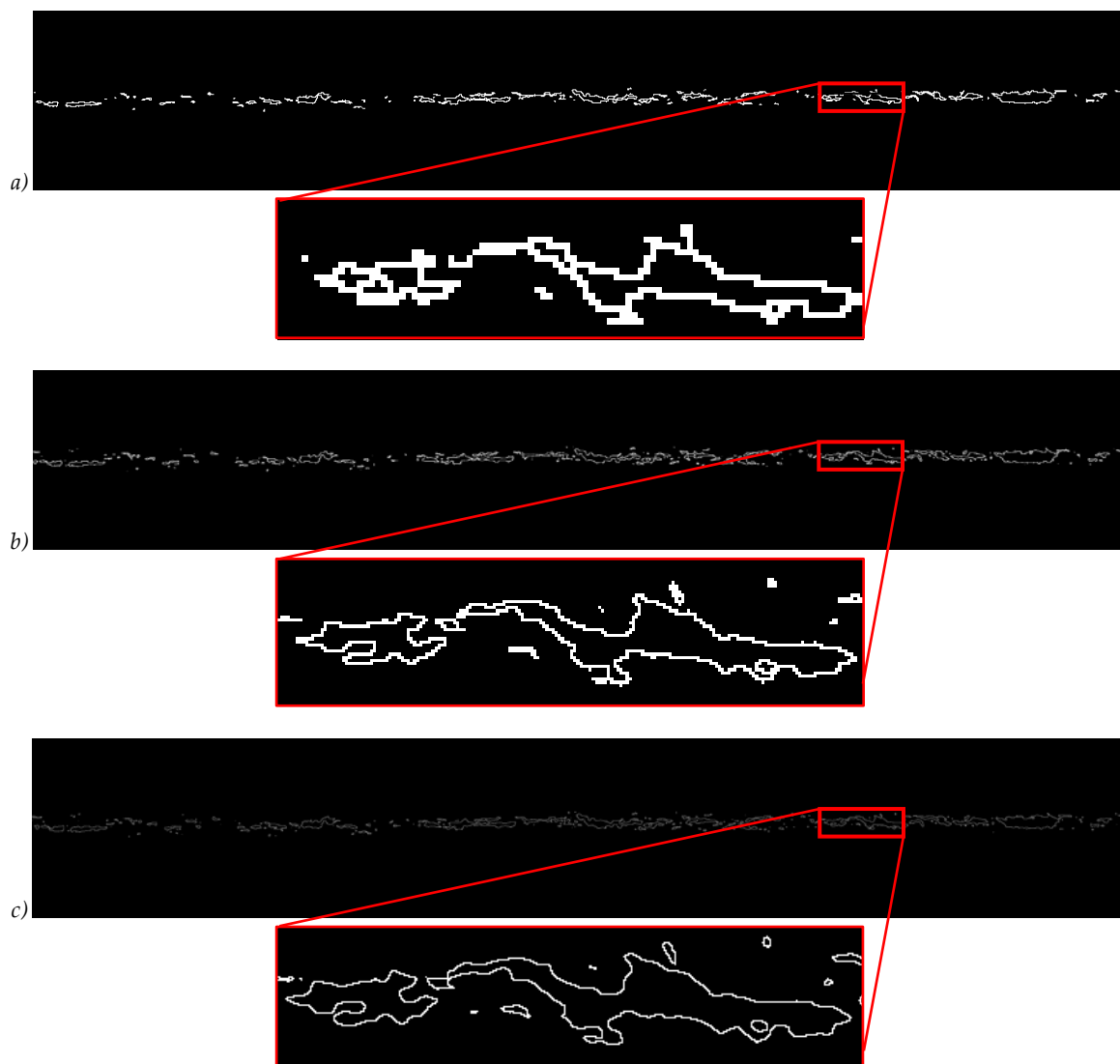
označavanje *spi*, *engl. samples per inch*, uzoraka po inču). Po sličnom principu, i ukupan broj tačaka ivica oštećenja se povećava sa promenom rezolucije, ali ne kvadratno već samo linearno. Skeniranjem sa većim rezolucijama (tj. većim frekvencijama uzorkovanja) dobijaju se preciznije aproksimacije stvarne granične linije oštećenja nizom tačaka, ali sa dupliranjem rezolucije se neće koristiti 4 puta više piksela kao kod površine, već samo nešto više od 2x, pa odnos obima i površine se drastično menja (smanjuje) sa povećanjem rezolucije. Na primerima prikazanih na slici 7.9a-c se jasno vidi tendencija promene broja piksela koja formiraju obim oštećenja pri različitim rezolucijama skeniranja.



Slika 7.8 – Karakteristični primeri obima detektovanih oštećenja na paralelno i poprečno savijenim uzorcima gramature 90 g/m² (a i d), 130 g/m² (b i e) i 170 g/m² (c i f)

Pored izloženog, bitno je napomenuti da za razliku od površine, porast obima u velikoj meri zavisi od strukture oštećenja. Na primer, krupnija oštećenja sa glatkim ivicama pri dupliranoj rezoluciji imaju približno dva puta više tačaka za definisanje obima tih oštećenja, za razliku od krupnijih oštećenja ali sa reckavom ivicom, gde ukupan broj tačaka

ivice se povećava više od dva puta sa dupliranjem rezolucije. Za temeljno testiranje uticaja rezolucije na dužinu obima detektovanih oštećenja neophodni su dodatni materijalni uzorci sa različitim sastavom premaza koji daju različitu strukturu pojedinačnih oštećenja pri savijanju. Iz tehničkih razloga, takva analiza prevazilazi okvire ove doktorske disertacije i predstavlja jedan mogući pravac budućeg istraživanja na polju primene digitalne analize slike u grafičkoj i papirnoj industriji.



Slika 7.9 – Usporedni prikaz obima detektovanih površina paralelno savijenih uzoraka gramature 130 g/m² skerinarnih sa rezolucijom 1200 spi (a), 2400 spi (b) i 4800 spi (c)

Za razliku od skeniranih uzoraka, fotografisani uzorci su bili definisani preko udaljenosti predmeta (epruvete) od fotoaparata, pa broj piksela za definisanje obima i površine se ne menja proporcionalno sa promenom udaljenosti. Pored toga, kod fotografisanih uzoraka fokus i oštrina slike imaju veliki uticaj na detektovane površine, pa stoga na primer rezultati za udaljenosti od 21 cm i 12 cm nisu značajno različiti, pogotovo za veće gramature (kod kojih se često i preklapaju). Kod mikroskopskih snimaka uvećanje nije bilo varijabilni parametar.

Analizom ugla postavljanja utvrđeno je da ima značajan uticaj na odnos obima i površine skeniranih uzoraka i to pre svega kod ekstremnih pozicija (0° i 180°). Sa najmanjim unutrašnjim uglom (ugao 0°) su dobijene najmanje vrednosti odnosa obima i površine oštećenja, dok su najveće vrednosti zabeležene za ravno skenirane uzorke (ugao 180°). Takvi rezultati se mogu objasniti sledećim: pri najmanjim uglom (0°), tj. kada su uzorci potpuno savijeni u toku digitalizacije, linija prevoja je najotvorenija, a oštećenja su površinski najveća, u poređenju sa ostalim uglovima. Sa povećavanjem unutrašnjeg ugla, savijeni tabaci se polako otvaraju, linija prevoja se postepeno rasterećuje i neka oštećenja se zatvaraju, tj. smanjuje im se površina uz manju promenu (smanjenje) dužine obima. Kod ravno skeniranih uzoraka u nekim situacijama dolazi do potpunog nestanka sitnih oštećenja (na šta ukazuju i male vrednosti procenta belih piksela) pa tako odnos obima i površine ukupnih oštećenja se maksimalizuje. Pri povećanju rezolucije skeniranja, diferencijacija pomenutih uglova je sve izraženija. Kod fotografisanih uzoraka takvo izolovanje rezultata za uglove 0° i 180° od rezultata ostalih uglova nije uočeno kod paralelnih uzoraka, a kod poprečnih samo za ugao 180° se može reći da nema preklapanja sa nekim nižim uglovima.

Referentna metoda koja odgovara konceptu provere površine pojedinačnih oštećenja jeste otpornost na prskanje nakon savijanja. Prilikom testiranja materijalnih uzoraka na prskanje, veličina maksimalnog pritiska zavisi od veličine pojedinačnih oštećenja, što su oštećenja veća pritisak, potreban za probijanje epruvete je manji, odnosno sa sitnijim površinskim oštećenjima premaza dobijaju se veće vrednosti pritiska probijanja. Sa analizom korelacije su utvrđene visoke vrednosti faktora determinacije za paralelne uzorke i to kod ugla postavljanja od 15° . Taj ugao je karakterističan za skenirane epruvete, odnosno i kod fotografisanih uzoraka za taj ugao su registrovane druge dve najveće vrednosti faktora determinacije. Kod mikroskopskih uzoraka najveći faktor determinacije je registrovan za ravno postavljene a paralelno savijene uzorke, što se uslovno odstupa od ostale dve metode digitalizacije. Uslovno odstupanje je definisano iz razloga što ne postoji ugao od 15° kod mikroskopskih snimaka, pa je nemoguće utvrditi stvarno odstupanje.

7.3. Distribucija oštećenja

Treće obeležje analiziranih slika takođe je kvalitativno obeležje, kojim se definiše raspodela oštećenja po liniji savijanja ili po posmatranoj površini. Distribucija oštećenja u ovom istraživanju je definisana kao procentualna vrednost broja elemenata slike (vrste matrice ili blokova slike) sa značajnom količinom belih piksela u odnosu na ukupan broj elemenata slike (vrste i blokova). U opštem smislu, procentom distribucije se obeležava udeo većih ili više manjih, ali grupisanih oštećenja po liniji savijanja.

Za sve metode se može sumirati grubo uticaj promene gramature i smera vlakanca prema sledećem: sa povećanjem gramature, povećava se i ukupna količina oštećenja pa se ta oštećenja polako grupišu po liniji savijanja, rezultujući veću vrednost distribucije u obliku kontinuiteta oštećenja. Tako, manje vrednosti distribucije su zabeležene kod nižih gramatura, a veće kod viših. Na slikama 7.1a-e se može videti kako se menja količina oštećenja po liniji prevoja pri porastu gramature kod paralelnih uzoraka. Kod paralelnih

uzoraka, izraženija je razlika između najnižih i najviših vrednosti gramature, dok za poprečno savijene uzorke su razlike u srednjim vrednostima po gramaturama znatno manje i ne prate ni delimično linearnu tendenciju. To što poprečni uzorci nemanju takav izražen porast distribucije pri povećanju gramature uzoraka, može biti pokazatelj da oštećenja na njima imaju istu strukturu i samo pri intenzivnijem opterećenju na zatezanje dolazi do većih ili/i povezanih oštećenja premaza.

Kako distribucija, zajedno sa odnosom obima i površine, daje dopunske informacije za objektivnu procenu strukture oštećene površine premaznih papira, prilikom konačne interpretacije rezultata neophodno je povezati sa pokazateljem ukupne količine oštećenja (tj. sa procentom belih piksela). Prema tome, za dati set ispitanih papira, se može izdvojiti da paralelno savijeni uzorci gramature od 90 g/m² su pretrpeli najmanja oštećenja u toku savijanja, shodno tome imaju najmanje procenete belih piksela, koja su sitnija (posmatrajući prosečnu veličinu oštećenja), pa tako daju veći odnos obima i površine, ali dobijena oštećenja se ne raspoređuju ravnomerno po liniji prevoja, već se grupišu tako rezultirajući najmanje procentualne vrednosti distribucije od svih materijalnih uzoraka. Za razliku od njih, papiri gramature 150 g/m² imaju ravnomerno raspoređena oštećenja, koja brojčano možda nisu najznačajnija (jer 170 g/m² papiri su naviše oštećeni), ali po strukturi su najviše izraženi naspram ostalih papira savijenih paralelno.

Statističkom analizom je utvrđeno da rezolucija skeniranja nema statistički značajan uticaj na distribuciju oštećenja pri uslovima odabira površine uzorkovanja, gde su većim delom skenirane iste površine materijalnih uzoraka, ali kod fotografisanih uzoraka, gde su različiti digitalni uzorci bili analizirani, postoje određene razlike. Kod njih je utvrđena statistički značajan uticaj udaljenosti fotografisanja na izmerene vrednosti distribucije oštećenja, mada postoje gramature i smerovi savijanja ispitanih uzoraka kod kojih taj uticaj zanemarljiv.

Analizom uglova postavljanja utvrđeno je da su sa manjim unutrašnjim uglovima dobijene manje vrednosti odnosa distribucije oštećenja pri svakoj rezoluciji skeniranja i to u oba smera savijanja, dok su veće vrednosti zabeležene za veće uglove (npr. ravno postavljene uzorke, tj. ugao 180°). Posebno su interesantni rezultati za ugao 0°, kod kojeg jedva dolazi do povećanja distribucije sa porastom gramature. Takvi rezultati su bili i očekivani s obzirom na specifičnosti proračuna vrednosti distribucije za pomenuti ugao. Kada su uzorci postavljeni sa najnižim unutrašnjim uglom posle 0°, a to je ugao od 15°, pri digitalizaciji, linija prevoja je najotvorenija, a oštećenja su površinski najveća, upoređujući sa ostalim, većim uglovima. Sa povećavanjem unutrašnjeg ugla, savijeni tabaci se polako otvaraju, linija prevoja se postepeno rasterećuje i neka oštećenja se zatvaraju, tj. smanjuje im se površina po liniji savijanja (primeri na slici 6.4a-c jasno prikazuju datu situaciju). Statističkom analizom su upoređeni dobijeni rezultati distribucije po uglovima postavljanja kod sve tri metode digitalizacije. Kao generalna struktura rezultata se može izdvojiti da su vrednosti procenata distribucije kod uglova 15° - 90° grupisane i to pre svega kod poprečnih uzoraka. Za krajnje uglove postavljanja (0° i 180°) u većini slučajeva rezultati su u potpunosti izolovani od ostalih uglova, ali ne i međusobno.

Otpornost na prskanje savijenih epruveta se koristi kao referentna metoda i za ovo kvalitativno obeležje, jer prilikom ispitivanja papirnih uzoraka na prskanje po Mulenu,

veličina najvećeg pritiska zavisi i od raspoređivanja oštećenja, tj. od njihove koncentracije po liniji prevoja. Što su oštećenja više grupisana, dajući tako nižu vrednost distribucije, lakše dolazi do probijanja epruvete zbog koncentracije napona, pa potreban pritisak je takođe niži. Korelacionom analizom su utvrđene visoke vrednosti faktora determinacije za paralelne uzorke digitalizovanih fotografisanjem pri udaljenosti od 21 cm ($R^2 = 0.99$). Rezultati faktora determinacije po metodama digitalizacije se znatno razlikuju, prema tome za ovo obeležje su neophodna dodatna ispitivanja da bi se proširio set ispitanih papira sa različitim karakteristikama premaza.

8. Zaključci

Tematska oblast disertacije obuhvata ispitivanje mogućnosti unapređenja objektivnog određivanja otpornosti premaznih papira prema površinskom oštećenju u procesu savijanja pomoću računarsko potpomognutih sistema.

Prvi deo eksperimentalnih istraživanja se odnosio na izradu i digitalizaciju materijalnih uzoraka sa različitim postavkama varijabilnih parametara sistema, kao i razvoj algoritma za automatsku pripremu obradu i analizu digitalizovanih uzoraka. Gramatura i smer vlakana ispitanih papira su predstavljali kontrolne parametre pripreme uzoraka, dok ugao postavljanja uzoraka, veličina rezolucije ili udaljenost pri digitalizaciji, a konačno i sama metoda digitalizacije, bili su ispitani parametri pripreme uzoraka. Ključni momenat realizacije postavljenih ciljeva je bio definisanje novih obeležja analiziranih slika za kvantitativnu i kvalitativnu analizu strukture oštećenja premaznih papira. Predložena obeležja su procenat belih piksela, odnos obima i površine oštećenja i distribucija oštećenja. Brojčane vrednosti tih obeležja su izlazni podaci razvijenog algoritma. Drugi deo realizacije eksperimenta je uključio instrumentalno utvrđivanje relevantnih karakteristika odabranih premaznih papira kao i određivanje njihovih otpornosti prema površinskom oštećenju pomoću ispitivanja mehaničkih osobina papira. Ispitivanja relevantnih karakteristika su obuhvatila merenje gramature, debljine, sadržaja pepela, hrapavosti, zatezne čvrstoće, izduženja pri kidanju i sastava premaznog sloja. Rezultati ispitivanja osnovnih karakteristika u većini slučajeva su bili u skladu sa standardnom zahtevanih vrednosti, mada su manja odstupanja bila uočena kod gramature i kod sadržaja pepela, koja su uzeta u obzir pri analizi rezultata. Utvrđivanje otpornosti premaznih papira prema površinskom oštećenju putem ispitivanja mehaničkih osobina papira je obuhvatilo određivanje zaostale zatezne čvrstoće i otpornosti na prskanje po Mulenu (sa dve modifikovane primene). Od tri metode, samo su dve bile korišćene u funkciji referentnih metoda: zaostala zatezna čvrstoća i otpornost na prskanje nakon savijanja. Pomoću tih referentnih metoda su bile proverene mogućnosti primene predloženih obeležja digitalizovanih slika kao i podobnosti ispitanih varijabilnih parametara pripreme, digitalizacije, obrade materijalnih uzoraka i to putem analize korelacije rezultata predloženih obeležja i referentnih metoda. Pri realizaciji su korišćeni komercijalno dostupni premazni papiri, odnosno resursi adekvatno opremljene laboratorije za simulaciju realnog tehničko-tehnološkog sistema za grafičku proizvodnju.

Na osnovu dobijenih rezultata prema postavljenim ciljevima se mogu formirati sledeći zaključci:

- Uporedna analiza rezultata referentnih metoda i predloženih obeležja je ukazala na postojanje značajne korelacije između zaostale zatezne čvrstoće i obeležja procenata belih piksela, koji predstavlja kvantitativno obeležje oštećenja na premaznim papirima.
- Modifikovana metoda ispitivanja otpornosti papira na prskanje po Mulenu, koja se primenjuje nakon savijanja daje izvanredno značajne korelacije sa obeležjima odnosa obima i površine oštećenja kao i sa distribucijom oštećenja, koje predstavljaju

kvalitativne parametre za opis strukture površine oštećenja: veličinu pojedinačnih oštećenja i raspodelu tih oštećenja po posmatranoj površini.

- Sa povećanjem gramature ispitanih uzoraka povećavaju se oštećenja na premaznim papirima rezultujući smanjenu zateznu čvrstoću kao i otpornost na prskanje nakon savijanja (referentne metode), ali povećanje procenata belih piksela (obeležje za kvantitativnu analizu), smanjenje odnosa obima i površine oštećenja (prvo obeležje za kvalitativnu analizu) odnosno povećanje distribucije oštećenja (drugo obeležje za kvalitativnu analizu).
- Smer vlaknaca ima značajan uticaj na pojavu oštećenja kod premaznih papira pri savijanju. Kod paralelnih uzoraka su zabeležena manja oštećenja u odnosu na poprečne uzorke, dajući veće vrednosti zatezne čvrstoće i otpornosti na prskanje nakon savijanja, niže vrednosti procenata belih piksela i distribucije oštećenja i veće vrednosti odnosa obima i površine oštećenja.
- Referentne metode određivanja otpornosti premaznih papira prema površinskom oštećenju u procesu savijanja kao i kontrolni parametri pripreme uzoraka su ukazali da razvijeni algoritam ispunjava postavljene zahteve i da predložena obeležja, dobijenih pomoću razvijenog algoritma mogu verno prikazati nastala oštećenja. Svi predefinisani parametri izvođenja eksperimenta (boja štampe, tehnike štampe, sistem za savijanje, veličina i broj uzoraka), koji su bili definisani zbog neophodne racionalizacije izvođenja eksperimenta i bili diktirani od strane tehničkih mogućnosti, su takođe pokazali podobnim za upotrebu.
- Rezolucija skeniranja ne utiče značajno na dobijene vrednosti procenata belih piksela kao ni na vrednosti distribucije oštećenja, bez obzira na gramaturu ili smere savijanja ispitanih papira, odnosno uglova postavljanja pri digitalizaciji, pri čemu se mora istaći specifičnost primene metode skeniranja da sa iste selektovane površine se formiraju digitalni uzorci sa različitim rezolucijama. Odnos obima i površine se drastično opada sa povećanjem rezolucije, što je posledica veće frekvencije uzorkovanja pri digitalizaciji.
- Na osnovu dobijenih rezultata nije moguće jednoznačno utvrditi koja rezolucija bi najviše odgovarala jednoj objektivnoj metodi ispitivanja otpornosti premaznih papira na površinska oštećenja pri savijanju, ali iz dodatnih uslova algoritma za obradu i analizu digitalnih uzoraka se može zaključiti, da sa najnižom korišćenom rezolucijom skeniranja (1200 spi) bi se formirale najmanje, pa tako računarski najmanje zahtevne slike.
- Različite udaljenosti fotografisanja kod digitalnog fotoaparata su rezultirale značajnim razlikama između pojedinih grupa uzoraka, kako kod procenata belih piksela tako i kod distribucije oštećenja, dok za odnos obima i površine su dobijene manje ravnomerne promene u odnosu na skenirane uzorke.
- Neujednačenost uticaja udaljenosti fotografisanja na izmerene vrednosti obeležja je uzrokovana razlikama u oštrocini konačnih slika za analizu, tj. fokusu pri fotografisanju. Očekuje se da sa najmanje udaljenosti formiraju najoštrije slike, adekvatne za preciznu

analizu sadržaja digitalne slike, međutim, sa datom instrumentalnom postavkom digitalizacije (fotoaparati i objektiv) ta pretpostavka se nije mogla potvrditi u celosti.

- Različita uvećanja od 50x, 100x i 200x pri mikroskopskoj analizi nisu se pokazala adekvatnim za datu problematiku, što je utvrđeno još u preliminarnim analizama.
- Uglovi postavljanja kod sve tri metode su ukazali na postojanje izraženog diferenciranja ugla od 180° što odgovara ravno postavljenim uzorcima. Od ostalih uglova još se ugao 0° (što odgovara potpuno savijenim uzorcima) izdvaja sa značajnom razlikom, ali ne preko celog spektra ispitanih uzoraka i varijabilnih parametara.
- Za ugao 180° se može zaključiti da, iako predstavlja najjednostavniju pripremu uzoraka pri digitalizaciji (ne zahteva nikakve dodatne elemente za prihvatanje savijenih papira), ne reprezentuje realno nastala oštećenja, stoga je on neadekvatan za neku buduću primenu objektivne kontrole.
- Ugao 0° omogućava digitalizaciju više uzoraka istovremeno, što odgovara realnijoj reprezentaciji grupe ispitanih uzoraka, jer već sa jedne slike se dobija prosečna vrednost obeležja od (n) savijenih papira, međutim broj uzoraka (n) po toj digitalizaciji zavisi od gramature i debljine ispitanih papira pa tako obezbeđuje uniformne uslove ispitivanja prilikom proračuna parametara obeležja.
- Iako se ne može izdvojiti nijedan ugao postavljanja sa ultimativnim prednostima nad ostalim uglovima (adekvatna reprezentacija oštećenja, uniformna upotreba pri različitim gramaturama i statistički značajna razlika u srednjim vrednostima rezultata ispitanih obeležja za sve varijabilne parametre), ipak se može zaključiti da u cilju realnog upoređivanja rezultata iz različitih istraživanja neophodno je odabrati jedan eventualno dva ugla, pod kojim će se uzorci postavljati prilikom digitalizacije.
- Metoda digitalizacije pomoću skenera omogućila je konzistentnu strukturu dobijenih rezultata svih obeležja sa datom instrumentalnom postavkom. Prednosti date metode se ogledaju u kompaktnosti sistema za digitalizaciju i u dobijanju digitalnih uzoraka spremnih za softversku analizu neposredno nakon skeniranja, međutim postoje i nedostaci u vidu male brzine rada pri velikim rezolucijama i složenosti preciznog postavljanja uzoraka na ploču skenera radi dobijanja adekvatno oštarih zapisa digitalnih slika.
- Digitalizacija fotoaparatom sa jedne strane predstavljala zahvalnu bezkontaktnu metodu, jer cela površina uzorka se istovremeno i brzo zapisuje u digitalni oblik u *raw* formatu i to bez dugotrajnog pozicioniranja uzorka za fokusiranje, međutim, ona zahteva naknadne operacije konvertovanja i izrezivanja digitalnih uzoraka pre softverske analize. Pored navedenih nedostataka datoj metodi se takođe mora pripisati i kompleksna instrumentalna postavka korišćenog sistema u ovom istraživanju (stalak za fotoaparati, posebni uslovi osvetljenja, korišćenje objektiv) koja u velikoj meri utiče na oštrinu konačnih digitalnih uzoraka, pa tako i na rezultate ocene oštećenja premaznih papira.

- Metoda digitalizacije pomoću optičkog mikroskopa i ugrađene CCD kamere daje najdetaljniju površinu za posmatranje, ali ta prednost povlači sa sobom i nedostatke koji se ogledaju u greškama pogrešne identifikacije oštećenja na ispitanim uzorcima, jer zbog korišćenog uvećanja, uticaj neujednačenosti štampe postane vrlo značajan, kao i u tehničkim ograničenjima sistema u vidu manje površine posmatranja, nedovoljnog broja uzoraka i korišćenih uglova, odnosno u veličini digitalnog zapisa (3096 x 4140 piksela). Prema izloženim se jasno vidi da pomenuta metoda digitalizacije nije se pokazala kao adekvatna u datim uslovima ispitivanja u poređenju sa ostalim metodama.

Na osnovu dobijenih rezultata i izloženih zaključaka se može potvrditi postavljena hipoteza, da je moguće razviti model objektivne kontrole površinskih oštećenja premaznih papira u procesu savijanja kojim će se unaprediti kontrolni proces u realnim uslovima.

Kako je zbog racionalizacije istraživanja i tehničkih ograničenja pri izvođenju eksperimenta pokriveno samo jedan deo uticajnih parametara pripremnih operacija, dalji pravci istraživanja se nesporno ogledaju u ispitivanju ostalih uticajnih parametara kao što su premazni papiri sa različitim sastavima premaza, broja, redosleda i debljine tih slojeva, sa različitom smešom vlakanaca i debljine baznog papira, sa različitim tehnikama štampe kao i sistema za savijanje sa varijacijom procesnih parametara obrade i slično. Naravno i sistemi za digitalizaciju sa mogućnostima korišćenja naprednih podešavanja pri digitalizaciji takođe predstavljaju široku oblast daljih analiza. Rezultati gore spomenutih istraživanja bi trebalo da potvrde konačnu podobnost razvijenog modela i predloženih obeležja. Posebno značajan segment predstavlja adaptacija razvijenog algoritma i predloženih obeležja u integrisani sistem kontrole kvaliteta na realnim mašinama za savijanje.

9. Naučni doprinos istraživanja i mogućnosti primene u praksi

Naučni doprinos istraživanja kao i značajnost rezultata se ogleda u unapređenju trenutno primenjene objektivne kontrole kvaliteta otpornosti premaznih papira prema površinskom oštećenju. Sa unapređenjem objektivne kontrole se pozitivno uticalo na uniformnost izvođenja eksperimenta i na ponovljivost dobijenih rezultata. Analizom različitih primena aktuelne vizuelne kontrole se doprinelo boljem razumevanju uticajnih parametara pripreme i digitalizacije uzoraka, kao i uticaja tih parametara na konačne rezultate digitalne analize oštećenja premaznih papira, formirajući bazu podataka o ispitanim uticajnim parametrima. Sa takvom bazom podataka prošireno je znanje i omogućen dalji razvoj primene računarskih i programskih aplikacija kao njihova integracija u proizvodne sisteme kako grafičke tako i papirne industrije.

Algoritam za pripremnu obradu i analizu digitalizovanih epruveta savijenih papira prikazan u ovoj disertaciji, kao i dva dodatna predložena obeležja za kvalitativni opis strukture oštećenja, predstavljaju originalno rešenje primene softverskog pristupa u kontrolnim procesima papirne i grafičke industrije i kao takav značajan je naučni doprinos u predmetnoj oblasti.

Mora se napomenuti, međutim, da iako razvijeni algoritam zadovoljava osnovne kriterijume postavljene u funkciji realizacije digitalne obrade slike i analize sadržaja, kao i dobijanje brojčanih vrednosti definisanih obeležja, za konkretnu primenu u realnim sistemima kontrole je neophodno izvršiti adaptaciju i optimizaciju pojedinih elemenata algoritma, ali isto tako i sinhronizaciju sa senzorskim elementom u zavisnosti od prirode primene.

10. Literatura

- Adhikari, R. S., Moselhi, O., Bagchi, A. (2012) Image based retrieval of concrete crack properties, *Gerontechnology*, 11(2), 315-321.
- Aguilar Torres, M. A., de Luna Armenteros, E., Ordóñez Fernández, R. and González Fernández, P. (2004) Digital image analysis for the estimation of cracked areas and the soil shrinkage characteristic curve in clay soils amended with composted sewage sludge, *Spanish Journal of Agricultural Research*, 2 (3), 473-479.
- Alam, P., Toivakka, M., Carlsson, R., Salminen, P., Sandås, S. (2009) Balancing between Fold-crack Resistance and Stiffness, *Journal of Composite Materials*, 43 (11), 1265-1283.
- Alam, P., Xu, Q., Toivakka, M., Hämäläinen, H. and Syrjälä, S. (2007) The Elastic Modulus Of Paper Coating In Tension And Compression, *Proceedings of TAPPI Coating and Graphic Arts Conference*, Miami, Florida, USA.
- Andersson, C. (2008) New Ways to Enhance the Functionality of Paperboard by Surface Treatment, *Packaging Technology and Science*, 21 (6), 339-373.
- Annus, S., Erdélyi, J., Kóbor, L., Szóke, A., Térpál, S. (2003) *Papíripari szaklexikon*, Papír-press egyesülés, Budapest.
- Anon. (1974) Relationship between combined board scoreline cracking and lineboard properties, Summary Report, Project 2695-17, The Institute of Paper Chemistry, Appleton, Wisconsin, USA.
- Apro, M., Novaković, D., Jasić, I. (2008) Istraživanje optimalnih radnih parametara savremenih sistema za savijanje, *Zbornik radova: Naučno – stručni simpozijum*, GRID 08 Novi Sad, Srbija, 209-216.
- Apro, M., Novaković, D., Pal, Sz. (2009a) Investigation of optimal parameter set of the objective quality estimate of folded paper, *IXth Seminar in Graphic Arts*, Pardubice, Czech Republic, 99-104.
- Apro, M., Novaković, D., Pal, Sz. (2009b) Objective fold quality evaluation, in: *Proceedings of "Blaž Baromić" International Conference on printing, design and graphic communications*, Senj, Croatia, 21-24.
- Apro, M., Novaković, D., Pal, Sz. (2011) Evaluation of image segmentation algorithms for folded substrate analysis, in: *Advances in Printing and Media Technology*, Vol. XXXVIII, Edited by: N. Enlund and M. Lovreček, 209-217.
- Apró, M., Novaković, D., Pál, Sz., Dedijer, S., Milić, N. (2013) Colour space selection for entropy-based image segmentation of folded substrate images, *Acta Polytechnica Hungarica – Journal of Applied Sciences*, 10 (1), 43-62.
- Argaw, G. A. (2007) Sugar crystal size characterization using digital image processing, PhD thesis, University of KwaZulu-Natal, Durban, South Africa, [Online] Dostupno na: http://researchspace.ukzn.ac.za/xmlui/bitstream/handle/10413/1490/Argaw_Getachew_Abebe_2007.pdf?sequence=1 [Pristupljeno: 14.3.2013.]
- Barbaric-Mikocevic, Z., Plazonic, I., and Dzimbeg-Malcic, V. (2013) The deinkability improvement of offset prints made from a two-side coated substrate, *BioResources*, 8 (1), 557-570.
- Barbier, C., Larsson, P.-L., Östlund, S. (2002) Experimental investigation of damage at folding of coated papers, *Nordic Pulp and Paper Research Journal*, 17 (1), 34-38.

- Barbier, C., Larsson, P.-L., Östlund, S. (2003) Folding of printed papers: experiments and numerical analysis, Proceedings of International Paper Physics Conference 2003, IPPC, Victoria, Canada, 193-196.
- Barbier, C., Larsson, P.-L., Östlund, S. (2005a) Numerical investigation of folding of coated papers, *Compositie Structures*, 67 (4), 383-394.
- Barbier, C., Larsson, P.-L., Östlund, S. (2005b) On dynamic effects at folding of coated papers, *Composite Structures*, 67 (4), 395-402.
- Barbier, C., Rättö, P., Hornatowska, J. (2012) Coating models for an analysis of cracking behaviour between folded paper and creased board, 12th TAPPI Advanced Coating Fundamentals Symposium, Atlanta GA, USA.
- Barbieri, L., de Arruda, G. F., Rodrigues, F.A., Bruno, O. M., da F. Costa, L. (2011) An entropy-based approach to automatic image segmentation of satellite images, *Physica A*, 390 (3), 512–518.
- Bergman, L. Verikas, A., Bacauskiene, M. (2005) Unsupervised colour image segmentation applied to printing quality assessment, *Image and Vision Computing*, 23 (4), 417-425.
- Bialas, M., Majerus, P., Herzog, R., Mroz, R. (2005) Numerical simulation of segmentation cracking in thermal barrier coatings by means of cohesive zone elements, *Materials Science and Engineering: A*, 412 (1-2), 241-251.
- Blackledge, J. M. (2005) *Digital image processing - Mathematical and computational methods*, Horwood publishing.
- Bojković, Z., Martinović, D. (2011) *Osnove multimedijalnih tehnologija - udžbenik*, Visoka škola elektrotehnike i računarstva strukovnih studija, Beograd.
- Brandon, D. and Kaplan, W. D. (2008) *Microstructural Characterization of Materials*, 2nd Edition, John Wiley & Sons Ltd.
- Canon (nd-a) Canon CanoScan 5600F – tehnička dokumentacija, [Online] Dostupno na: http://www.canon.rs/For_Home/Product_Finder/Scanners/Flatbed/canoscan_5600F, [Pristupljeno: 10.2.2014.]
- Canon (nd-b) Canon EOS 550D – tehnička dokumentacija, [Online] Dostupno na: http://www.canon.rs/For_Home/Product_Finder/Cameras/Digital_SLR/EOS_550D, [Pristupljeno: 10.2.2014.]
- Carlsson, L., Fellers, C., Westerlind, B. (1982) Finite element analysis of the Creasing and Bending of Paper, *Svensk Papperstidning*, 85, 121-126.
- Chen, Z. and Hutchinson, T. C. (2010) Image-Based Framework for Concrete Surface Crack Monitoring and Quantification, *Advances in Civil Engineering*, 2010, 1-19.
- Cheng, H., Jiang, X., Sun, Y., Wang, J. (2001) Color image segmentation: advances and prospects, *Pattern Recognition*, 34 (12), 2259-2281.
- Chinga-Carrasco, G. (2002) Structural studies of LWC paper coating layers using SEM and image analysis techniques, PhD thesis, Norwegian University of Science and Technology, Department of Chemical Engineering, [Online] Dostupno na: http://www.chemeng.ntnu.no/thesis/download/2002/Chinga_Gary/GaryChingasPhDUUpdated.pdf [Pristupljeno: 25.8.2013.]
- Chinga-Carrasco, G., Kauko, H., Myllys, M., Timonen, J., Wang, B., Zhou, M., Fossum, J.O. (2008) New advances in the 3D characterization of mineral coating layers on paper, *Journal of Microscopy*, 232 (2), 212–224.

- Chinga-Carrasco, G. (2011) Microscopy and computerized image analysis of wood pulp fibres multiscale structures, Microscopy Book Series. Edited by Méndez-Vilas A. and Díaz J. Formatex, 2182- 2189.
- Choi, D. D., Lavrykov, S. A., Ramarao, B. V. (2012) Delaminating in the scoring and folding of paperboard, TAPPI journal, 11 (1), 61-66.
- Colley, J. (1982a) The creasing cracking tendency of light-weight coated magazine papers part I: development of test method, Appita, 35 (4), 299-302.
- Colley, J. (1982b) The creasing cracking tendency of light-weight coated magazine papers part II: factors affecting crease cracking tendency, Appita, 35 (6), 499-504.
- Conceicao, S., Santos, N.F., Velho, J., Ferreira, J.M.F. (2005) Properties of paper coated with kaolin: The influence of the rheological modifier, Applied Clay Science, 30 (3-4), 165–173.
- Corscadden, K. W. and Trepanier, R. J. (2006) Online Measurement of Dirt Specks in Sheets, in: Proceedings of Engineering, Pulping, and Environmental Conference, 5-8 November, 2006, Atlanta, Georgia, USA, 476-486.
- Cvetković, D. (2006) Računarska grafika, CET, Beograd.
- Czichos, H., Saito, T., Smith, L. (2006) Handbook of Materials Measurement Methods, Springer.
- Dahlström, C., Uesaka, T., Norgren, M. (2008) Base Sheet Structures that Control Coating Uniformity: Effects of Length Scale, in Proceedings of 10th Advanced Coating Fundamentals Symposium, TAPPI, Quebec, Montreal, Canada, June 2008, 124-133.
- Dahlström, C. (2012) Quantitative microscopy of coating uniformity, PhD thesis, Mid Sweden University, Department of Natural Sciences, Engineering and Mathematics, Sweden, [Online] Dostupno na: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:534006/FULLTEXT01.pdf> [Pristupljeno: 20.06.2013.]
- Donoser, M., Wiltsche, M., Bischof, H., Bauer, W. (2005) Paper Coating Layer Analysis based on Computer Vision Methods, Proceedings of 7th International Conference on Quality Control by Artificial Vision, Nagoya, Japan, [Online] Dostupno na: http://www.icg.tugraz.at/Members/donoser/QCAV_2005.pdf [Pristupljeno: 12.12.2013]
- Drobchenko, A., Kamarainen, J-K., Lensu, L., Vartiainen, J., Kälviäinen, H., Eerola, T. (2011) Thresholding-based detection of fine and sparse details, Front. Electr. Electron. Eng. China, 6(2), 328–338.
- Efford, N. (2000) Digital Image Processing - A Practical Introduction Using Java, Pearson Education Limited, Essex, England.
- Ek, M., Gellerstedt, G., Henriksson, G. (2009) Paper Products Physics and Technology, Pulp and Paper Chemistry and Technology Volume 4, de Gruyter, Berlin
- Eklund, J., Österberg, B., Eriksson, L., Eindenvall, L. (2002) Finishing of digital prints – a failure mapping, in: Proceedings of the International Congress on Digital Printing Technologies, IS&T NIP 18, San Diego, California, USA, 712-715, [Online] Available from: www.t2f.nu/t2frapp_f_56.pdf [Pristupljeno: 05.05.2008.]
- Englund, C. Verikas, A. (2008) Ink feed control in a web-fed offset printing press, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 39 (9-10), 919-930.
- Fahlcrantz, C.-M (2005) On the evaluation of print mottle, PhD thesis, KTH, School of Computer Science and Communication, Stockholm, Sweden, [Online] Dostupno na: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:14329/FULLTEXT01.pdf>, [Pristupljeno: 18.02.2014.]
- Fedrigoni, (nd), tehnička dokumentacija za Symbol Freelifa Gloss premazni papir, [Online] Dostupno na:

- http://www.fedrigoni.de/cms/upload/Technische_Datenblaetter/Symbol/Symbol_Freelife_Gloss.pdf [Pristupljeno: 20.04.2014]
- Ferreira, T., Rasband, W. (2012) ImageJ User Guide, IJ 1.46r, Revised edition, [Online] Dostupno na: <http://imagej.nih.gov/ij/docs/guide/user-guide.pdf> [Pristupljeno: 05.10.2013.]
- Fogra (2014), Zvanična internet stranicica, Fogra - Forschungsgesellschaft Druck e.V. [Online] Dostupno na: <http://www.fogra.org/fogra-publikationen/fehlerkatalog-1-391/fehlerauswahl/> [Pristupljeno: 15.02.2014.]
- Gélinas, V., Vidal, D.(2010) Determination of particle shape distribution of clay using an automated AFM image analysis method, *Powder Technology*, 203 (2), 254-264.
- Giampieri, A., Perego, U. Borsari, R. (2011) A constitutive model for the mechanical response of the folding of creased paperboard, *International Journal of Solids and Structures*, 48 (16-17), 2275-2287.
- Gidlöf, V., Granäs, J., Dahlström, M. (2004) Functionality in Digital Packaging Printing, in: *Proceedings of the TAGA conference, San Antonio, Texas, USA*, [Online] Dostupno na: http://www.t2f.nu/t2frapp_f_140.pdf [Pristupljeno: 08.05.2008.]
- Gong, R., Fleming, P. D., Rosenberger, R. (2012) Application of Wet Image Analysis on Recycled Paper Ink Elimination Evaluation, *NIP28: International Conference on Digital Printing Technologies and Digital Fabrication 2012, Quebec, Canada, September 2012*, 543-546, [Online] Dostupno na: <http://homepages.wmich.edu/~ckw8577/Application%20of%20Wet%20Image%20Analysis%20on%20Recycled%20Paper%20Ink%20Elimination%20Evaluation%20final.pdf> [Pristupljeno: 10.04.2014.]
- Gong, R. (2013) *New Approaches on Deinking Evaluations*, PhD thesis, Paper and Imaging Science and Engineering Western Michigan University, [Online] Dostupno na: <http://scholarworks.wmich.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1186&context=dissertations>, [Pristupljeno: 20.05.2014.]
- González, R. C., Woods, R. E. (2002) *Digital Image Processing*, Second edition, Prentice Hall, New Jersey.
- González, R. C., Woods, R. E., Eddinns, S.L. (2009) *Digital Image Processing Using MATLAB*, Second edition, Gatesmark Publishing.
- Graves, M. (2008) *Computer Technology Encyclopedia: Quick Reference for Students and Professionals*, Delmar, Cengage Learning, NY, USA.
- Grönfors, J. (2010) Use of fillers in paper and paperboard grades, MSc thesis, Tampere University of Applied Sciences, *International Pulp and Paper Technology*, Finland, [Online] Dostupno na: http://theseus.fi/bitstream/handle/10024/16226/Gronfors_Jarkko.pdf?sequence=1, [Pristupljeno: 18.02.2014.]
- Guyot, C., Bacquet, G., Schwob, J. M. (1992) Folding resistance of magazine papers, *Proceedings of TAPPI Coating Conference, Orlando, FL, USA, May 17-20*, 255-268.
- Heineman, G.T., Councill, W.T. (2001) *Component-Based Software Engineering: Putting the Pieces Together*, Wesley Longman Publishing Co., Inc. Boston, MA, USA.
- Hewage, R. U., Sonnadara, D. U. J. (2011) Color Image Segmentation Technique for Screen Printing, *Proceedings of the Technical Sessions*, 27, 60-67, [Online] Dostupno na: <http://www2.bibl.liu.se/liupubl/disp/disp2006/tek1050s.pdf> [Pristupljeno: 12.04.2012.]
- Holik, H. (2013) *Handbook of Paper and Board, Volume 1-2, Second, Revised and Enlarged Edition*, Wiley-VCH.

- Horizon (2004) Technical documentation, Horizon International INC, Japan.
- Huang, H., Nygård, M. (2010) A simplified material model for finite element analysis of paperboard creasing, *Nordic Pulp & Paper Research Journal*, 25 (4), 505-512.
- Huang, H., Nygård, M. (2011) Numerical and experimental investigation of paperboard folding, *Nordic Pulp & Paper Research Journal*, 26 (4), 452-467.
- Huang, H. (2012) Numerical and Experimental Investigation of Paperboard Creasing and Folding, Licentiate Thesis No. 111, KTH School of Engineering Science, Department of Solid Mechanics, BiMaC Innovation, Royal Institute of Technology, SE-100 44 Stockholm Sweden, [Online] Dostupno na: kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:403839/FULLTEXT02, [Pristupljeno: 22.04.2013.]
- Husband, J. C., Gate, L. F., Norouzi, N., Blair, D. (2009) The influence of kaolin shape factor on the stiffness of coated papers, *TAPPI Journal*, 12-17.
- ImageJ (2011) Homepage: Image Processing and Analysis in Java, Plug-ins [Online] Dostupno na: <http://rsbweb.nih.gov/ij/plugins/index.html#segmentation>, [Pristupljeno: 15.03.2011.]
- ISO 12647-2: 2004 – offset printing, 2004 - Graphic technology - Process control for the production of half-tone colour separations, proof and production prints - Part 2: Offset lithographic processes
- ISO 24790:2012 - Information technology - Office equipment - Measurement of image quality attributes for hardcopy output - Monochrome text and graphic images
- ISO 4628-1-10:2003, Paints and varnishes. Evaluation of degradation of coatings. Designation of quantity and size of defects, and of intensity of uniform changes in appearance.
- Jopson, R. N., Towers, K. (1995) Improving fold quality in coated papers and boards – the relationship between base stock and coating, *Proceedings of TAPPI Coating Conference*, Atlanta, GA, USA, 459-477.
- Kim, C.-K., Lim, W.-S., Lee, Y.K. (2010) Studies on the fold-ability of coated paperboard (I): Influence of latex on fold-ability during creasing/folding coated paperboard, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 16 (5), 842-847.
- Kipphan, H. (2001) *Handbook of Print Media, Technologies and Production Methods*, Springer.
- Kirwan, M. (2013) *Handbook of Paper and Paperboard Packaging Technology*, Second Edition, Wiley-Blackwell, London.
- Kritzing, J., Bauer, W., Hunziker, P., Kässberger, M. (2011) Quantification of the penetration of coating pigments into the base paper determined by automated serial sectioning, *PAPERCON 2011, TAPPI Coating Conference*, Covington, KY, USA, 01-04 May, 292-300.
- Kugge, C., Craig, V. S. J., Daicic, J. (2004) A scanning electron microscope study of the surface structure of mineral pigments, lattices and thickeners used for paper coating on non-absorbent substrates, *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, 238 (1), 1-11.
- Lee, S., Chang, L.-M., Skibniewski, M. (2006) Automated recognition of surface defects using digital color image processing, *Automation in Construction*, 15 (4), 540 – 549.
- Liebau, D., Heinze, I. (2001) *Industrielle Buchbinderei*. Paderborn. Media-Print Informationstechnologie.
- Lucia, L. A., Willett, B., Korppi-Tommola, J. (2006) Laser-induced plasma emission spectroscopy (LIPS): A useful analytical tool for the surface chemical characterization of coated paper materials, *BioResources*, 1 (1), 75-92.

- Malek, A. S. (2012) Online Fabric Inspection by Image Processing Technology, PhD thesis, Université De Haute Alsace, Mulhouse, France, [Online] Dostupno na: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00720041/document> [Pristupljeno: 24.06.2014.]
- Marques, O. (2011) Practical Image and Video Processing Using MATLAB, John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey.
- Maurer, H. W. (2009) Starch in the Paper Industry, in: Starch: Chemistry and Technology, Third Edition, Elsevier.
- McMahon, J. (2000) Modelling Coating on the Surface of Paper for Quality Assurance, MSc thesis, Trent University, Faculty of Arts and Science, Peterborough, Ontario, Canada, [Online] Dostupno na: http://www.collectionscanada.gc.ca/obj/s4/f2/dsk1/tape3/PQDD_0015/MQ48582.pdf [Pristupljeno: 24.04.2014.]
- Medina-Carnicer, R. Madrid-Cuevas, F. J. (2008) Unimodal thresholding for edge detection, Pattern Recognition 41, 2337 – 2346.
- Metz, R. (2010) Reduzierung der Falzbruchneigung von Druckpapieren durch gezielte Vorbehandlung im Falzbereich, PTS-Forschungsbericht IGF 15630, Prophylaxe/Falzbruch, Papiertechnische Stiftung PTS, München, [Online] Dostupno na: http://www.ptspaper.de/fileadmin/PTS/Dokumente/Forschung/Forschungsprojekte/IGF_15630.pdf [Pristupljeno: 14.12.2013.]
- Modgi, S., McQuaid, M. E., Englezos, P. (2006) SEM/EDX analysis of Z-direction distribution of mineral content in paper along the cross-direction, Pulp & Paper Canada 107 (5), 48-51.
- Montgomery, D. C., Runger, G.C. (2003) Applied Statistics and Probability for Engineers, Third Edition, John Wiley & Sons, Inc.
- Nacereddine, N., Hamami, L., Tridi, M. and Oucief, N. (2005) Non-Parametric Histogram-Based Thresholding Methods for Weld Defect Detection in Radiography, World Academy of Science, Engineering and Technology 9, 213-217.
- Nakamura, J. (2006) Image sensors and signal processing for digital still cameras, Taylor & Francis.
- Newman, T. S. (1995) A Survey of Automated Visual Inspection, Computer Vision and Imaging Understanding, 61 (2), 231-262.
- Ng, H.-F. (2006) Automatic thresholding for defect detection, Pattern Recognition Letters, 27 (14), 1644-1649.
- Nygårds, M., Hallback, N., Just, M., Tryding, J. (2005) A finite element model for simulations of creasing and folding of paperboard, ABAQUS users' conference proceedings, Stockholm, Sweden, 373-387.
- Nygårds, M., Just, M., Tryding, J. (2009) Experimental and numerical studies of creasing of paperboard, International Journal of Solids and Structures, 46 (11-12), 2493-2505.
- Olympus (nd) Olympus BX – 51– tehnička dokumentacija, [Online] Dostupno na: <http://www.olympusmicro.com/brochures/pdfs/bx51.pdf> [Pristupljeno: 10.2.2014.]
- Pál, M., Koltai, L., Novaković, D., Dedijer, S., Draganov, S. (2012) Characterisation of fold-crack resistance of coated papers by tensile and Mullen burst test, 6. International Symposium on Graphic Engineering and Design, GRID, Novi Sad, Fakultet Tehničkih Nauka, 15-16 Novembar, 311-316.
- Pál, M., Novaković, D., Pavlović, Ž., Dedijer, S. (2013) Influence of the scanning resolution on image segmentation accuracy for an objective fold cracking evaluation, 11. Seminar in

Graphic Arts, Pardubice: University of Pardubice, Department of Graphic Arts and Photophysics, 17-18 Jun, 138-143.

- Pallant, J. (2007) Postupni vodič kroz analizu podataka pomoću SPSS-a za Windows, (verzija 15), prevod 3. Izdanja, Allen&Unvin, Mikro knjiga, Beograd.
- Park, M., Jin, J. S., Au, S. L., Luo, S., Cui Y. (2009) Automated Defect Inspection Systems by Pattern Recognition, *International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition*, 2 (2), 31-42.
- Perić, B. (2004) Poznavanje celuloze i papira, Drugo, prerađeno i dopunjeno izdanje, Građevinska knjiga a.d., Beograd.
- Plančak, M., Vilotić, D. (2007) Tehnologija plastičnog deformisanja, 2. izdanje, Edicija: Tehničke nauke – Udžbenici, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad.
- Popil, R. E. (2010) Prediction of Fold-Cracking Propensity through Physical Testing, Tappi PaperCon Conference, Atlanta, GA, USA, [Online] Dostupno na: <http://www.tappi.org/Downloads/Conference-Papers/2010/PaperCon-2010-Conference/10PAP101.aspx> [Pristupljeno: 19.08.2011.]
- Popović, M. V. (2006) Digitalna obrada slike, Akademska misao, Beograd.
- Puhakka, T., Kajato, I., Pykalainen, N. (2011) A method for measuring the in-plane compressive strength and the compression behaviour of coating layers, *TAPPI Journal*, July 2011, 29-34.
- Rättö, P., Hornatowska, J. (2010a) Dynamic aspects of crack development in coating layers, 11th TAPPI Advanced Coating Fundamentals Symposium, Munich, Germany.
- Rättö, P., Hornatowska, J. (2010b) The influence of coating colour composition on the crack area after creasing, *Nordic Pulp and Paper Research Journal*, 25 (4), 488-494.
- Rättö, P., Hornatowska, J., Changhong, X. Terasaki, O. (2011) Cracking mechanisms of clay-based and GCC-based coatings, *Nordic Pulp and Paper Research Journal*, 26 (4), 485-492.
- Rosin, P. L. (2001) Unimodal thresholding, *Pattern Recognition* 34, 2083-2096.
- Rosin, P.L., Ioannidis, E. (2003) Evaluation of global image thresholding for change detection, *Pattern Recognition Letters*, 24 (14), 2345-2356.
- Rudat, M. Dahling, D. Burkhart, H. (1993) Der Restbruchwiderstand gestrichener Offsetpapiere: Eine Aufforderung an die Papierherstellung und Drucktechnik, PTS Streicherei Symposium Proceedings, 206-212.
- Sadovnikov, A., Salmela, P., Lensu, L., Kamarainen, J.-K. and Kälviäinen, H. (2005) Mottling Assessment of Solid Printed Areas and Its Correlation to Perceived Uniformity, 14th Scandinavian Conference, SCIA 2005, Joensuu, Finland, June 19-22, 2005, 409-418.
- Sadovnikov, A. (2010) Computational evaluation of print unevenness according to human VISION, PhD thesis, Lappeenranta University of Technology, Finland, [Online] Dostupno na: <http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/66316/isbn%209789522650142.pdf?sequence=1> [Pristupljeno: 20.06.2013.]
- Salminen, P., Carlsson, R., Sandas, S., Toivakka, M., Alam, P., Roper, J. (2008a) Combined Modeling and Experimental Studies To Optimize The Balance Between Fold Crack Resistance And Stiffness For Multilayered Paper Coatings – Part 1: Introduction And Modeling Studies, Tappi PaperCon Conference, Dallas, TX, USA.
- Salminen, P., Carlsson, R., Sandas, S., Toivakka, M., Alam, P., Roper, J. (2008b) Combined Modeling and Experimental Studies To Optimize The Balance Between Fold Crack Resistance And Stiffness For Multilayered Paper Coatings – Part 2: Pilot Coater Experimental Studies, Tappi PaperCon Conference, Dallas, TX, USA.

- Sandhu, P. S., Juneja, M., Walia, E. (2011) Comparative Analysis of Edge Detection Techniques for extracting Refined Boundaries, *International Association of Computer Science & Information Technology (IACSIT)*, 3, 1-10.
- Sappi (2006) Folding and creasing, Sappi's Technical brochures, 2nd, revised edition, [Online] Dostupno na: <http://www.sappi.com/NR/rdonlyres/F3F8F3B0-89B8-4528-9684-7D40C7A5817A/0/FoldingandCreasing.pdf> [Pristupljeno: 20.04.2008.]
- Shang, H.-C., Chen, Y.-P. Yu, W.-Y., Zhou, Z.-D. (2007) Online auto-detection method and system of presswork quality, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 33 (7-8), 756-765.
- Shouche, S.P., Rastogi, P. Bhagwat, S.G., Sainis, J.K. (2001) Shape analysis of grains of Indian wheat varieties, *Computers and Electronics in Agriculture*, 33 (1), 55-76.
- Sim, K., Youn, H.J., Oh, K.-D. Hak Lae Lee, H. L., Han, C. S., Yeu, S. U., Lee, Y. M. (2012) Fold cracking of coated paper: The effect of pulp fiber composition and beatin, *Nordic Pulp and Paper Research Journal*, 27 (2), 445 – 450.
- Sinha, S. K. (2000) Automated Underground Pipe Inspection Using a Unified Image Processing and Artificial Intelligence Methodology, PhD thesis, University of Waterloo, Civil Engineering and Systems Design Engineering, Waterloo, Ontario, Canada, [Online] Dostupno na: <http://ocho.uwaterloo.ca/Research/Theses/sinhaphd.pdf> [Pristupljeno: 12.3.2013.]
- Sixta, H. (2006) *Handbook of Pulp*, Wiley-VCH.
- Smith, G. E. (2009) The Invention and early history of the CCD, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 607, 1-6.
- Solomon, C., Breckon, T. (2011) *Fundamentals of Digital Image Processing A Practical Approach with Examples in Matlab*, John Wiley & Sons.
- SRPS EN ISO 534:2008 - Papir i karton – Određivanje debljine, gustine i specifične zapremine
- SRPS H.N8.207:1983 - Ispitivanje papira, kartona i lepenke. klimatiziranje uzoraka. Standardni uslovi (23/50)
- SRPS H.N8.210:1983 - Ispitivanje papira i kartona - Određivanje otpornosti prema prskanju po Mulenu
- SRPS H.N8.212:1991 - Ispitivanje papira i kartona. uzimanje uzoraka za određivanje prosečnog kvaliteta.
- SRPS ISO 1924-1:1997 - Određivanje svojstava pri zatezanju - Metoda sa konstantnom brzinom primenjenog opterećenja
- SRPS ISO 536:1997 - Papir i karton - određivanje gramature
- SRPS ISO 8791-2:1993 - Određivanje hrapavosti/glatkosti (metode propuštanja vazduha) - Deo 2: Metoda po Bensenu
- Streckel, B., Steuernagel, B., Falkenhagen, E., Jung, E. (2003) Objective Print Quality Measurements Using a Scanner and a Digital Camera, DPP: IS&Ts International Conference on Digital Production Printing and Industrial Applications, 145-147.
- Ström, G., Hornatowska, J., Changhong, X., Terasaki, O. (2010) A novel SEM cross-section analysis of paper coating for separation of latex from void volume, *Nordic Pulp and Paper Research Journal*, 25 (1), 107-113.
- Strouthopoulos, C., Papamarkos, N. (2010) Multithresholding of mixed-type documents, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 13, 323-343.

- Sun Chemical (nd) WORLD SERIES – Sheetfed offset printing ink, Technical information, [Online] Dostupno na: <http://www.monokrousos.gr/files/World%20Series.pdf> [Pristupljeno: 14.03.2014.]
- T 211 om-93 – TAPPI, Ash in wood, pulp, paper and paperboard: combustion at 525°C
- Takemetoyo, Y., Miyauchi, H., Lacasse, M. A., Enomoto, N., Ito, A., Tanaka, K. (2007) Quantification of surface crack damage of construction sealants, in proceedings of International Conference on Building Envelope Systems and Technology, Bath, UK, 331-340.
- Tchan, J., Thompson, R.C., Manning, A. (2000) The Use of Neural Networks in an Image Analysis System to Distinguish Between Laser Prints and Their Photocopies, *Journal of Imaging Science and Technology*, 44 (2) 132-144.
- Trepanier, R. J., Jordan, B. D., Nguyen, N. G. (1998) Specific perimeter: a statistic for assessing formation and print quality by image analysis, *TAPPI JOURNAL*, 81 (10), 191-196.
- UPM (2008) Testing and selecting papers, *Printing and Paper Fact Book – Sheet-fed offset press*, Edition 1.
- UPM (2010) Recommendations for prepress and printers, Technical guide, [Online] Dostupno na: http://www.upm.com/EN/ABOUT-UPM/Downloads/Paper/Documents/UPM_Printing_Guidelines_en.pdf [Pristupljeno: 17.04.2014.]
- Verikas, A., Lundstrom, J., Bacauskiene, M., Gelzinis, A. (2011) Advances in computational intelligence-based print quality assessment and control in offset colour printing, *Expert Systems with Applications*, 38 (10) 13441-13447.
- Vrkljan, D. (2010) Karbonatne mineralne sirovine, Skripta, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, [Online] Dostupno na: http://rgn.hr/~mklanfar/nids_mklanfar/TEHNOLOGIJA%20NEMETALA/Karbonati.pdf, [Pristupljeno: 01.04.2014.]
- Wibowo, H. I. A. (2010) Rule based wood knot defect image classification, Master thesis, Vision and robotics, Le Creusot, France, [Online] Dostupno na: http://gradvibot.u-bourgogne.fr/2009-2010/24_wibowo.pdf [Pristupljeno: 23.09.2012.]
- Wilderberger, M., Bauer, W. (2008) Preparation and investigation of unsupported multilayer coating composites concerning their in-plane stress-strain and bending characteristics, *Proceedings of 10th Advanced Fundamentals Coatings Symposium*, Montreal, Quebec, Canada, 11-13 June 2008, 251-261. [Online] Dostupno na: https://online.tugraz.at/tug_online/voe_main2.getvolltext?pCurrPk=36162 [Pristupljeno: 19.08.2011.]
- Xia, C. Z., Hutchinson, J. W. (2000) Crack patterns in thin films, *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 48, 1107-1131.
- Yam, K. L., Papadakis, S. E. (2004) A simple digital imaging method for measuring and analyzing color of food surfaces, *Journal of Food Engineering*, 61, 137-142.
- Yang, A., Xie, Y. (2011) From Theory to Practice: Improving the Foldcrack Resistance in Industrially Produced Triple Coated Paper, *Tappi PaperCon Conference Covington, Kentucky, USA, 1845-1858*. [Online] Dostupno na: <http://www.tappi.org/Downloads/ConferencePapers/2011/2011-PaperCon-Conference/11PAP28.aspx> [Pristupljeno: 19.12.2011.]

11. Prilozi

I - MATLAB kod razvijenog algoritma

II - Tabelarni prikaz rezultata obeležja po metodama digitalizacije

III - Tabelarni prikaz rezultata statističke analize po metodama digitalizacije

IV - Tabelarni prikaz rezultata analize korelacije

Prilog I - MATLAB kod razvijenog algoritma

MATLAB kod razvijenog algoritma

```
function [white_pixel_percentage, crack_line_ratio, distribution_ratio] = final (input_folder,
input_file, output_folder, output_file)
image_name = strcat(input_folder,input_file);
red_channel_file = strcat(output_folder,'redchannel_',output_file);
tresholded_file=strcat(output_folder,'tresholded_',output_file);
detekted_line_file=strcat(output_folder,'detekted_',output_file);
edges_detected_line_file=strcat(output_folder,'edges_',output_file);
```

% učitavanje slike i izdvajanje crvenog kanala

```
original_RGB = imread(image_name);
Redchannel=original_RGB (:,:,1);
imwrite(Redchannel,red_channel_file,'BMP');
[Redchannel_indexed,map]=imread(red_channel_file);
grey_original=ind2gray(Redchannel_indexed,map);
```

% provera formata

```
[height, width] = size(grey_original);
if width > height;
    grey_I = imrotate(grey_original,90);
else
    grey_I = grey_original;
end
[height, width] = size(grey_I);
```

% segmentacija – Otsu algoritam

```
threshold = graythresh(grey_I);
I = im2bw(grey_I,threshold);
imwrite(I,tresholded_file,'BMP');
```

% određivanje srednje vrednosti širine maske

```
crop_height = round(height/10);
cropped_I_1 = imcrop (I, [0 0 width crop_height]);
cropped_I_2 = imcrop (I, [0 crop_height width crop_height-1]);
cropped_I_3 = imcrop (I, [0 2*crop_height width crop_height-1]);
cropped_I_4 = imcrop (I, [0 3*crop_height width crop_height-1]);
cropped_I_5 = imcrop (I, [0 4*crop_height width crop_height-1]);
cropped_I_6 = imcrop (I, [0 5*crop_height width crop_height-1]);
cropped_I_7 = imcrop (I, [0 6*crop_height width crop_height-1]);
cropped_I_8 = imcrop (I, [0 7*crop_height width crop_height-1]);
cropped_I_9 = imcrop (I, [0 8*crop_height width crop_height-1]);
cropped_I_10 = imcrop (I, [0 9*crop_height width crop_height-1]);
hist_zonak = [(sum (cropped_I_1, 1)); (sum (cropped_I_2, 1)); (sum (cropped_I_3, 1)); (sum
(cropped_I_4, 1)); (sum (cropped_I_5, 1)); (sum (cropped_I_6, 1)); (sum (cropped_I_7, 1)); (sum
(cropped_I_8, 1)); (sum (cropped_I_9, 1)); (sum (cropped_I_10, 1))];
[KP_o, index_o] = max(hist_zonak');
hist_treshold_v = KP_o ./ 2;
hist_maszkolo = zeros (10, width);
min_i = [-1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1];
max_i = [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0];
for n=1:10
    for i=1:width
```

```

    if hist_zonak (n,i) > hist_treshold_v (n)
        hist_maszkolo (n,i)= hist_zonak (n,i);
        if min_i (n) == -1
            min_i (n) = i;
        end
        max_i (n) = i;
    end
end
end
whitecount_zones = sum (hist_zonak, 2);
whitecount = sum(sum(I));
hist_thres_width_average = round(((sum ((max_i - min_i)* whitecount_zones)) /
whitecount)+width*0.1);
% +width*0.1 - za skenirane i za fotografisane uzorke
% +width*0.05 - za mikroskopske slike

% detekcija linije Hough-ovom transformacijom i koordinate
[H, T, R] = hough(I);
P = houghpeaks(H,2);
lines = houghlines(I,T,R,P,'FillGap',1000,'MinLength',3);
max_len = 0;
for k = 1:length(lines)
    xy = [lines(k).point1; lines(k).point2];
    len = norm(lines(k).point1 - lines(k).point2);
    if ( len > max_len)
        max_len = len;
        xy_long = xy;
    end
end
x_1 = xy_long (1,1);
y_1 = xy_long (1,2);
x_2 = xy_long (2,1);
y_2 = xy_long (2,2);
K = (y_2 - y_1)/(x_2 - x_1);
L = y_1-x_1*(y_2 - y_1)/(x_2 - x_1);

% maskiranje detektovane linije savijanja
detekted_line = zeros (height, width);
for a = 1:height
    if x_1 == x_2
        x_center = x_1;
    else
        x_center = (a - L)/K;
    end
    for b = 1:width
        if b <(x_center - hist_thres_width_average/2) || b >(x_center + hist_thres_width_average/2);
            detekted_line (a,b)= 0;
        else
            detekted_line (a,b) = I (a,b);
        end
    end
end
imwrite(detekted_line,detekted_line_file,'BMP');
% procenat belih piksela (A)
blackcount = sum(sum(I == 0));
whitecount = sum(sum(I));

```



```

whitecount_detekted_line = sum(sum(detekted_line)); % za ugao 0° ovo ne treba
white_pixel_percentage = (whitecount_detekted_line / (whitecount + blackcount))*100; % za
ugao 0° ovo ne treba

```

% odnos obima i površine oštećenja (B)

```

edges_detekted_line = zeros (height,width);
for a = 2:height-1
    sum_sum = -1;
    sum1 = 0;
    sum2 = 0;
    sum3 = 0;
    for b = 2:width-1
        if detekted_line (a,b)== 1
            if sum_sum == -1
                sum1= sum (detekted_line(a-1:a+1, b-1));
                sum2= sum (detekted_line(a-1:a+1, b));
                sum3= sum (detekted_line(a-1:a+1, b+1));
                sum_sum = sum1 + sum2 + sum3;
            else
                sum_sum = sum_sum - sum1;
                sum1= sum2;
                sum2= sum3;
                sum3= sum (detekted_line(a-1:a+1, b+1));
                sum_sum = sum_sum + sum3;
            end
            if (sum_sum > 2) && (sum_sum < 9)
                edges_detekted_line (a,b) = 1;
            end
            else
                sum_sum = -1;
            end
        end
    end
end
crack_edge_lenght = sum(sum(edges_detekted_line));
crack_line_ratio = crack_edge_lenght / whitecount_detekted_line; % za sve uglove osim 0°
imwrite(edges_detekted_line,edges_detected_line_file,'BMP');

```

% distribucija oštećenja (C) – za sve uglove osim 0°

```

toreseloszlas = sum (detekted_line, 2);
average = mean (toreseloszlas);
limit = 0.8* average;
abovelimit = 0;
for h = 1:height
    if toreseloszlas(h) > limit
        abovelimit = abovelimit + 1;
    end
end
distribution_ratio = (abovelimit / height)*100;
end

```

% distribucija oštećenja (C) – za ugao 0°

```

[height, width] = size(I);
crop_width = round(width/4);
crop_height = round(height/25);

```

```

toreseloszlas = zeros (4, 25);
for width = 1:4
    for height = 1:25
        origin_x = (width - 1) * crop_width + 1;
        origin_y = (height - 1) * crop_height + 1;
        cropped_image= imcrop (I, [origin_x origin_y crop_width-1 crop_height-1]);
        toreseloszlas (width, height) = sum (sum(cropped_image));
    end
end
average = mean(mean(toreseloszlas));
limit = average;
abovelimit = 0;
for width = 1:4
    for height = 1:25
        if toreseloszlas(width, height) > limit
            abovelimit = abovelimit + 1;
        end
    end
end
distribution_ratio = (abovelimit / (4*25)) *100;
end

```

Prilog II - Tabelarni prikaz rezultata obeležja po metodama digitalizacije

Skenirani uzorci

Tabela II.1 – Rezultati paralelno i poprečno savijenih uzoraka skeniranih sa rezolucijom od 1200 spi

Uglovi	Uzorci									
	90 g/m ²		115 g/m ²		130 g/m ²		150 g/m ²		170 g/m ²	
	% belih pikslea	KV [%]	% belih pikslea	KV [%]	% belih pikslea	KV [%]	% belih pikslea	KV [%]	% belih pikslea	KV [%]
	Paralelno savijeni uzorci									
0°	1.61955	9.48	2.45356	8.41	2.48837	11.55	3.20396	12.06	3.45776	9.85
15°	1.33553	36.25	1.64940	28.41	1.72464	15.80	2.30327	15.34	2.83636	21.68
30°	1.16061	33.37	1.53994	26.09	1.59811	17.77	2.22898	11.94	2.45640	11.35
45°	0.87942	47.37	1.53710	17.10	1.68702	20.34	2.04545	16.37	2.51380	19.17
60°	0.79133	43.55	1.37525	32.07	1.38740	25.91	1.84464	17.13	2.22622	21.43
90°	0.73289	34.88	1.40914	24.86	1.20660	21.27	1.64636	19.44	1.85295	13.80
180°	0.31905	67.54	0.63894	30.78	0.68886	29.65	0.92568	23.68	0.88762	36.96
-	Poprečno savijeni uzorci									
0°	2.59800	13.43	3.12878	5.72	3.89610	5.09	4.35307	4.63	4.84592	8.12
15°	1.91280	20.97	2.61008	22.66	2.94019	10.58	4.28045	10.44	4.78366	15.34
30°	1.86668	18.76	2.48214	23.01	2.95496	9.46	3.86648	7.68	4.66461	16.12
45°	1.86318	17.82	2.31864	25.79	3.17530	14.18	3.60086	12.05	4.49101	14.52
60°	1.70411	13.96	1.91846	22.34	2.75591	16.11	3.59091	12.76	4.17150	17.95
90°	1.62256	17.41	1.83080	32.64	2.53450	16.52	3.24957	19.09	3.50230	16.12
180°	0.45177	41.06	0.60520	38.74	0.98107	18.93	0.87812	21.07	0.91927	22.31

Tabela II.2 - Rezultati paralelno i poprečno savijenih uzoraka skeniranih sa rezolucijom od 2400 spi

Uglovi	Uzorci									
	90 g/m ²		115 g/m ²		130 g/m ²		150 g/m ²		170 g/m ²	
	% belih pikslea	KV [%]	% belih pikslea	KV [%]	% belih pikslea	KV [%]	% belih pikslea	KV [%]	% belih pikslea	KV [%]
	Paralelno savijeni uzorci									
0°	1.55992	10.99	2.39175	8.95	2.36718	11.27	3.13303	12.47	3.37387	10.65
15°	1.32166	36.10	1.66581	30.33	1.71746	15.38	2.28101	15.22	2.84221	20.79
30°	1.08131	40.68	1.52727	23.91	1.59066	17.47	2.21709	12.11	2.48112	12.93
45°	0.87112	47.10	1.51475	16.47	1.67486	19.80	2.08216	14.53	2.49754	19.09
60°	0.78879	43.00	1.34826	33.09	1.39575	26.55	1.88812	20.16	2.23858	21.61
90°	0.73331	34.83	1.42376	22.10	1.19678	21.03	1.62468	21.08	1.92473	19.91
180°	0.32091	66.51	0.68754	29.20	0.70142	27.26	0.93090	23.52	0.88569	36.64
-	Poprečno savijeni uzorci									
0°	2.59001	13.45	3.10819	7.16	3.86928	5.96	4.45308	6.37	4.82061	8.13
15°	1.89519	21.39	2.54273	23.77	3.01291	15.71	4.29738	11.32	4.76259	15.46
30°	1.89478	19.21	2.45127	22.54	2.98283	11.78	3.84325	7.76	4.60763	16.27
45°	1.84780	20.81	2.31030	26.03	3.14186	14.09	3.49437	6.24	4.52616	16.75
60°	1.72916	16.90	1.95067	23.66	2.72659	15.99	3.57483	11.79	4.18833	18.52
90°	1.57920	20.78	1.82060	29.58	2.51610	16.70	3.24331	17.91	3.47231	15.71
180°	0.43826	38.38	0.60432	41.01	0.97883	19.23	0.84196	17.50	0.91701	22.51

Tabela II.3 - Rezultati paralelno i poprečno savijenih uzoraka skeniranih sa rezolucijom od 4800 spi

Uglovi	Uzorci									
	90 g/m ²		115 g/m ²		130 g/m ²		150 g/m ²		170 g/m ²	
	% belih pikslea	KV [%]	% belih pikslea	KV [%]	% belih pikslea	KV [%]	% belih pikslea	KV [%]	% belih pikslea	KV [%]
	Paralelno savijeni uzorci									
0°	1.56638	12.93	2.39895	10.38	2.38829	13.50	3.12641	12.98	3.35252	11.10
15°	1.38542	33.61	1.69051	27.49	1.70360	17.04	2.29093	15.17	2.73035	15.07
30°	1.10977	36.46	1.54864	24.41	1.57051	17.43	2.21004	13.01	2.52068	14.50
45°	0.86971	47.31	1.56103	18.59	1.67515	19.90	2.09204	12.87	2.49680	18.06
60°	0.78801	42.78	1.35645	31.83	1.39290	25.13	1.84048	15.95	2.23862	23.47
90°	0.74660	32.34	1.40183	23.23	1.18941	18.98	1.59778	17.06	1.82955	13.97
180°	0.34954	54.15	0.67613	26.66	0.70807	27.36	0.92805	22.08	0.88941	36.62
-	Poprečno savijeni uzorci									
0°	2.61114	13.18	3.11515	5.43	3.89000	4.81	4.44975	6.01	4.85828	8.05
15°	1.90940	21.16	2.53294	30.50	3.02049	10.24	4.28656	11.43	4.76293	15.32
30°	1.87211	16.68	2.42029	19.23	3.02368	10.33	3.80017	5.54	4.60763	16.27
45°	1.89685	16.25	2.30030	25.90	3.14938	13.96	3.53930	6.04	4.56706	16.11
60°	1.69694	13.45	1.96588	24.52	2.72175	15.19	3.64328	11.23	4.17657	18.63
90°	1.61687	17.25	1.85760	32.36	2.53606	14.93	3.24521	18.74	3.44946	16.26
180°	0.45322	37.34	0.62126	40.14	1.01281	21.21	0.84273	18.72	0.93652	21.98

Tabela II.4 - Rezultati odnosa obima i površine oštećenja na uzorcima skeniranih sa 1200 spi

Uglovi	Uzorci									
	90 g/m ²		115 g/m ²		130 g/m ²		150 g/m ²		170 g/m ²	
	Obim/ površina	KV [%]	Obim/ površina	KV [%]	Obim/ površina	KV [%]	Obim/ površina	KV [%]	Obim/ površina	KV [%]
	Paralelno savijeni uzorci									
0°	0.55656	4.64	0.46241	4.85	0.46321	10.24	0.39073	5.51	0.37361	6.35
15°	0.65843	11.92	0.60908	14.44	0.63858	9.75	0.56114	11.74	0.49951	15.58
30°	0.63878	12.00	0.64210	12.30	0.66097	10.80	0.60532	10.36	0.49824	11.35
45°	0.68021	10.76	0.61345	12.10	0.64089	10.00	0.61682	12.08	0.54337	14.89
60°	0.69787	9.45	0.61717	16.13	0.62808	10.45	0.62800	11.35	0.49348	25.36
90°	0.72659	6.27	0.59171	11.74	0.67385	12.01	0.63590	13.18	0.61923	8.97
180°	0.78156	7.33	0.73019	10.93	0.77532	7.71	0.75314	7.74	0.73873	10.45
-	Poprečno savijeni uzorci									
0°	0.47867	4.80	0.41393	6.06	0.32553	3.84	0.29837	3.61	0.27570	5.64
15°	0.63046	9.99	0.54026	15.60	0.50347	8.37	0.41069	5.69	0.31547	16.56
30°	0.62141	10.91	0.51476	14.04	0.47658	6.38	0.35067	11.92	0.32910	13.78
45°	0.59302	7.96	0.53060	13.86	0.44720	13.22	0.44292	4.65	0.34836	14.38
60°	0.65341	6.55	0.59974	10.86	0.54365	11.01	0.42930	8.91	0.37511	19.15
90°	0.65389	6.86	0.58418	13.76	0.52544	11.59	0.48333	15.84	0.38443	10.59
180°	0.82031	3.19	0.80376	6.55	0.75913	7.31	0.78876	6.43	0.79271	3.84

Tabela II.5 - Rezultati odnosa obima i površine oštećenja na uzorcima skeniranih sa 2400 spi

Uglovi	Uzorci									
	90 g/m ²		115 g/m ²		130 g/m ²		150 g/m ²		170 g/m ²	
	Obim/ površina	KV [%]	Obim/ površina	KV [%]	Obim/ površina	KV [%]	Obim/ površina	KV [%]	Obim/ površina	KV [%]
	Paralelno savijeni uzorci									
0°	0.33005	6.54	0.26161	5.80	0.26959	12.14	0.21678	6.53	0.20778	7.42
15°	0.42389	17.97	0.37807	19.42	0.41566	12.21	0.32200	13.47	0.29253	18.07
30°	0.39467	16.54	0.40380	16.73	0.44068	16.36	0.36229	12.69	0.28347	12.03
45°	0.40616	12.77	0.38337	14.43	0.42088	13.07	0.37360	14.02	0.32134	16.55
60°	0.48972	18.33	0.38486	21.39	0.40238	13.21	0.36344	16.23	0.30381	32.75
90°	0.48406	11.53	0.36356	14.77	0.44334	16.56	0.37654	15.00	0.35797	15.36
180°	0.63361	17.12	0.52328	17.62	0.55434	13.35	0.51907	12.87	0.49647	18.48
-	Poprečno savijeni uzorci									
0°	0.26374	5.63	0.22685	6.67	0.17434	3.94	0.15844	3.76	0.14628	5.99
15°	0.37881	13.13	0.32397	18.19	0.28574	9.60	0.22420	6.58	0.16603	17.09
30°	0.35895	12.66	0.29136	16.61	0.26294	6.41	0.18518	12.05	0.17426	14.64
45°	0.33938	10.59	0.30345	17.31	0.24439	14.99	0.24395	4.98	0.18773	14.93
60°	0.39570	7.90	0.35593	14.65	0.31132	9.61	0.22956	9.56	0.20310	19.92
90°	0.39311	10.11	0.33993	16.71	0.28816	13.70	0.26621	17.76	0.22238	14.27
180°	0.62460	12.07	0.58188	15.14	0.50097	11.49	0.55010	11.55	0.51771	7.29

Tabela II.6 - Rezultati odnosa obima i površine oštećenja na uzorcima skeniranih sa 4800 spi

Uglovi	Uzorci									
	90 g/m ²		115 g/m ²		130 g/m ²		150 g/m ²		170 g/m ²	
	Obim/ površina	KV [%]	Obim/ površina	KV [%]	Obim/ površina	KV [%]	Obim/ površina	KV [%]	Obim/ površina	KV [%]
	Paralelno savijeni uzorci									
0°	0.17510	7.14	0.13595	6.37	0.14207	12.76	0.11267	7.24	0.10775	7.92
15°	0.22863	20.75	0.20376	21.00	0.22948	12.96	0.16914	14.21	0.16124	14.90
30°	0.21190	16.85	0.21843	18.68	0.24499	18.15	0.18938	17.25	0.14794	12.44
45°	0.23610	17.63	0.20841	15.19	0.23214	14.13	0.20075	14.83	0.17194	15.87
60°	0.28351	23.92	0.20678	23.67	0.22050	14.21	0.19865	15.15	0.17520	17.69
90°	0.27094	13.56	0.19557	15.66	0.24750	16.79	0.20605	13.41	0.19891	17.25
180°	0.36666	18.58	0.30909	17.33	0.31774	15.59	0.29613	13.67	0.27825	21.39
-	Poprečno savijeni uzorci									
0°	0.13565	5.97	0.11691	6.74	0.08888	3.90	0.08095	3.95	0.07360	5.72
15°	0.20192	14.17	0.16697	21.09	0.14916	10.08	0.11560	6.81	0.08429	17.07
30°	0.18747	13.22	0.15168	17.62	0.13670	7.10	0.09452	12.23	0.08902	14.81
45°	0.17610	9.08	0.15877	18.56	0.12613	15.45	0.12685	5.43	0.09645	15.21
60°	0.21298	8.43	0.18911	15.57	0.16316	9.53	0.11957	9.13	0.10531	20.00
90°	0.20990	11.47	0.17728	18.28	0.14816	14.27	0.13797	18.49	0.11127	15.48
180°	0.37444	15.97	0.33767	17.54	0.27745	13.19	0.31275	13.74	0.28791	8.94

Tabela II.7 - Rezultati distribucije oštećenja po liniji prevoja na uzorcima skeniranih sa 1200 spi

Uglovi	Uzorci									
	90 g/m ²		115 g/m ²		130 g/m ²		150 g/m ²		170 g/m ²	
	Distribucija [%]	KV [%]	Distribucija [%]	KV [%]	Distribucija [%]	KV [%]	Distribucija [%]	KV [%]	Distribucija [%]	KV [%]
	Paralelno savijeni uzorci									
0°	45.550	6.35	49.000	6.75	45.700	5.59	47.700	8.28	47.350	6.33
15°	49.941	18.48	52.540	10.35	53.980	11.53	63.920	9.33	59.483	9.94
30°	45.284	12.77	50.529	10.75	55.042	9.76	63.594	5.39	62.209	7.92
45°	39.483	25.47	49.445	13.35	53.290	12.17	61.935	11.33	61.041	9.68
60°	39.738	23.45	49.721	12.50	48.455	14.07	62.875	10.18	60.339	9.91
90°	38.662	19.85	48.141	12.44	47.925	11.77	57.011	13.02	59.301	8.68
180°	22.574	46.53	37.845	15.06	44.708	15.99	48.512	9.50	45.059	7.06
-	Poprečno savijeni uzorci									
0°	48.800	7.09	49.900	7.93	51.300	7.30	50.100	4.71	50.250	5.20
15°	58.594	10.93	59.678	9.25	67.295	9.82	70.191	8.82	68.404	10.41
30°	61.837	7.94	57.549	10.30	64.857	9.26	69.268	7.92	68.052	9.63
45°	60.305	10.09	58.078	9.75	68.620	8.79	68.438	5.83	66.791	9.55
60°	57.760	11.82	56.003	13.02	64.157	10.12	66.008	7.61	64.450	12.38
90°	56.562	10.67	54.509	16.23	63.937	10.59	63.146	9.72	63.751	8.11
180°	32.225	28.44	37.033	14.60	49.145	12.17	43.765	10.27	46.795	13.52

Tabela II.8 - Rezultati distribucije oštećenja po liniji prevoja na uzorcima skeniranih sa 2400 spi

Uglovi	Uzorci									
	90 g/m ²		115 g/m ²		130 g/m ²		150 g/m ²		170 g/m ²	
	Distribucija [%]	KV [%]	Distribucija [%]	KV [%]	Distribucija [%]	KV [%]	Distribucija [%]	KV [%]	Distribucija [%]	KV [%]
	Paralelno savijeni uzorci									
0°	45.200	5.63	48.400	7.26	45.250	5.59	47.450	8.58	47.100	6.95
15°	49.765	15.59	52.049	6.37	54.918	8.30	64.422	9.13	61.071	8.09
30°	45.145	12.56	51.314	7.95	54.918	7.77	64.862	5.50	60.345	7.35
45°	39.933	25.14	50.872	10.26	53.039	10.23	62.646	10.57	61.732	10.67
60°	41.080	15.74	48.396	11.11	49.105	12.18	60.565	11.84	60.029	9.49
90°	39.325	20.08	47.744	7.17	49.143	11.05	56.088	12.00	58.239	4.83
180°	23.870	42.03	39.564	15.22	46.406	8.55	49.037	10.29	46.082	10.02
-	Poprečno savijeni uzorci									
0°	48.550	7.81	50.200	8.04	50.250	7.36	49.550	6.23	50.750	6.91
15°	57.181	9.07	59.906	9.27	67.183	6.90	69.287	6.88	67.610	9.30
30°	60.373	7.57	58.588	8.06	65.506	5.89	67.519	6.69	67.090	7.91
45°	60.096	8.03	58.223	10.10	67.490	6.64	67.693	4.68	65.523	8.59
60°	57.161	7.58	55.136	11.09	64.854	7.97	65.563	5.21	65.008	10.63
90°	56.513	6.91	54.073	11.22	62.117	7.93	62.246	7.24	62.398	8.57
180°	33.915	28.55	38.001	16.77	48.973	7.86	44.936	14.01	47.450	14.21

Tabela II.9 - Rezultati distribucije oštećenja po liniji prevoja na uzorcima skeniranih sa 4800 spi

Uglovi	Uzorci									
	90 g/m ²		115 g/m ²		130 g/m ²		150 g/m ²		170 g/m ²	
	Distribucija [%]	KV [%]	Distribucija [%]	KV [%]	Distribucija [%]	KV [%]	Distribucija [%]	KV [%]	Distribucija [%]	KV [%]
	Paralelno savijeni uzorci									
0°	46.000	6.77	48.800	7.02	44.800	8.56	47.250	6.96	47.250	4.90
15°	51.191	13.68	52.789	5.67	54.126	10.07	64.988	8.09	60.467	10.02
30°	45.657	13.59	52.407	6.91	55.015	5.68	64.446	6.29	60.322	7.44
45°	40.524	24.26	50.869	9.07	53.964	7.60	62.530	9.41	61.641	8.78
60°	40.556	19.21	48.260	11.10	49.368	11.67	61.924	7.96	60.649	9.45
90°	39.444	19.35	48.147	8.65	49.571	8.86	56.161	10.85	58.426	7.01
180°	26.229	33.25	38.04826	17.87	44.948	10.25	48.735	9.12	45.058	9.27
-	Poprečno savijeni uzorci									
0°	48.950	6.64	50.600	7.41	50.500	6.38	49.550	7.62	50.100	5.72
15°	57.280	9.12	59.758	8.94	67.427	6.70	68.546	6.22	67.450	9.02
30°	60.925	7.17	58.613	7.87	65.556	3.74	67.537	6.75	67.625	7.58
45°	60.334	6.81	58.417	10.51	67.966	6.92	67.308	4.20	65.691	8.49
60°	56.643	7.01	55.140	10.16	64.991	7.44	65.334	4.72	65.268	9.07
90°	56.281	6.09	54.278	11.96	62.249	7.43	62.424	6.32	62.628	8.35
180°	34.081	28.35	38.608	15.82	48.447	6.66	46.363	6.30	47.678	8.91

Fotografisani uzorci

Tabela II.10 – Rezultati procenta belih piksela za uzorke savijenih u oba smera i fotografisanih sa 30 cm

Uglovi	Uzorci									
	90 g/m ²		115 g/m ²		130 g/m ²		150 g/m ²		170 g/m ²	
	% belih pikslea	KV [%]	% belih pikslea	KV [%]	% belih pikslea	KV [%]	% belih pikslea	KV [%]	% belih pikslea	KV [%]
	Paralelno savijeni uzorci									
0°	1.85916	8.08	2.68798	10.72	2.89999	9.26	4.06335	8.11	3.88344	10.79
15°	1.11556	28.68	1.93851	20.37	1.94590	16.81	3.18532	9.88	4.14888	10.01
30°	1.08458	41.10	1.86766	20.84	1.88661	20.32	2.78823	16.26	3.98894	16.41
45°	1.03393	56.14	1.75265	24.76	1.80119	20.31	2.83250	20.38	3.91757	13.02
60°	0.92917	56.96	1.54992	22.46	1.61061	26.34	2.27030	16.74	3.10253	17.39
90°	0.79546	39.22	1.30750	25.01	1.27447	23.45	2.23584	16.22	2.78681	21.83
180°	1.10958	34.46	1.25723	34.73	1.36007	38.53	1.33893	18.51	1.39424	23.05
-	Poprečno savijeni uzorci									
0°	2.90537	5.76	3.59068	9.57	4.11857	5.84	4.85341	3.04	5.75059	5.63
15°	2.27665	26.36	2.56859	15.47	4.05160	7.67	5.24060	5.61	5.94548	8.29
30°	2.10646	24.42	2.48376	13.63	3.79375	5.87	5.12592	7.80	5.20228	11.57
45°	1.79072	23.99	1.94050	15.34	3.57812	8.65	4.78321	9.83	4.90713	14.61
60°	1.38763	38.47	1.75810	19.57	3.22177	8.34	4.40398	19.15	4.97518	18.11
90°	1.20463	55.44	1.44108	26.32	2.65429	13.90	3.82897	10.20	3.58470	14.14
180°	0.63336	37.21	0.80245	40.40	0.83243	38.29	1.08624	23.82	1.34929	24.34

Tabela II.11 – Rezultati procenta belih piksela za uzorke savijenih u oba smera i fotografisanih sa 21 cm

Uglovi	Uzorci									
	90 g/m ²		115 g/m ²		130 g/m ²		150 g/m ²		170 g/m ²	
	% belih pikslea	KV [%]	% belih pikslea	KV [%]	% belih pikslea	KV [%]	% belih pikslea	KV [%]	% belih pikslea	KV [%]
	Paralelno savijeni uzorci									
0°	2.42866	12.67	2.44736	12.80	2.77105	8.83	4.13532	11.50	3.59543	10.46
15°	1.25985	39.45	1.70180	39.48	2.08158	31.93	3.73099	13.08	4.10475	16.58
30°	1.47006	35.21	1.79983	25.97	2.28260	26.92	3.51424	14.14	4.05974	12.68
45°	1.23779	30.13	1.68852	35.93	1.94054	19.20	3.15965	15.55	3.74824	15.24
60°	0.79940	44.05	1.41826	45.49	1.77555	31.58	2.54164	18.21	3.06136	16.56
90°	0.49277	35.86	0.94635	50.85	1.57777	30.97	2.31391	14.63	2.78064	17.17
180°	1.21362	36.31	1.35181	28.40	1.59099	15.93	1.59486	21.15	1.65678	11.94
-	Poprečno savijeni uzorci									
0°	3.02415	8.14	3.70298	6.19	4.79907	4.30	5.08177	4.18	5.62886	3.20
15°	2.29010	27.89	2.51272	16.48	4.20308	20.97	5.09916	6.56	6.08591	6.83
30°	2.18551	31.44	2.44819	17.81	3.68003	18.64	5.61247	9.36	5.69520	10.26
45°	1.90138	21.85	2.02668	19.47	3.60931	21.79	4.93648	10.25	5.02663	10.10
60°	1.60862	17.00	1.76592	24.88	3.37603	32.26	4.33825	15.20	4.33399	16.36
90°	1.17872	36.52	1.38191	18.89	2.55592	25.72	3.87548	11.44	3.98668	15.05
180°	0.78326	51.71	0.79636	45.21	1.16793	29.56	0.96921	30.62	1.51868	21.06

Tabela II.12 – Rezultati procenta belih piksela za uzorke savijenih u oba smera i fotografisanih sa 12 cm

Uglovi	Uzorci									
	90 g/m ²		115 g/m ²		130 g/m ²		150 g/m ²		170 g/m ²	
	% belih pikslea	KV [%]	% belih pikslea	KV [%]	% belih pikslea	KV [%]	% belih pikslea	KV [%]	% belih pikslea	KV [%]
	Paralelno savijeni uzorci									
0°	1.98939	9.90	2.38214	8.45	2.91153	13.71	3.94500	10.49	3.48957	8.40
15°	1.47203	35.13	1.99160	25.86	2.07508	15.54	2.97069	10.99	3.31514	12.79
30°	1.75213	29.36	2.05426	28.08	2.10366	16.69	2.85501	15.18	3.14829	12.22
45°	1.63789	28.24	1.89929	22.51	1.94401	15.99	2.51582	8.36	3.07840	12.04
60°	1.11587	34.50	1.61404	32.43	1.68204	22.25	2.22824	11.98	2.54085	14.51
90°	0.89491	30.28	1.28930	38.37	1.36751	25.34	2.01327	17.37	2.18484	17.06
180°	1.20583	27.05	1.23954	34.48	1.43225	26.95	1.54628	14.98	1.54412	15.70
-	Poprečno savijeni uzorci									
0°	2.49800	10.68	2.91399	5.79	3.21066	7.63	4.38046	8.96	5.21329	5.50
15°	2.45092	14.39	2.75592	18.12	3.80795	14.66	4.26966	10.36	4.74621	9.70
30°	2.33447	20.69	2.77331	13.46	3.63872	13.94	4.24520	6.75	4.73184	11.94
45°	2.16061	20.25	2.56794	10.89	3.49408	15.92	4.23108	10.56	4.26330	16.17
60°	1.89723	17.28	1.92716	12.85	3.41676	15.86	3.82538	11.22	3.85344	15.37
90°	1.82527	14.47	1.74608	15.34	2.79434	12.90	3.13058	12.32	2.95721	13.44
180°	0.72721	53.85	0.91755	40.01	1.26591	26.35	0.99211	37.82	1.41691	23.36

Tabela II.13 - Rezultati odnosa obima i površine oštećenja na uzorcima fotografisanih sa 30 cm

Uglovi	Uzorci									
	90 g/m ²		115 g/m ²		130 g/m ²		150 g/m ²		170 g/m ²	
	Obim/ površina	KV [%]	Obim/ površina	KV [%]	Obim/ površina	KV [%]	Obim/ površina	KV [%]	Obim/ površina	KV [%]
	Paralelno savijeni uzorci									
0°	0.54715	5.32	0.44447	5.46	0.44398	10.97	0.36758	6.74	0.36038	7.81
15°	0.61749	14.59	0.60060	11.90	0.59747	9.79	0.48384	11.69	0.38475	13.33
30°	0.58699	15.17	0.63270	13.36	0.59219	12.77	0.53774	11.41	0.40617	9.70
45°	0.64467	15.63	0.65915	13.53	0.61759	11.53	0.47702	12.22	0.39458	11.82
60°	0.65436	14.00	0.64343	11.66	0.63292	11.04	0.56660	9.78	0.43176	11.19
90°	0.66074	10.72	0.64864	15.87	0.66508	12.88	0.59045	9.46	0.48475	14.66
180°	0.70328	12.23	0.62467	14.04	0.65611	13.77	0.67787	10.45	0.69157	11.03
-	Poprečno savijeni uzorci									
0°	0.42053	8.32	0.40254	3.52	0.34217	3.75	0.29925	2.42	0.27625	5.45
15°	0.52477	15.57	0.53718	8.48	0.45755	8.19	0.32439	10.39	0.28929	8.29
30°	0.52055	12.61	0.52550	10.34	0.45286	5.38	0.34326	11.21	0.33939	12.77
45°	0.56847	10.91	0.60231	8.94	0.48379	7.88	0.36803	13.72	0.33641	16.28
60°	0.60149	12.76	0.60858	12.40	0.53626	9.53	0.40807	16.80	0.33187	19.82
90°	0.63251	11.25	0.64457	12.71	0.58800	9.55	0.45584	11.18	0.42779	11.63
180°	0.70226	9.58	0.68451	10.66	0.68949	13.31	0.62317	11.62	0.55913	11.02

Tabela II.14 - Rezultati odnosa obima i površine oštećenja na uzorcima fotografisanih sa 21 cm

Uglovi	Uzorci									
	90 g/m ²		115 g/m ²		130 g/m ²		150 g/m ²		170 g/m ²	
	Obim/ površina	KV [%]	Obim/ površina	KV [%]	Obim/ površina	KV [%]	Obim/ površina	KV [%]	Obim/ površina	KV [%]
	Paralelno savijeni uzorci									
0°	0.38897	7.69	0.33651	8.61	0.34203	8.65	0.29762	8.46	0.21485	6.54
15°	0.54555	14.55	0.41072	17.49	0.35254	15.74	0.25530	13.80	0.27854	10.77
30°	0.42948	17.04	0.35108	15.27	0.34062	14.72	0.27467	18.01	0.26275	10.52
45°	0.47484	14.92	0.36972	19.74	0.35498	14.17	0.32136	11.77	0.29428	14.24
60°	0.50982	14.15	0.43392	17.91	0.37779	16.56	0.34669	12.56	0.31163	10.42
90°	0.59593	13.58	0.42544	15.64	0.36002	17.23	0.36909	12.90	0.34803	10.40
180°	0.61345	12.65	0.56841	19.09	0.55959	12.74	0.58701	16.54	0.51300	9.13
-	Poprečno savijeni uzorci									
0°	0.34589	7.06	0.24095	4.23	0.22139	7.29	0.15044	7.51	0.16431	5.35
15°	0.45028	20.28	0.38461	11.21	0.29322	19.06	0.24296	7.81	0.21045	7.28
30°	0.45329	19.93	0.38348	11.87	0.29024	11.77	0.22866	9.43	0.22235	9.16
45°	0.45555	10.27	0.42768	13.26	0.30309	14.70	0.23791	8.52	0.25315	11.11
60°	0.49467	11.92	0.47516	13.46	0.31989	17.70	0.28314	13.94	0.29138	13.18
90°	0.53396	16.62	0.50419	11.68	0.35010	14.70	0.29628	11.33	0.30474	15.20
180°	0.64778	21.82	0.65329	15.38	0.59897	10.65	0.60546	16.82	0.49426	11.50

Tabela II.15 - Rezultati odnosa obima i površine oštećenja na uzorcima fotografisanih sa 12 cm

Uglovi	Uzorci									
	90 g/m ²		115 g/m ²		130 g/m ²		150 g/m ²		170 g/m ²	
	Obim/ površina	KV [%]	Obim/ površina	KV [%]	Obim/ površina	KV [%]	Obim/ površina	KV [%]	Obim/ površina	KV [%]
	Paralelno savijeni uzorci									
0°	0.29781	8.78	0.30827	13.40	0.26593	14.27	0.21863	18.62	0.21703	7.70
15°	0.35558	17.85	0.32205	18.69	0.32321	21.44	0.29187	18.31	0.27066	17.17
30°	0.35066	20.43	0.28997	17.40	0.31996	24.40	0.29554	18.73	0.27199	14.82
45°	0.36236	15.38	0.32588	27.88	0.34402	18.20	0.33868	11.50	0.29062	12.86
60°	0.38880	19.60	0.35808	19.90	0.38711	17.17	0.38955	13.10	0.33848	10.32
90°	0.43996	16.52	0.39105	18.13	0.37977	19.97	0.40006	12.49	0.39676	14.97
180°	0.49439	17.69	0.42997	21.24	0.40114	17.84	0.39533	16.65	0.46632	11.95
-	Poprečno savijeni uzorci									
0°	0.29984	6.86	0.27275	7.01	0.21806	6.16	0.17248	7.72	0.15745	11.29
15°	0.32054	18.58	0.27644	10.25	0.26161	19.28	0.20232	11.95	0.18823	9.35
30°	0.33957	15.76	0.26722	10.75	0.26660	13.37	0.19702	11.77	0.18860	14.55
45°	0.34279	18.09	0.30367	11.78	0.28448	16.94	0.20138	9.93	0.21624	15.62
60°	0.39001	18.29	0.35490	13.25	0.27854	17.97	0.23786	15.62	0.23072	18.80
90°	0.38361	13.68	0.35643	12.18	0.33491	12.78	0.26448	13.23	0.29655	12.44
180°	0.50081	24.34	0.45439	19.38	0.42409	13.09	0.44899	20.94	0.33904	17.70

Tabela II.16 - Rezultati distribucije oštećenja po liniji prevoja na uzorcima fotografisanih sa 30 cm

Uglovi	Uzorci									
	90 g/m ²		115 g/m ²		130 g/m ²		150 g/m ²		170 g/m ²	
	Distribucija [%]	KV [%]	Distribucija [%]	KV [%]	Distribucija [%]	KV [%]	Distribucija [%]	KV [%]	Distribucija [%]	KV [%]
	Paralelno savijeni uzorci									
0°	48.400	7.77	48.450	6.04	48.600	6.42	49.200	6.45	50.550	6.04
15°	38.742	37.67	56.059	10.65	52.871	12.94	66.016	9.88	66.801	10.55
30°	39.500	29.62	55.527	13.27	52.231	13.55	61.667	13.74	66.446	10.37
45°	35.247	36.41	52.210	16.07	52.629	12.35	61.473	13.07	64.618	7.81
60°	31.909	46.06	46.919	14.05	50.522	12.38	60.349	9.55	58.688	11.78
90°	31.516	31.06	44.758	17.90	47.097	17.65	61.070	14.38	57.129	17.54
180°	31.308	20.02	39.488	20.77	38.771	20.49	48.796	15.94	51.887	11.01
-	Poprečno savijeni uzorci									
0°	56.367	6.86	57.070	5.48	60.058	5.27	59.707	6.12	58.066	6.12
15°	56.790	7.05	59.059	7.13	71.914	5.36	75.570	8.45	69.651	8.45
30°	54.667	10.13	56.656	6.51	71.468	5.74	75.290	8.79	69.946	8.79
45°	50.946	8.86	54.081	8.32	71.366	7.97	71.715	8.04	71.091	8.04
60°	43.382	12.45	52.543	7.23	69.199	9.23	66.898	8.32	69.962	8.32
90°	38.737	12.61	46.468	10.21	65.059	5.64	67.333	7.34	62.016	7.34
180°	34.570	29.88	32.817	22.72	36.038	20.17	39.134	14.47	39.151	14.47

Tabela II.17 - Rezultati distribucije oštećenja po liniji prevoja na uzorcima fotografisanih sa 21 cm

Uglovi	Uzorci									
	90 g/m ²		115 g/m ²		130 g/m ²		150 g/m ²		170 g/m ²	
	Distribucija [%]	KV [%]	Distribucija [%]	KV [%]	Distribucija [%]	KV [%]	Distribucija [%]	KV [%]	Distribucija [%]	KV [%]
	Paralelno savijeni uzorci									
0°	47.350	7.45	47.850	4.46	47.750	5.56	49.500	5.99	49.050	5.27
15°	36.896	29.11	39.667	21.69	43.521	22.04	66.640	8.36	66.912	9.56
30°	45.153	25.84	41.530	23.08	45.614	18.82	64.803	13.98	66.448	9.34
45°	38.902	25.98	40.590	24.55	42.636	14.80	59.866	10.78	63.108	8.71
60°	29.969	27.22	34.890	33.06	36.459	24.37	52.211	13.30	59.445	14.13
90°	24.113	16.22	34.289	23.07	34.588	22.41	50.448	15.07	59.670	14.06
180°	36.187	17.70	37.194	19.59	41.537	15.11	50.234	8.74	50.661	11.11
-	Poprečno savijeni uzorci									
0°	58.594	5.91	58.066	5.95	60.468	4.72	59.707	5.07	58.476	6.91
15°	59.182	15.84	57.518	12.80	66.172	15.17	76.338	5.86	76.798	6.58
30°	59.630	15.86	58.686	11.37	62.093	15.06	77.140	5.01	76.817	5.96
45°	57.608	16.29	54.205	13.28	64.300	12.87	74.441	6.72	72.899	8.17
60°	48.686	9.26	48.777	14.36	55.153	27.52	72.219	8.04	67.097	7.63
90°	43.135	29.44	45.437	13.44	48.910	22.57	68.745	8.72	65.685	6.19
180°	30.106	47.05	36.349	23.88	45.019	15.84	43.407	20.50	46.082	13.19

Tabela II.18 - Rezultati distribucije oštećenja po liniji prevoja na uzorcima fotografisanih sa 12 cm

Uglovi	Uzorci									
	90 g/m ²		115 g/m ²		130 g/m ²		150 g/m ²		170 g/m ²	
	Distribucija [%]	KV [%]	Distribucija [%]	KV [%]	Distribucija [%]	KV [%]	Distribucija [%]	KV [%]	Distribucija [%]	KV [%]
	Paralelno savijeni uzorci									
0°	47.750	6.69	47.700	7.79	49.050	7.47	49.600	6.04	49.200	6.65
15°	49.009	26.07	50.832	21.96	53.733	21.85	61.287	8.76	63.165	8.61
30°	56.130	18.58	53.090	12.16	52.507	11.60	64.138	9.00	61.658	10.40
45°	48.800	16.72	52.448	13.71	52.408	10.50	58.733	11.30	60.881	6.22
60°	40.620	24.15	45.593	14.53	48.167	13.71	60.189	10.75	57.393	10.94
90°	37.495	23.59	43.772	22.56	44.711	15.17	57.231	8.36	60.408	7.15
180°	36.355	11.06	34.978	24.49	44.187	11.98	52.520	7.85	54.699	8.19
-	Poprečno savijeni uzorci									
0°	57.187	6.67	57.246	5.11	58.945	6.68	58.887	6.55	59.062	6.35
15°	61.940	5.83	59.793	8.02	69.878	6.33	70.448	6.69	72.707	6.14
30°	61.785	8.56	63.399	7.26	68.723	6.12	71.920	4.83	68.738	7.00
45°	61.419	9.87	59.323	9.19	70.520	6.25	71.330	6.73	67.839	8.55
60°	55.824	9.29	54.447	8.00	67.463	8.95	68.374	6.32	64.950	8.06
90°	54.348	4.34	51.424	6.80	63.728	8.80	64.148	5.83	60.212	9.30
180°	35.067	35.92	39.943	22.35	49.272	12.35	43.137	16.30	42.901	16.16

Mikroskopski snimci

Tabela II.19 – Rezultati procenta belih piksela, mikroskopski snimci

Uglovi	Uzorci									
	90 g/m ²		115 g/m ²		130 g/m ²		150 g/m ²		170 g/m ²	
	% belih pikslea	KV [%]	% belih pikslea	KV [%]	% belih pikslea	KV [%]	% belih pikslea	KV [%]	% belih pikslea	KV [%]
	Paralelno savijeni uzorci									
90°	2.74199	21.05	3.19196	13.58	3.83186	15.66	3.56541	12.49	4.55201	29.18
180°	3.38911	7.87	4.25362	12.84	5.46854	19.13	3.95143	14.76	3.66214	16.91
-	Poprečno savijeni uzorci									
90°	3.51566	25.73	3.70303	23.46	4.00627	14.38	4.12016	25.45	4.32677	21.50
180°	3.17376	13.93	2.92455	5.79	3.28071	18.31	3.45595	21.41	3.45882	10.47

Tabela II.20 – Rezultati odnosa obima i površine oštećenja, mikroskopski snimci

Uglovi	Uzorci									
	90 g/m ²		115 g/m ²		130 g/m ²		150 g/m ²		170 g/m ²	
	Obim/površina	KV [%]	Obim/površina	KV [%]	Obim/površina	KV [%]	Obim/površina	KV [%]	Obim/površina	KV [%]
	Paralelno savijeni uzorci									
90°	0.19797	24.07	0.15279	20.08	0.13690	16.23	0.12510	27.06	0.11027	42.82
180°	0.26982	18.34	0.26818	15.86	0.23257	18.59	0.20089	17.94	0.19859	19.36
-	Poprečno savijeni uzorci									
90°	0.11430	28.89	0.12207	13.02	0.09195	13.57	0.08816	28.10	0.08184	22.41
180°	0.23765	14.36	0.19678	19.13	0.21966	9.92	0.21240	20.23	0.21879	16.47

Tabela II.21 – Rezultati distribucije oštećenja po liniji prevoja, mikroskopski snimci

Uglovi	Uzorci									
	90 g/m ²		115 g/m ²		130 g/m ²		150 g/m ²		170 g/m ²	
	Distribucija [%]	KV [%]	Distribucija [%]	KV [%]	Distribucija [%]	KV [%]	Distribucija [%]	KV [%]	Distribucija [%]	KV [%]
	Paralelno savijeni uzorci									
90°	60.957	7.72	61.349	8.26	65.972	9.10	66.834	4.97	67.806	6.86
180°	60.273	9.37	62.081	5.78	62.854	7.95	61.639	5.88	62.020	6.21
-	Poprečno savijeni uzorci									
90°	64.937	6.97	67.278	5.82	70.673	8.76	65.197	7.93	72.499	6.93
180°	59.333	6.46	60.297	5.78	57.824	3.31	59.612	6.19	58.920	4.90

Prilog III - Tabela prikaz rezultata statističke analize po metodama digitalizacije

Skenirani uzorci

Precenat belih piksela

Tabela III.1 - Test homogenosti varijanse podgrupa s obzirom na rezoluciju skeniranja - paralelno (MD) i poprečno (CD) savijeni uzorci - procenat belih piksela

Uzorci	Leveneova statistika	df1	df2	Veličina značajnosti	Uzorci	Leveneova statistika	df1	df2	Veličina značajnosti
MD_90_0	1.085	2	57	.345*	CD_90_0	.001	2	57	.999*
MD_115_0	.318	2	57	.729*	CD_115_0	.454	2	57	.637*
MD_130_0	.402	2	57	.671*	CD_130_0	.298	2	57	.744*
MD_150_0	.022	2	57	.978*	CD_150_0	1.073	2	57	.349*
MD_170_0	.100	2	57	.905*	CD_170_0	.010	2	57	.990*
MD_90_15	.085	2	57	.919*	CD_90_15	.003	2	57	.997*
MD_115_15	.148	2	57	.863*	CD_115_15	.693	2	57	.504*
MD_130_15	.302	2	57	.740*	CD_130_15	1.491	2	57	.234*
MD_150_15	.008	2	57	.992*	CD_150_15	.175	2	57	.840*
MD_170_15	2.089	2	57	.133*	CD_170_15	.001	2	57	.999*
MD_90_30	.152	2	57	.860*	CD_90_30	.118	2	57	.889*
MD_115_30	.074	2	57	.929*	CD_115_30	.273	2	57	.762*
MD_130_30	.029	2	57	.972*	CD_130_30	.271	2	57	.763*
MD_150_30	.095	2	57	.910*	CD_150_30	.983	2	57	.381*
MD_170_30	.183	2	57	.833*	CD_170_30	.000	2	57	1.000*
MD_90_45	.006	2	57	.994*	CD_90_45	.276	2	57	.760*
MD_115_45	.479	2	57	.622*	CD_115_45	.004	2	57	.996*
MD_130_45	.022	2	57	.978*	CD_130_45	.009	2	57	.991*
MD_150_45	.502	2	57	.608*	CD_150_45	2.388	2	57	.101*
MD_170_45	.021	2	57	.979*	CD_170_45	.098	2	57	.907*
MD_90_60	.007	2	57	.993*	CD_90_60	.377	2	57	.688*
MD_115_60	.079	2	57	.924*	CD_115_60	.123	2	57	.884*
MD_130_60	.085	2	57	.919*	CD_130_60	.098	2	57	.906*
MD_150_60	.310	2	57	.734*	CD_150_60	.261	2	57	.771*
MD_170_60	.063	2	57	.939*	CD_170_60	.139	2	57	.870*
MD_90_90	.103	2	57	.902*	CD_90_90	.277	2	57	.759*
MD_115_90	.064	2	57	.938*	CD_115_90	.068	2	57	.934*
MD_130_90	.071	2	57	.932*	CD_130_90	.250	2	57	.779*
MD_150_90	.986	2	57	.379*	CD_150_90	.033	2	57	.968*
MD_170_90	2.092	2	57	.133*	CD_170_90	.038	2	57	.963*
MD_90_180	.390	2	57	.679*	CD_90_180	.248	2	57	.781*
MD_115_180	.106	2	57	.900*	CD_115_180	.122	2	57	.885*
MD_130_180	.013	2	57	.987*	CD_130_180	.553	2	57	.578*
MD_150_180	.053	2	57	.948*	CD_150_180	.213	2	57	.809*
MD_170_180	.002	2	57	.998*	CD_170_180	.006	2	57	.994*

*Potvrđena homogenost varijanse grupe

Tabela III.2 – ANOVA - podgrupe po rezoluciji skeniranja - paralelno (MD) i poprečno (CD) savijeni uzorci - procenat belih piksela

Uzorci	Suma kvadrata			Stepen slobode			F vrednost	Veličina značajnosti
	Između grupa	Unutar grupa	Ukupno	Između grupa	Unutar grupa	Ukupno		
MD_90_0	.043	1.786	1.829	2	57	59	.683	.509
MD_115_0	.046	2.857	2.903	2	57	59	.456	.636
MD_130_0	.168	4.899	5.066	2	57	59	.975	.383
MD_150_0	.074	8.870	8.944	2	57	59	.237	.789
MD_170_0	.124	7.289	7.413	2	57	59	.484	.619
MD_90_15	.045	12.899	12.944	2	57	59	.099	.906
MD_115_15	.017	13.126	13.143	2	57	59	.037	.964
MD_130_15	.005	4.369	4.373	2	57	59	.030	.971
MD_150_15	.005	6.956	6.961	2	57	59	.020	.980
MD_170_15	.159	17.036	17.194	2	57	59	.265	.768
MD_90_30	.065	9.639	9.703	2	57	59	.191	.827
MD_115_30	.005	8.316	8.320	2	57	59	.016	.984
MD_130_30	.008	4.424	4.432	2	57	59	.053	.949
MD_150_30	.004	4.287	4.291	2	57	59	.024	.976
MD_170_30	.042	5.972	6.014	2	57	59	.201	.819
MD_90_45	.001	9.712	9.713	2	57	59	.003	.997
MD_115_45	.021	4.094	4.115	2	57	59	.149	.862
MD_130_45	.002	6.438	6.440	2	57	59	.009	.992
MD_150_45	.024	5.246	5.270	2	57	59	.131	.878
MD_170_45	.004	12.595	12.599	2	57	59	.008	.992
MD_90_60	.000	6.601	6.601	2	57	59	.001	.999
MD_115_60	.008	11.020	11.027	2	57	59	.020	.980
MD_130_60	.001	7.394	7.394	2	57	59	.003	.997
MD_150_60	.028	6.286	6.314	2	57	59	.126	.882
MD_170_60	.002	14.016	14.018	2	57	59	.004	.996
MD_90_90	.002	3.590	3.592	2	57	59	.019	.981

MD_115_90	.005	6.227	6.232	2	57	59	.023	.977
MD_130_90	.003	3.423	3.426	2	57	59	.025	.976
MD_150_90	.024	5.586	5.610	2	57	59	.121	.886
MD_170_90	.098	5.274	5.373	2	57	59	.532	.590
MD_90_180	.012	2.428	2.440	2	57	59	.137	.872
MD_115_180	.026	2.118	2.144	2	57	59	.347	.708
MD_130_180	.004	2.200	2.204	2	57	59	.049	.952
MD_150_180	.000	2.621	2.621	2	57	59	.003	.997
MD_170_180	.000	6.061	6.062	2	57	59	.001	.999
CD_90_0	.005	6.871	6.875	2	57	59	.019	.981
CD_115_0	.004	2.094	2.098	2	57	59	.060	.942
CD_130_0	.008	2.423	2.431	2	57	59	.093	.911
CD_150_0	.129	3.659	3.788	2	57	59	1.006	.372
CD_170_0	.015	8.770	8.784	2	57	59	.048	.953
CD_90_15	.003	9.281	9.284	2	57	59	.011	.989
CD_115_15	.071	24.931	25.002	2	57	59	.081	.923
CD_130_15	.079	7.911	7.990	2	57	59	.283	.754
CD_150_15	.003	12.852	12.855	2	57	59	.007	.993
CD_170_15	.006	30.642	30.648	2	57	59	.005	.995
CD_90_30	.009	6.698	6.707	2	57	59	.038	.963
CD_115_30	.038	16.113	16.151	2	57	59	.068	.935
CD_130_30	.048	5.685	5.732	2	57	59	.240	.788
CD_150_30	.045	4.205	4.250	2	57	59	.307	.737
CD_170_30	.043	32.110	32.153	2	57	59	.038	.962
CD_90_45	.025	6.708	6.734	2	57	59	.107	.899
CD_115_45	.003	20.413	20.416	2	57	59	.005	.995
CD_130_45	.012	11.244	11.257	2	57	59	.031	.969
CD_150_45	.114	5.348	5.462	2	57	59	.609	.547
CD_170_45	.058	29.298	29.356	2	57	59	.056	.945
CD_90_60	.011	3.688	3.699	2	57	59	.088	.916
CD_115_60	.023	11.952	11.975	2	57	59	.056	.946
CD_130_60	.014	10.604	10.617	2	57	59	.037	.964
CD_150_60	.051	10.538	10.589	2	57	59	.139	.871
CD_170_60	.003	33.579	33.582	2	57	59	.003	.997
CD_90_90	.022	5.040	5.062	2	57	59	.126	.882
CD_115_90	.015	19.160	19.175	2	57	59	.022	.979
CD_130_90	.005	9.410	9.415	2	57	59	.015	.985
CD_150_90	.000	20.752	20.752	2	57	59	.001	.999
CD_170_90	.028	17.689	17.717	2	57	59	.045	.956
CD_90_180	.003	1.735	1.738	2	57	59	.045	.956
CD_115_180	.004	3.393	3.397	2	57	59	.031	.970
CD_130_180	.014	2.205	2.219	2	57	59	.187	.830
CD_150_180	.017	1.536	1.553	2	57	59	.317	.730
CD_170_180	.005	2.414	2.418	2	57	59	.054	.948

Tabela III.3 - Test homogenosti varijanse podgrupa s obzirom na uglove postavljanja uzoraka pri skeniranju - paralelno (MD) i poprečno (CD) savijeni uzorci - procenat belih piksela

Uzorci	Leveneova statistika	df1	df2	Veličina značajnosti	Uzorci	Leveneova statistika	df1	df2	Veličina značajnosti
MD_90_1200	6.528	6	133	.000	CD_90_1200	1.403	6	133	.218*
MD_115_1200	3.177	6	133	.006	CD_115_1200	4.986	6	133	.000
MD_130_1200	1.632	6	133	.143*	CD_130_1200	4.109	6	133	.001
MD_150_1200	1.764	6	133	.111*	CD_150_1200	7.136	6	133	.000
MD_170_1200	4.309	6	133	.001	CD_170_1200	5.600	6	133	.000
MD_90_2400	5.914	6	133	.000	CD_90_2400	1.790	6	133	.106*
MD_115_2400	4.303	6	133	.001	CD_115_2400	4.174	6	133	.001
MD_130_2400	2.005	6	133	.069*	CD_130_2400	2.802	6	133	.013
MD_150_2400	1.589	6	133	.155*	CD_150_2400	9.677	6	133	.000
MD_170_2400	2.387	6	133	.032	CD_170_2400	5.613	6	133	.000
MD_90_4800	5.070	6	133	.000	CD_90_4800	1.913	6	133	.083*
MD_115_4800	2.480	6	133	.026	CD_115_4800	5.462	6	133	.000
MD_130_4800	1.829	6	133	.098*	CD_130_4800	2.820	6	133	.013
MD_150_4800	2.189	6	133	.048	CD_150_4800	10.372	6	133	.000
MD_170_4800	1.850	6	133	.094*	CD_170_4800	6.229	6	133	.000

*Potvrđena homogenost varijanse grupe

Tabela III.4 – ANOVA – podgrupe po uglovima postavljanja uzoraka pri skeniranju - paralelno (MD) i poprečno (CD) savijeni uzorci - procenat belih piksela

Uzorci	Suma kvadrata			Stepen slobode			F vrednost	Veličina značajnosti	Eta kvadrat
	Između grupa	Unutar grupa	Ukupno	Između grupa	Unutar grupa	Ukupno			
MD_90_1200	22.232	15.429	37.661	6	133	139	31.942	0.000*	0.59033
MD_115_1200	33.965	16.122	50.087	6	133	139	46.701	0.000*	0.67813
MD_130_1200	37.892	11.188	49.079	6	133	139	75.078	0.000*	0.77205
MD_150_1200	57.874	13.445	71.319	6	133	139	95.413	0.000*	0.81147
MD_170_1200	77.918	22.891	100.809	6	133	139	75.454	0.000*	0.77293
MD_90_2400	20.044	16.052	36.096	6	133	139	27.680	0.000*	0.55530
MD_115_2400	30.242	15.866	46.108	6	133	139	42.253	0.000*	0.65590
MD_130_2400	31.514	10.745	42.259	6	133	139	65.013	0.000*	0.74574
MD_150_2400	54.189	14.188	68.377	6	133	139	84.661	0.000*	0.79250
MD_170_2400	71.558	27.415	98.973	6	133	139	57.858	0.000*	0.72300
MD_90_4800	20.515	15.174	35.688	6	133	139	29.970	0.000*	0.57483
MD_115_4800	31.140	15.770	46.910	6	133	139	43.770	0.000*	0.66382

MD_130_4800	31.978	11.120	43.098	6	133	139	63.745	0.000*	0.74198
MD_150_4800	54.826	12.218	67.044	6	133	139	99.468	0.000*	0.81776
MD_170_4800	70.915	21.260	92.176	6	133	139	73.938	0.000*	0.76935
CD_90_1200	49.363	13.040	62.403	6	133	139	83.914	0.000*	0.79104
CD_115_1200	76.937	31.577	108.514	6	133	139	54.010	0.000*	0.70901
CD_130_1200	94.962	15.657	110.619	6	133	139	134.442	0.000*	0.85846
CD_150_1200	167.207	21.769	188.976	6	133	139	170.262	0.000*	0.88481
CD_170_1200	234.507	49.506	284.014	6	133	139	105.001	0.000*	0.82569
CD_90_2400	49.933	14.959	64.892	6	133	139	73.993	0.000*	0.76948
CD_115_2400	74.327	31.276	105.603	6	133	139	52.679	0.000*	0.70383
CD_130_2400	94.438	18.968	113.406	6	133	139	110.364	0.000*	0.83274
CD_150_2400	174.360	18.809	193.168	6	133	139	205.489	0.000*	0.90263
CD_170_2400	232.975	52.716	285.690	6	133	139	97.965	0.000*	0.81548
CD_90_4800	50.005	12.022	62.027	6	133	139	92.199	0.000*	0.80618
CD_115_4800	72.445	35.203	107.648	6	133	139	45.617	0.000*	0.67298
CD_130_4800	93.402	14.857	108.259	6	133	139	139.351	0.000*	0.86276
CD_150_4800	173.807	18.311	192.118	6	133	139	210.399	0.000*	0.90469
CD_170_4800	233.397	52.279	285.676	6	133	139	98.961	0.000*	0.81700

*Potvrđena statistička značajna razlika pri $p < 0.05$

Tabela III.5 – Brown-Forsythe test - obzirom na uglove postavljanja uzoraka pri skeniranju - paralelno (MD) i poprečno (CD) savijeni uzorci - procenat belih piksela

Brown-Forsythe									
Uzorci	Statistika ^a	df1	df2	Veličina značajnosti	Uzorci	Statistika ^a	df1	df2	Veličina značajnosti
MD_90_1200	31.942	6	97.402	.000	CD_90_1200	83.914	6	113.792	.000
MD_115_1200	46.701	6	101.159	.000	CD_115_1200	54.010	6	100.465	.000
MD_130_1200	75.078	6	119.891	.000	CD_130_1200	134.442	6	100.100	.000
MD_150_1200	95.413	6	121.516	.000	CD_150_1200	170.262	6	89.699	.000
MD_170_1200	75.454	6	97.083	.000	CD_170_1200	105.001	6	104.672	.000
MD_90_2400	27.680	6	98.212	.000	CD_90_2400	73.993	6	116.828	.000
MD_115_2400	42.253	6	94.653	.000	CD_115_2400	52.679	6	104.418	.000
MD_130_2400	65.013	6	116.344	.000	CD_130_2400	110.364	6	108.147	.000
MD_150_2400	84.661	6	119.833	.000	CD_150_2400	205.489	6	85.260	.000
MD_170_2400	57.858	6	111.813	.000	CD_170_2400	97.965	6	103.281	.000
MD_90_4800	29.970	6	99.529	.000	CD_90_4800	92.199	6	110.546	.000
MD_115_4800	43.770	6	104.668	.000	CD_115_4800	45.617	6	90.796	.000
MD_130_4800	63.745	6	118.576	.000	CD_130_4800	139.351	6	106.430	.000
MD_150_4800	99.468	6	114.683	.000	CD_150_4800	210.399	6	75.970	.000
MD_170_4800	73.938	6	114.064	.000	CD_170_4800	98.961	6	103.981	.000

Tabela III.6 – Rezultati naknadnog testa (Dunett T3) statističke značajnosti razlika između svakog para grupa uzoraka za sve gramature, paralelno savijenih i skeniranih sa rezolucijom 1200 spi - procenat belih piksela

Zavisna promenljiva (I)	Uglovi (J)	Srednja razlika (I-J)	Veličina značajnosti	95% Interval poverenja	
				Donja granica	Gornja granica
MD_90_1200					
0°	15°	0.284005	0.300	-0.098652	0.666662
	30°	.4589350	0.001	0.147734	0.770136
	45°	.7401350	0.000	0.407518	1.072752
	60°	.8282250	0.000	0.547914	1.108536
	90°	.8866700	0.000	0.668219	1.105121
	180°	1.3004950	0.000	1.108077	1.492913
15°	30°	0.174930	0.986	-0.274234	0.624094
	45°	0.456130	0.056	-0.005806	0.918066
	60°	.5442200	0.005	0.112094	0.976346
	90°	.6026650	0.001	0.199189	1.006141
	180°	1.0164900	0.000	0.622741	1.410239
30°	45°	0.281200	0.465	-0.129758	0.692158
	60°	0.369290	0.057	-0.005465	0.744045
	90°	.4277350	0.005	0.089242	0.766228
	180°	.8415600	0.000	0.515748	1.167372
45°	60°	0.088090	1.000	-0.303249	0.479429
	90°	0.146535	0.974	-0.211097	0.504167
	180°	.5603600	0.000	0.214382	0.906338
60°	90°	0.058445	1.000	-0.253126	0.370016
	180°	.4722700	0.000	0.175134	0.769406
90°	180°	.4138250	0.000	0.171880	0.655770
MD_115_1200					
0°	15°	.8041500	0.000	0.423523	1.184777
	30°	.9136050	0.000	0.580338	1.246872
	45°	.9164550	0.000	0.674275	1.158635
	60°	1.0783100	0.000	0.717379	1.439241
	90°	1.0444200	0.000	0.746320	1.342520
	180°	1.8146100	0.000	1.608693	2.020527
15°	30°	0.109455	1.000	-0.336991	0.555901
	45°	0.112305	1.000	-0.282469	0.507079
	60°	0.274160	0.701	-0.190706	0.739026
	90°	0.240270	0.751	-0.184472	0.665012
30°	180°	1.0104600	0.000	0.631838	1.389802
	45°	0.002850	1.000	-0.347408	0.353108
	60°	0.164705	0.989	-0.266395	0.595805
	90°	0.130815	0.997	-0.254639	0.516269
45°	180°	.9010050	0.000	0.570161	1.231849
	60°	0.161855	0.959	-0.214296	0.538006

	90°	0.127965	0.981	-0.189947	0.445877
	180°	.8981550'	0.000	0.659880	1.136430
60°	90°	-0.033890	1.000	-0.442031	0.374251
	180°	.7363000'	0.000	0.377531	1.095069
90°	180°	.7701900'	0.000	0.474945	1.065435
MD_130_1200					
0°	15°	.7637250'	0.000	0.476092	1.051358
	30°	.8902500'	0.000	0.598356	1.182144
	45°	.8013500'	0.000	0.477399	1.125301
	60°	1.1009750'	0.000	0.767474	1.434476
	90°	1.2817600'	0.000	1.003159	1.560361
	180°	1.7995000'	0.000	1.543006	2.055994
15°	30°	0.126525	0.956	-0.159264	0.412314
	45°	0.037625	1.000	-0.281126	0.356376
	60°	.3372500'	0.040	0.008722	0.665778
	90°	.5180350'	0.000	0.245997	0.790073
30°	180°	1.0357750'	0.000	0.786744	1.284806
	45°	-0.088900	1.000	-0.411311	0.233511
	60°	0.210725	0.584	-0.121302	0.542752
	90°	.3915100'	0.001	0.114845	0.668175
45°	180°	.9092500'	0.000	0.654951	1.163549
	60°	0.299625	0.183	-0.059356	0.658606
	90°	.4804100'	0.000	0.169355	0.791465
	180°	.9981500'	0.000	0.705557	1.290743
60°	90°	0.180785	0.755	-0.140397	0.501967
	180°	.6985250'	0.000	0.394884	1.002166
90°	180°	.5177400'	0.000	0.280052	0.755428
MD_150_1200					
0°	15°	.9006750'	0.000	0.522156	1.279194
	30°	.9749750'	0.000	0.633145	1.316805
	45°	1.1584950'	0.000	0.788564	1.528426
	60°	1.3593050'	0.000	0.997756	1.720854
	90°	1.5575900'	0.000	1.194272	1.920908
	180°	2.2782600'	0.000	1.951825	2.604695
15°	30°	0.074300	1.000	-0.246806	0.395406
	45°	0.257820	0.355	-0.093865	0.609505
	60°	.4586300'	0.002	0.116011	0.801249
	90°	.6569150'	0.000	0.312379	1.001451
30°	180°	1.3775850'	0.000	1.073474	1.681696
	45°	0.183520	0.691	-0.126482	0.493522
	60°	.3843300'	0.004	0.085375	0.683285
	90°	.5826150'	0.000	0.281309	0.883921
45°	180°	1.3032850'	0.000	1.053615	1.552955
	60°	0.200810	0.667	-0.131778	0.533398
	90°	.3990950'	0.009	0.064502	0.733688
	180°	1.1197650'	0.000	0.827743	1.411787
60°	90°	0.198285	0.650	-0.126508	0.523078
	180°	.9189550'	0.000	0.639069	1.198841
90°	180°	.7206700'	0.000	0.438192	1.003148
MD_170_1200					
0°	15°	.6214000'	0.009	0.104502	1.138298
	30°	1.0013550'	0.000	0.682523	1.320187
	45°	.9439650'	0.000	0.514695	1.373235
	60°	1.2315450'	0.000	0.805269	1.657821
	90°	1.6048200'	0.000	1.295577	1.914063
	180°	2.5701350'	0.000	2.228470	2.911800
15°	30°	0.379955	0.284	-0.121311	0.881221
	45°	0.322565	0.744	-0.243732	0.888862
	60°	.6101450'	0.025	0.045816	1.174474
	90°	.9834200'	0.000	0.487035	1.479805
30°	180°	1.9487350'	0.000	1.435363	2.462107
	45°	-0.057390	1.000	-0.465871	0.351091
	60°	0.230190	0.731	-0.175066	0.635446
	90°	.6034650'	0.000	0.330057	0.876873
45°	180°	1.5687800'	0.000	1.257290	1.880270
	60°	0.287580	0.708	-0.202159	0.777319
	90°	.6608550'	0.000	0.258945	1.062765
	180°	1.6261700'	0.000	1.201552	2.050788
60°	90°	0.373275	0.083	-0.025332	0.771882
	180°	1.3385900'	0.000	0.917015	1.760165
90°	180°	.9653150'	0.000	0.663770	1.266860

Tabela III.7 – Rezultati naknadnog testa (Dunett's T3) statističke značajnosti razlika između svakog para grupa uzoraka za sve gramature, poprečno savijenih i skeniranih sa rezolucijom 1200 spi – procenat belih piksela

Zavisna promenljiva (I)	Uglovi (J)	Srednja razlika (I-J)	Veličina značajnosti	95% Interval poverenja	
				Donja granica	Gornja granica
CD_90_1200					
0°	15°	.6852000'	0.000	0.300736	1.069664
	30°	.7313200'	0.000	0.374245	1.088395
	45°	.7348400'	0.000	0.386843	1.082837
	60°	.8938900'	0.000	0.586177	1.201603
	90°	.9754300'	0.000	0.650241	1.300619
	180°	2.1462300'	0.000	1.855023	2.437437

15°	30°	0.046120	1.000	-0.338841	0.431081
	45°	0.049640	1.000	-0.327242	0.426522
	60°	0.208690	0.628	-0.133068	0.550448
	90°	0.290230	0.209	-0.066612	0.647072
	180°	1.4610300'	0.000	1.133299	1.788761
30°	45°	0.003520	1.000	-0.345054	0.352094
	60°	0.162570	0.829	-0.145836	0.470976
	90°	0.244110	0.320	-0.081717	0.569937
	180°	1.4149100'	0.000	1.122952	1.706868
45°	60°	0.159050	0.815	-0.137940	0.456040
	90°	0.240590	0.295	-0.074763	0.555943
	180°	1.4113900'	0.000	1.131863	1.690917
60°	90°	0.081540	0.999	-0.185700	0.348780
	180°	1.2523400'	0.000	1.033583	1.471097
90°	180°	1.1708000'	0.000	0.924293	1.417307
CD_115_1200					
0°	15°	.5187100'	0.021	0.052322	0.985098
	30°	.6466500'	0.001	0.195433	1.097867
	45°	.8101500'	0.000	0.338813	1.281487
	60°	1.2103250'	0.000	0.864233	1.556417
	90°	1.2979850'	0.000	0.827102	1.768868
	180°	2.5235800'	0.000	2.309624	2.737536
15°	30°	0.127940	1.000	-0.466089	0.721969
	45°	0.291440	0.917	-0.316221	0.899101
	60°	.6916150'	0.003	0.160735	1.222495
	90°	.7792750'	0.004	0.171927	1.386623
30°	180°	2.0048700'	0.000	1.529556	2.480184
	45°	0.163500	1.000	-0.434010	0.761010
	60°	.5636750'	0.024	0.045299	1.082051
45°	90°	.6513350'	0.023	0.054145	1.248525
	180°	1.8769300'	0.000	1.416393	2.337467
	60°	0.400175	0.319	-0.134821	0.935171
60°	90°	0.487835	0.235	-0.122881	1.098551
	180°	1.7134300'	0.000	1.233289	2.193571
	90°	0.087660	1.000	-0.446958	0.622278
90°	180°	1.3132550'	0.000	0.953865	1.672645
90°	180°	1.2255950'	0.000	0.745897	1.705293
CD_130_1200					
0°	15°	.9558950'	0.000	0.686267	1.225523
	30°	.9411350'	0.000	0.691655	1.190615
	45°	.7207950'	0.000	0.355002	1.086588
	60°	1.1401900'	0.000	0.778934	1.501446
	90°	1.3615950'	0.000	1.018268	1.704922
	180°	2.9150050'	0.000	2.718561	3.111449
15°	30°	-0.014760	1.000	-0.317165	0.287645
	45°	-0.235100	0.689	-0.633530	0.163330
	60°	0.184295	0.926	-0.210138	0.578728
	90°	.4057000'	0.027	0.026909	0.784491
30°	180°	1.9591100'	0.000	1.693623	2.224597
	45°	-0.220340	0.734	-0.607960	0.167280
	60°	0.199055	0.840	-0.184399	0.582509
45°	90°	.4204600'	0.014	0.053357	0.787563
	180°	1.9738700'	0.000	1.729048	2.218692
	60°	0.419395	0.097	-0.037267	0.876057
60°	90°	.6408000'	0.001	0.196567	1.085033
	180°	2.1942100'	0.000	1.831071	2.557349
	90°	0.221405	0.883	-0.219440	0.662250
90°	180°	1.7748150'	0.000	1.416260	2.133370
90°	180°	1.5534100'	0.000	1.212986	1.893834
CD_150_1200					
0°	15°	0.072630	1.000	-0.291479	0.436739
	30°	.4865950'	0.000	0.225089	0.748101
	45°	.7522000'	0.000	0.397484	1.106916
	60°	.7621600'	0.000	0.390027	1.134293
	90°	1.1035050'	0.000	0.612472	1.594538
	180°	3.4749500'	0.000	3.277177	3.672723
15°	30°	.4139650'	0.031	0.022685	0.805245
	45°	.6795700'	0.000	0.229691	1.129449
	60°	.6895300'	0.000	0.227229	1.151831
	180°	1.0308750'	0.000	0.475122	1.586628
30°	180°	3.4023200'	0.000	3.041688	3.762952
	45°	0.265605	0.433	-0.117247	0.648457
	60°	0.275565	0.436	-0.122960	0.674090
45°	90°	.6169100'	0.009	0.107639	1.126181
	180°	2.9883550'	0.000	2.732508	3.244202
	60°	0.009960	1.000	-0.445819	0.465739
60°	90°	0.351305	0.570	-0.199521	0.902131
	180°	2.7227500'	0.000	2.371641	3.073859
	90°	0.341345	0.644	-0.218718	0.901408
90°	180°	2.7127900'	0.000	2.344028	3.081552
90°	180°	2.3714450'	0.000	1.882729	2.860161
CD_170_1200					
0°	15°	0.062255	1.000	-0.550861	0.675371
	30°	0.181320	0.999	-0.444502	0.807142
	45°	0.354920	0.565	-0.202874	0.912714

	60°	.6744350'	0.025	0.051027	1.297843
	90°	1.3436350'	0.000	0.842849	1.844421
	180°	3.9266650'	0.000	3.599516	4.253814
15°	30°	0.119065	1.000	-0.639900	0.878030
	45°	0.292665	0.977	-0.417048	1.002378
	60°	0.612180	0.220	-0.144978	1.369338
	90°	1.2813800'	0.000	0.609894	1.952866
	180°	3.8644100'	0.000	3.288084	4.440736
30°	45°	0.173600	1.000	-0.546378	0.893578
	60°	0.493115	0.567	-0.273369	1.259599
	90°	1.1623150'	0.000	0.479691	1.844939
45°	180°	3.7453450'	0.000	3.155212	4.335478
	60°	0.319515	0.954	-0.398506	1.037536
	90°	.9887150'	0.000	0.364828	1.612602
60°	180°	3.5717450'	0.000	3.056435	4.087055
	90°	0.669200	0.057	-0.011303	1.349703
	180°	3.2522300'	0.000	2.664715	3.839745
90°	180°	2.5830300'	0.000	2.132732	3.033328

Tabela III.8 – Rezultati naknadnog testa (Dunett's T3) statističke značajnosti razlika između svakog para grupa uzoraka za sve gramature, paralelno savijenih i skeniranih sa rezolucijom 2400 spi - procenat belih piksela

Zavisna promenljiva (I)	Uglovi (I)	Srednja razlika (H)	Veličina značajnosti	95% Interval poverenja	
				Donja granica	Gornja granica
MD_90_2400					
0°	15°	0.238255	0.556	-0.142023	0.618533
	30°	.4786150'	0.003	0.125688	0.831542
	45°	.6888200'	0.000	0.357447	1.020193
	60°	.7711200'	0.000	0.490437	1.051803
	90°	.8266150'	0.000	0.602379	1.050851
	180°	1.2390200'	0.000	1.040704	1.437336
15°	30°	0.240360	0.866	-0.228615	0.709335
	45°	0.450565	0.054	-0.004627	0.905757
	60°	.5328650'	0.005	0.107102	0.958628
	90°	.5883600'	0.001	0.189731	0.986989
30°	180°	1.0007650'	0.000	0.612427	1.389103
	45°	0.210205	0.911	-0.224420	0.644830
	60°	0.292505	0.366	-0.110368	0.695378
	90°	0.348000	0.086	-0.025197	0.721197
45°	180°	.7604050'	0.000	0.398562	1.122248
	60°	0.082300	1.000	-0.303058	0.467658
	90°	0.137795	0.984	-0.215627	0.491217
60°	180°	.5502000'	0.000	0.209111	0.891289
	90°	0.055495	1.000	-0.252679	0.363669
90°	180°	.4679000'	0.000	0.174995	0.760805
90°	180°	.4124050'	0.000	0.171497	0.653313
MD_115_2400					
0°	15°	.7259350'	0.000	0.317292	1.134578
	30°	.8644700'	0.000	0.554020	1.174920
	45°	.8769900'	0.000	0.639226	1.114754
	60°	1.0434850'	0.000	0.677068	1.409902
	90°	.9679850'	0.000	0.690791	1.245179
	180°	1.7042150'	0.000	1.492180	1.916250
15°	30°	0.138535	0.999	-0.314558	0.591628
	45°	0.151055	0.991	-0.265541	0.567651
	60°	0.317550	0.545	-0.169757	0.804857
	90°	0.242050	0.762	-0.193148	0.677248
30°	180°	.9782800'	0.000	0.572257	1.384303
	45°	0.012520	1.000	-0.309625	0.334665
	60°	0.179015	0.966	-0.238486	0.596516
	90°	0.103515	0.999	-0.245133	0.452163
45°	180°	.8397450'	0.000	0.533188	1.146302
	60°	0.166495	0.946	-0.209180	0.542170
	90°	0.090995	0.999	-0.199925	0.381915
60°	180°	.8272250'	0.000	0.595302	1.059148
	90°	-0.075500	1.000	-0.472637	0.321637
90°	180°	.6607300'	0.000	0.297369	1.024091
90°	180°	.7362300'	0.000	0.463651	1.008809
MD_130_2400					
0°	15°	.6497300'	0.000	0.378511	0.920949
	30°	.7765200'	0.000	0.498163	1.054877
	45°	.6923250'	0.000	0.383969	1.000681
	60°	.9714450'	0.000	0.639447	1.303443
	90°	1.1704100'	0.000	0.905404	1.435416
	180°	1.6657750'	0.000	1.427083	1.904467
15°	30°	0.126790	0.942	-0.150214	0.403794
	45°	0.042595	1.000	-0.264602	0.349792
	60°	0.321715	0.063	-0.009246	0.652676
	90°	.5206800'	0.000	0.257131	0.784229
30°	180°	1.0160450'	0.000	0.779060	1.253030
	45°	-0.084195	1.000	-0.397340	0.228950
	60°	0.194925	0.719	-0.141368	0.531218
	90°	.3938900'	0.001	0.122898	0.664882
90°	180°	.8892550'	0.000	0.643594	1.134916

45°	60°	0.279120	0.271	-0.080380	0.638620
	90°	.4780850'	0.000	0.176014	0.780156
	180°	.9734500'	0.000	0.692528	1.254372
60°	90°	0.198965	0.639	-0.127420	0.525350
	180°	.6943300'	0.000	0.386623	1.002037
90°	180°	.4953650'	0.000	0.266047	0.724683
MD_150_2400					
0°	15°	.8520300'	0.000	0.474271	1.229789
	30°	.9159300'	0.000	0.570755	1.261105
	45°	1.0508700'	0.000	0.692601	1.409139
	60°	1.2449150'	0.000	0.850943	1.638887
	90°	1.5083450'	0.000	1.132694	1.883996
	180°	2.2021350'	0.000	1.873056	2.531214
15°	30°	0.063900	1.000	-0.254295	0.382095
	45°	0.198840	0.681	-0.134059	0.531739
	60°	.3928850'	0.031	0.020635	0.765135
	90°	.6563150'	0.000	0.304136	1.008494
	180°	1.3501050'	0.000	1.050227	1.649983
30°	45°	0.134940	0.938	-0.157432	0.427312
	60°	0.328985	0.064	-0.009864	0.667834
	90°	.5924150'	0.000	0.276956	0.907874
	180°	1.2862050'	0.000	1.035351	1.537059
45°	60°	0.194045	0.787	-0.158248	0.546338
	90°	.4574750'	0.001	0.127131	0.787819
	180°	1.1512650'	0.000	0.879916	1.422614
60°	90°	0.263430	0.401	-0.106664	0.633524
	180°	.9572200'	0.000	0.634943	1.279497
90°	180°	.6937900'	0.000	0.396905	0.990675
MD_170_2400					
0°	15°	.5316650'	0.033	0.025439	1.037891
	30°	.8927550'	0.000	0.544611	1.240899
	45°	.8763250'	0.000	0.443083	1.309567
	60°	1.1352850'	0.000	0.697795	1.572775
	90°	1.4491250'	0.000	1.069623	1.828627
	180°	2.4881900'	0.000	2.138305	2.838075
15°	30°	0.361090	0.344	-0.133779	0.855959
	45°	0.344660	0.605	-0.205299	0.894619
	60°	.6036200'	0.023	0.050686	1.156554
	90°	.9174600'	0.000	0.403350	1.431570
	180°	1.9565250'	0.000	1.460622	2.452428
30°	45°	-0.016430	1.000	-0.435253	0.402393
	60°	0.242530	0.728	-0.180757	0.665817
	90°	.5563700'	0.000	0.194642	0.918098
	180°	1.5954350'	0.000	1.265812	1.925058
45°	60°	0.258960	0.838	-0.231610	0.749530
	90°	.5728000'	0.004	0.129666	1.015934
	180°	1.6118650'	0.000	1.191720	2.032010
60°	90°	0.313840	0.421	-0.133401	0.761081
	180°	1.3529050'	0.000	0.928316	1.777494
90°	180°	1.0390650'	0.000	0.675692	1.402438

Tabela III.9 – Rezultati naknadnog testa (Dunnett's T3) statističke značajnosti razlika između svakog para grupa uzoraka za sve gramature, poprečno savijenih i skeniranih sa rezolucijom 2400 spi - procenat belih piksela

Zavisna promenljiva (I)	Uglovi (J)	Srednja razlika (I-J)	Veličina značajnosti	95% Interval poverenja	
				Donja granica	Gornja granica
CD_90_2400					
0°	15°	.6948100'	0.000	0.308242	1.081378
	30°	.6952250'	0.000	0.331325	1.059125
	45°	.7422050'	0.000	0.367255	1.117155
	60°	.8608500'	0.000	0.531827	1.189873
	90°	1.0107950'	0.000	0.665071	1.356519
	180°	2.1517550'	0.000	1.865453	2.438057
15°	30°	0.000415	1.000	-0.393337	0.394167
	45°	0.047395	1.000	-0.356208	0.450998
	60°	0.166040	0.938	-0.197176	0.529256
	90°	0.315985	0.179	-0.061741	0.693711
30°	180°	1.4569450'	0.000	1.129802	1.784088
	45°	0.046980	1.000	-0.335483	0.429443
	60°	0.165625	0.900	-0.172494	0.503744
45°	90°	0.315570	0.120	-0.038616	0.669756
	180°	1.4565300'	0.000	1.159143	1.753917
	60°	0.118645	0.997	-0.231762	0.469052
60°	90°	0.268590	0.351	-0.097088	0.634268
	180°	1.4095500'	0.000	1.097458	1.721642
90°	90°	0.149945	0.925	-0.167703	0.467593
	180°	1.2909050'	0.000	1.043444	1.538366
90°	180°	1.1409600'	0.000	0.868801	1.413119
CD_115_2400					
0°	15°	.5654700'	0.013	0.082945	1.047995
	30°	.6569200'	0.001	0.212368	1.101472
	45°	.7978850'	0.000	0.317557	1.278213
	60°	1.1575250'	0.000	0.778206	1.536844
	90°	1.2875850'	0.000	0.853125	1.722045

	180°	2.5038600	0.000	2.263090	2.744630
15°	30°	0.091450	1.000	-0.500239	0.683139
	45°	0.232415	0.991	-0.383363	0.848193
	60°	.5920550	0.027	0.040386	1.143724
	90°	.7221150	0.006	0.136962	1.307268
	180°	1.9383900	0.000	1.451223	2.425557
30°	45°	0.140965	1.000	-0.449100	0.731030
	60°	0.500605	0.069	-0.020395	1.021605
	90°	.6306650	0.016	0.073407	1.187923
	180°	1.8469400	0.000	1.397197	2.296683
45°	60°	0.359640	0.534	-0.190223	0.909503
	90°	0.489700	0.177	-0.093801	1.073201
	180°	1.7059750	0.000	1.220977	2.190973
60°	90°	0.130060	1.000	-0.382997	0.643117
	180°	1.3463350	0.000	0.960541	1.732129
90°	180°	1.2162750	0.000	0.776458	1.656092
CD_130_2400					
0°	15°	.8563700	0.000	0.466945	1.245795
	30°	.8864500	0.000	0.579940	1.192960
	45°	.7274050	0.000	0.359393	1.095417
	60°	1.1426900	0.000	0.779255	1.506125
	90°	1.3531800	0.000	1.000691	1.705669
	180°	2.8904450	0.000	2.674977	3.105913
15°	30°	0.030080	1.000	-0.397830	0.457990
	45°	-0.128965	1.000	-0.597070	0.339140
	60°	0.286320	0.636	-0.178606	0.751246
	90°	.4968100	0.024	0.039373	0.954247
30°	180°	2.0340750	0.000	1.653761	2.414389
	45°	-0.159045	0.987	-0.568494	0.250404
	60°	0.256240	0.592	-0.149310	0.661790
	90°	.4667300	0.010	0.070427	0.863033
45°	180°	2.0039950	0.000	1.710529	2.297461
	60°	0.415285	0.092	-0.033449	0.864019
	90°	.6257750	0.001	0.184950	1.066600
60°	180°	2.1630400	0.000	1.804922	2.521158
	90°	0.210490	0.914	-0.226851	0.647831
90°	180°	1.7477550	0.000	1.394398	2.101112
	180°	1.5372650	0.000	1.195321	1.879209
CD_150_2400					
0°	15°	0.155705	0.988	-0.257257	0.568667
	30°	.6098300	0.000	0.312676	0.906984
	45°	.9587250	0.000	0.699332	1.218118
	60°	.8782600	0.000	0.508187	1.248333
	90°	1.2097700	0.000	0.731638	1.687902
	180°	3.6111300	0.000	3.375497	3.846763
15°	30°	.4541250	0.024	0.036646	0.871604
	45°	.8030200	0.000	0.407048	1.198992
	60°	.7225550	0.000	0.257162	1.187948
	90°	1.0540650	0.000	0.505797	1.602333
30°	180°	3.4554250	0.000	3.071897	3.838953
	45°	.3489950	0.003	0.080591	0.617199
	60°	0.268430	0.387	-0.106945	0.643805
	90°	.5999400	0.006	0.118149	1.081731
45°	180°	3.0013000	0.000	2.755464	3.247136
	60°	-0.080465	1.000	-0.430407	0.269477
	90°	0.251045	0.765	-0.213415	0.715505
60°	180°	2.6524050	0.000	2.460643	2.844167
	90°	0.331510	0.577	-0.189911	0.852931
	180°	2.7328700	0.000	2.397795	3.067945
90°	180°	2.4013600	0.000	1.946904	2.855816
CD_170_2400					
0°	15°	0.058000	1.000	-0.556384	0.672384
	30°	0.212975	0.996	-0.410881	0.836831
	45°	0.294435	0.914	-0.335344	0.924214
	60°	0.632290	0.056	-0.009572	1.274152
	90°	1.3483100	0.000	0.859936	1.836684
	180°	3.9036000	0.000	3.576982	4.230218
15°	30°	0.154975	1.000	-0.603930	0.913880
	45°	0.236435	0.999	-0.526902	0.999772
	60°	0.574290	0.334	-0.198164	1.346744
	90°	1.2903100	0.000	0.625010	1.955610
30°	180°	3.8456000	0.000	3.267381	4.423819
	45°	0.081460	1.000	-0.688756	0.851676
	60°	0.419315	0.818	-0.359898	1.198528
	90°	1.1353350	0.000	0.461598	1.809072
45°	180°	3.6906250	0.000	3.102124	4.279126
	60°	0.337855	0.965	-0.445618	1.121328
	90°	1.0538750	0.000	0.374845	1.732905
60°	180°	3.6091650	0.000	3.014253	4.204077
	90°	.7160200	0.036	0.026152	1.405888
	180°	3.2713100	0.000	2.663359	3.879261
90°	180°	2.5552900	0.000	2.118784	2.991796

Tabela III.10 – Rezultati naknadnog testa (Dunett's T3) statističke značajnosti razlika između svakog para grupa uzoraka za sve gramature, paralelno savijenih i skeniranih sa rezolucijom 4800 spi - procenat belih piksela

Zavisna promenljiva (I)	Uglovi (J)	Srednja razlika (I-J)	Veličina značajnosti	95% Interval poverenja	
				Donja granica	Gornja granica
MD_90_4800					
0°	15°	0.180965	0.890	-0.196724	0.558654
	30°	.4566100'	0.002	0.122238	0.790982
	45°	.6966750'	0.000	0.357560	1.035790
	60°	.7783850'	0.000	0.490361	1.066409
	90°	.8197800'	0.000	0.591720	1.047840
15°	180°	1.2168350'	0.000	1.016562	1.417108
	30°	0.275645	0.630	-0.170469	0.721759
	45°	.5157100'	0.014	0.066498	0.964922
	60°	.5974200'	0.001	0.179669	1.015171
	90°	.6388150'	0.000	0.251935	1.025695
30°	180°	1.0358700'	0.000	0.660862	1.410878
	45°	0.240065	0.735	-0.176762	0.656892
	60°	0.321775	0.170	-0.059416	0.702966
	90°	.3631700'	0.033	0.017907	0.708433
	180°	.7602250'	0.000	0.429041	1.091409
45°	60°	0.081710	1.000	-0.303397	0.466817
	90°	0.123105	0.994	-0.226688	0.472898
	180°	.5201600'	0.000	0.184169	0.856151
60°	90°	0.041395	1.000	-0.260058	0.342848
	180°	.4384500'	0.000	0.154396	0.722504
90°	180°	.3970550'	0.000	0.174661	0.619449
MD_115_4800					
0°	15°	.7084600'	0.000	0.320166	1.096754
	30°	.8503150'	0.000	0.520156	1.180474
	45°	.8379350'	0.000	0.561380	1.114490
	60°	1.0425200'	0.000	0.676769	1.408271
	90°	.9971350'	0.000	0.699803	1.294467
15°	180°	1.7228400'	0.000	1.499465	1.946215
	30°	0.141855	0.998	-0.291981	0.575691
	45°	0.129475	0.998	-0.271135	0.530085
	60°	0.334060	0.364	-0.124288	0.792408
	90°	0.288675	0.422	-0.124239	0.701589
30°	180°	1.0143800'	0.000	0.641684	1.387076
	45°	-0.012380	1.000	-0.358029	0.333269
	60°	0.192205	0.936	-0.222731	0.607141
	90°	0.146820	0.980	-0.214022	0.507662
	180°	.8725250'	0.000	0.562366	1.182684
45°	60°	0.204585	0.803	-0.174569	0.583739
	90°	0.159200	0.878	-0.156077	0.474477
	180°	.8849050'	0.000	0.635078	1.134732
60°	90°	-0.045385	1.000	-0.437851	0.347081
	180°	.6803200'	0.000	0.331635	1.029005
90°	180°	.7257050'	0.000	0.452051	0.999359
MD_130_4800					
0°	15°	.6847000'	0.000	0.371154	0.998246
	30°	.8177750'	0.000	0.511814	1.123736
	45°	.7131350'	0.000	0.378144	1.048126
	60°	.9953900'	0.000	0.651531	1.339249
	90°	1.1988800'	0.000	0.912513	1.485247
15°	180°	1.6802200'	0.000	1.404743	1.955697
	30°	0.133075	0.938	-0.155150	0.421300
	45°	0.028435	1.000	-0.291231	0.348101
	60°	0.310690	0.079	-0.018469	0.639849
	90°	.5141800'	0.000	0.247571	0.780789
30°	180°	.9955200'	0.000	0.741095	1.249945
	45°	-0.104640	0.998	-0.416945	0.207665
	60°	0.177615	0.785	-0.144508	0.499738
	90°	.3811050'	0.001	0.124273	0.637937
	180°	.8624450'	0.000	0.618544	1.106346
45°	60°	0.282255	0.220	-0.066945	0.631455
	90°	.4857450'	0.000	0.192392	0.779098
	180°	.9670850'	0.000	0.684221	1.249949
60°	90°	0.203490	0.488	-0.100605	0.507585
	180°	.6848300'	0.000	0.390659	0.979001
90°	180°	.4813400'	0.000	0.266184	0.696496
MD_150_4800					
0°	15°	.8354850'	0.000	0.448976	1.221994
	30°	.9163650'	0.000	0.554610	1.278120
	45°	1.0343850'	0.000	0.679243	1.389527
	60°	1.2859300'	0.000	0.921923	1.649937
	90°	1.5286450'	0.000	1.172323	1.884967
15°	180°	2.1983600'	0.000	1.862582	2.534138
	30°	0.080880	1.000	-0.245647	0.407407
	45°	0.198900	0.610	-0.119886	0.517686
	60°	.4504450'	0.002	-0.121296	0.779594
	90°	.6931600'	0.000	0.372989	1.013331
30°	180°	1.3628750'	0.000	1.067115	1.658635
	45°	0.118020	0.976	-0.166546	0.402586
	60°	.3695650'	0.005	0.072797	0.666333

	90°	.6122800'	0.000	0.326072	0.898488
	180°	1.2819950'	0.000	1.025267	1.538723
45°	60°	0.251545	0.137	-0.036239	0.539329
	90°	.4942600'	0.000	0.217562	0.770958
	180°	1.1639750'	0.000	0.918539	1.409411
60°	90°	0.242715	0.178	-0.046683	0.532113
	180°	.9124300'	0.000	0.651955	1.172905
90°	180°	.6697150'	0.000	0.422231	0.917199
MD_170_4800					
0°	15°	.6221950'	0.000	0.221237	1.023153
	30°	.8318550'	0.000	0.455118	1.208592
	45°	.8557150'	0.000	0.432419	1.279011
	60°	1.1139100'	0.000	0.645606	1.582214
	90°	1.5229800'	0.000	1.194258	1.851702
	180°	2.4631200'	0.000	2.105540	2.820700
15°	30°	0.209660	0.839	-0.188192	0.607512
	45°	0.233520	0.835	-0.207671	0.674711
	60°	.4917150'	0.044	0.007931	0.975499
	90°	.9007850'	0.000	0.546560	1.255010
	180°	1.8409250'	0.000	1.460629	2.221221
30°	45°	0.023860	1.000	-0.396576	0.444296
	60°	0.282055	0.651	-0.183793	0.747903
	90°	.6911250'	0.000	0.366606	1.015644
	180°	1.6312650'	0.000	1.277383	1.985147
45°	60°	0.258195	0.859	-0.242678	0.759068
	90°	.6672650'	0.000	0.286530	1.048000
	180°	1.6074050'	0.000	1.203056	2.011754
60°	90°	0.409070	0.076	-0.023250	0.841390
	180°	1.3492100'	0.000	0.897072	1.801348
90°	180°	.9401400'	0.000	0.640061	1.240219

Tabela III.11 – Rezultati naknadnog testa (Dunett T3) statističke značajnosti razlika između svakog para grupa uzoraka za sve gramature, prosječno savijenih i skeniranih sa rezolucijom 4800 spi - procenat belih piksela

Zavisna promenljiva (I)	Uglovi (J)	Srednja razlika (I-J)	Veličina značajnosti	95% Interval poverenja	
				Donja granica	Gornja granica
CD_90_4800					
0°	15°	.7017300'	0.000	0.317711	1.085749
	30°	.7390200'	0.000	0.403185	1.074855
	45°	.7142750'	0.000	0.380321	1.048229
	60°	.9141850'	0.000	0.613036	1.215334
	90°	.9942650'	0.000	0.673418	1.315112
	180°	2.1579050'	0.000	1.874261	2.441549
15°	30°	0.037290	1.000	-0.333049	0.407629
	45°	0.012545	1.000	-0.356173	0.381263
	60°	0.212455	0.593	-0.128463	0.553373
	90°	0.292535	0.201	-0.064961	0.650031
	180°	1.4561750'	0.000	1.129713	1.782637
30°	45°	-0.024745	1.000	-0.341613	0.292123
	60°	0.175165	0.609	-0.105780	0.456110
	90°	0.255245	0.171	-0.047374	0.557864
	180°	1.4188850'	0.000	1.157500	1.680270
45°	60°	0.199910	0.382	-0.078569	0.478389
	90°	0.279990	0.087	-0.020426	0.580406
	180°	1.4436300'	0.000	1.184992	1.702268
60°	90°	0.080080	0.999	-0.180849	0.341009
	180°	1.2437200'	0.000	1.037427	1.450013
90°	180°	1.1636400'	0.000	0.924797	1.402483
CD_115_4800					
0°	15°	0.582235	0.064	-0.019629	1.184099
	30°	.6948800'	0.000	0.323717	1.066043
	45°	.8148650'	0.000	0.346624	1.283106
	60°	1.1492850'	0.000	0.765806	1.532764
	90°	1.2575600'	0.000	0.785315	1.729805
	180°	2.4939000'	0.000	2.274316	2.713484
15°	30°	0.112645	1.000	-0.547886	0.773176
	45°	0.232630	0.998	-0.474932	0.940192
	60°	0.567050	0.158	-0.098800	1.232900
	90°	0.675325	0.075	-0.034418	1.385068
	180°	1.9116650'	0.000	1.300343	2.522987
30°	45°	0.119985	1.000	-0.428017	0.667987
	60°	0.454405	0.083	-0.029519	0.938329
	90°	.5626800'	0.042	0.011481	1.113879
	180°	1.7990200'	0.000	1.410243	2.187797
45°	60°	0.334420	0.666	-0.220584	0.889424
	90°	0.442695	0.374	-0.168532	1.053922
	180°	1.6790350'	0.000	1.197817	2.160253
60°	90°	0.108275	1.000	-0.449866	0.666416
	180°	1.3446150'	0.000	0.944271	1.744959
90°	180°	1.2363400'	0.000	0.751259	1.721421
CD_130_4800					
0°	15°	.8695100'	0.000	0.604870	1.134150
	30°	.8663300'	0.000	0.599641	1.133019
	45°	.7406350'	0.000	0.384959	1.096311

	60°	1.1682800	0.000	0.831348	1.505212
	90°	1.3539500	0.000	1.041634	1.666266
	180°	2.8772100	0.000	2.671269	3.083151
15°	30°	-0.003180	1.000	-0.320682	0.314322
	45°	-0.128875	0.998	-0.519891	0.262141
	60°	0.298770	0.234	-0.076069	0.673609
	90°	.4844400	0.002	0.130352	0.838528
	180°	2.0077000	0.000	1.733601	2.281799
30°	45°	-0.125695	0.998	-0.517856	0.266466
	60°	0.301950	0.225	-0.074108	0.678008
	90°	.4876200	0.002	0.132204	0.843036
	180°	2.0108800	0.000	1.734834	2.286926
45°	60°	0.427645	0.059	-0.008322	0.863612
	90°	.6133150	0.001	0.193649	1.032981
	180°	2.1365750	0.000	1.774660	2.498490
60°	90°	0.185670	0.941	-0.219525	0.590865
	180°	1.7089300	0.000	1.365272	2.052588
90°	180°	1.5232600	0.000	1.203463	1.843057
CD_150_4800					
0°	15°	0.163190	0.979	-0.247506	0.573886
	30°	.6495850	0.000	0.402922	0.896248
	45°	.9104500	0.000	0.662313	1.158587
	60°	.8064650	0.000	0.449899	1.163031
	90°	1.2045450	0.000	0.710499	1.698591
	180°	3.6070350	0.000	3.379397	3.834673
15°	30°	.4863950	0.008	0.089558	0.883232
	45°	.7472600	0.000	0.349684	1.144836
	60°	.6432750	0.001	0.181404	1.105146
	90°	1.0413550	0.000	0.475593	1.607117
	180°	3.4438450	0.000	3.056270	3.831420
30°	45°	.2608650	0.008	0.044149	0.477581
	60°	0.156880	0.921	-0.182492	0.496252
	90°	.5549600	0.015	0.071521	1.038399
	180°	2.9574500	0.000	2.766577	3.148323
45°	60°	-0.103985	0.999	-0.444280	0.236310
	90°	0.294095	0.601	-0.189908	0.778098
	180°	2.6965850	0.000	2.503551	2.889619
60°	90°	0.398080	0.323	-0.136146	0.932306
	180°	2.8005700	0.000	2.472783	3.128357
90°	180°	2.4024900	0.000	1.926150	2.878830
CD_170_4800					
0°	15°	0.095355	1.000	-0.514403	0.705113
	30°	0.250650	0.976	-0.372967	0.874267
	45°	0.291230	0.906	-0.322780	0.905240
	60°	.6817050	0.031	0.038423	1.324987
	90°	1.4088150	0.000	0.911101	1.906529
	180°	3.9217600	0.000	3.595916	4.247604
15°	30°	0.155295	1.000	-0.600424	0.911014
	45°	0.195875	1.000	-0.552666	0.944416
	60°	0.586350	0.300	-0.184262	1.356962
	90°	1.3134600	0.000	0.645871	1.981049
	180°	3.8264050	0.000	3.253020	4.399790
30°	45°	0.040580	1.000	-0.718230	0.799390
	60°	0.431055	0.788	-0.349393	1.211503
	90°	1.1581650	0.000	0.478418	1.837912
	180°	3.6711100	0.000	3.082675	4.259545
45°	60°	0.390475	0.879	-0.383139	1.164089
	90°	1.1175850	0.000	0.446275	1.788895
	180°	3.6305300	0.000	3.052519	4.208541
60°	90°	.7271100	0.035	0.029973	1.424247
	180°	3.2400550	0.000	2.630392	3.849718
90°	180°	2.5129450	0.000	2.065200	2.960690

Odnos obima i površine oštećenja

Tabela III.12 - Test homogenosti varijanse podgrupa s obzirom na uglove postavljanja uzoraka pri skeniranju - paralelno (MD) i poprečno (CD) savijeni uzorci - odnos obima i površine oštećenja

Uzorci	Leveneova statistika	df1	df2	Veličina značajnosti	Uzorci	Leveneova statistika	df1	df2	Veličina značajnosti
MD_90_1200	4.171	6	133	.001	CD_90_1200	6.208	6	133	.000
MD_115_1200	5.236	6	133	.000	CD_115_1200	4.702	6	133	.000
MD_130_1200	.650	6	133	.690*	CD_130_1200	5.505	6	133	.000
MD_150_1200	3.288	6	133	.005	CD_150_1200	12.923	6	133	.000
MD_170_1200	5.979	6	133	.000	CD_170_1200	6.234	6	133	.000
MD_90_2400	9.523	6	133	.000	CD_90_2400	8.416	6	133	.000
MD_115_2400	4.997	6	133	.000	CD_115_2400	8.739	6	133	.000
MD_130_2400	1.684	6	133	.130*	CD_130_2400	9.022	6	133	.000
MD_150_2400	3.867	6	133	.001	CD_150_2400	17.661	6	133	.000
MD_170_2400	6.790	6	133	.000	CD_170_2400	3.963	6	133	.001
MD_90_4800	8.679	6	133	.000	CD_90_4800	16.067	6	133	.000
MD_115_4800	4.953	6	133	.000	CD_115_4800	11.863	6	133	.000
MD_130_4800	2.555	6	133	.023	CD_130_4800	11.349	6	133	.000
MD_150_4800	4.267	6	133	.001	CD_150_4800	23.939	6	133	.000

MD_170_4800	8.204	6	133	.000	CD_170_4800	4.782	6	133	.000
-------------	-------	---	-----	------	-------------	-------	---	-----	------

*Potvrđena homogenost varijanse grupe

Tabela III.13 – ANOVA - podgrupa s obzirom na uglove postavljanja uzoraka pri skeniranju - paralelno (MD) i poprečno (CD) savijeni uzorci – odnos obima i površine oštećenja

Uzorci	Suma kvadrata			Stepen slobode			F vrednost	Veličina značajnosti	Eta kvadrat
	Između grupa	Unutar grupa	Ukupno	Između grupa	Unutar grupa	Ukupno			
MD_90_1200	.603	.528	1.131	6	133	139	25.327	.000	0.53327
MD_115_1200	.753	.781	1.534	6	133	139	21.384	.000	0.49101
MD_130_1200	1.026	.565	1.591	6	133	139	40.226	.000	0.64472
MD_150_1200	1.423	.566	1.989	6	133	139	55.721	.000	0.71540
MD_170_1200	1.580	.780	2.360	6	133	139	44.872	.000	0.66934
MD_90_2400	1.130	.687	1.817	6	133	139	36.448	.000	0.62183
MD_115_2400	.704	.597	1.301	6	133	139	26.165	.000	0.54137
MD_130_2400	.839	.486	1.325	6	133	139	38.315	.000	0.63350
MD_150_2400	.954	.343	1.298	6	133	139	61.589	.000	0.73534
MD_170_2400	.949	.539	1.488	6	133	139	39.031	.000	0.63778
MD_90_4800	.456	.304	.760	6	133	139	33.258	.000	0.60006
MD_115_4800	.312	.205	.517	6	133	139	33.828	.000	0.60413
MD_130_4800	.319	.179	.499	6	133	139	39.525	.000	0.64068
MD_150_4800	.357	.112	.469	6	133	139	70.607	.000	0.76107
MD_170_4800	.333	.141	.474	6	133	139	52.412	.000	0.70278
CD_90_1200	1.229	.301	1.530	6	133	139	90.447	.000	0.80316
CD_115_1200	1.712	.605	2.317	6	133	139	62.716	.000	0.73886
CD_130_1200	2.051	.318	2.369	6	133	139	143.098	.000	0.86587
CD_150_1200	3.007	.242	3.249	6	133	139	275.606	.000	0.92556
CD_170_1200	3.706	.290	3.997	6	133	139	282.936	.000	0.92735
CD_90_2400	1.492	.272	1.763	6	133	139	121.737	.000	0.84596
CD_115_2400	1.505	.428	1.933	6	133	139	78.003	.000	0.77871
CD_130_2400	1.219	.156	1.375	6	133	139	173.603	.000	0.88677
CD_150_2400	2.047	.145	2.193	6	133	139	312.251	.000	0.93372
CD_170_2400	1.991	.121	2.112	6	133	139	363.712	.000	0.94256
CD_90_4800	.684	.118	0.802	6	133	139	128.001	.000	0.85239
CD_115_4800	.603	.158	0.761	6	133	139	84.625	.000	0.79243
CD_130_4800	.414	.052	0.466	6	133	139	176.203	.000	0.88826
CD_150_4800	.732	.055	0.786	6	133	139	297.228	.000	0.93060
CD_170_4800	.668	.038	0.707	6	133	139	386.781	.000	0.94580

Tabela III.14 – Brown-Forsythe test - obzirom na uglove postavljanja uzoraka pri skeniranju - paralelno (MD) i poprečno (CD) savijeni uzorci - odnos obima i površine oštećenja

Brown-Forsythe									
Uzorci	Statistika ^a	df1	df2	Veličina značajnosti	Uzorci	Statistika ^a	df1	df2	Veličina značajnosti
MD_90_1200	25.327	6	108.029	.000	CD_90_1200	90.447	6	95.506	.000
MD_115_1200	21.384	6	110.088	.000	CD_115_1200	62.716	6	110.171	.000
MD_130_1200	40.226	6	122.713	.000	CD_130_1200	143.098	6	101.555	.000
MD_150_1200	55.721	6	110.912	.000	CD_150_1200	275.606	6	66.003	.000
MD_170_1200	44.872	6	84.247	.000	CD_170_1200	282.936	6	91.933	.000
MD_90_2400	36.448	6	91.227	.000	CD_90_2400	121.737	6	81.068	.000
MD_115_2400	26.165	6	100.863	.000	CD_115_2400	78.003	6	93.234	.000
MD_130_2400	38.315	6	111.881	.000	CD_130_2400	173.603	6	76.516	.000
MD_150_2400	61.589	6	107.421	.000	CD_150_2400	312.251	6	50.950	.000
MD_170_2400	39.031	6	78.305	.000	CD_170_2400	363.712	6	104.509	.000
MD_90_4800	33.258	6	89.752	.000	CD_90_4800	128.001	6	51.440	.000
MD_115_4800	33.828	6	100.344	.000	CD_115_4800	84.625	6	77.330	.000
MD_130_4800	39.525	6	106.033	.000	CD_130_4800	176.203	6	63.196	.000
MD_150_4800	70.607	6	104.313	.000	CD_150_4800	297.228	6	40.407	.000
MD_170_4800	52.412	6	65.838	.000	CD_170_4800	386.781	6	91.661	.000

Tabela III.15 – Rezultati naknadnog testa (Dunett T3) statističke značajnosti razlika između svakog para grupa uzoraka za sve gramature, paralelno savijenih i skeniranih sa rezolucijom 1200 spi - odnos obima i površine oštećenja

Zavisna promenljiva (I)	Uglovi (J)	Srednja razlika (I-J)	Veličina značajnosti	95% Interval poverenja	
				Donja granica	Gornja granica
MD_90_1200					
0°	15°	-.1018650	0.000	-0.164051	-0.039679
	30°	-.0822250	0.003	-0.143034	-0.021416
	45°	-.1236650	0.000	-0.181948	-0.065382
	60°	-.1413150	0.000	-0.194256	-0.088374
	90°	-.1700400	0.000	-0.208508	-0.131572
15°	180°	-.2250000	0.000	-0.271683	-0.178317
	30°	0.019640	1.000	-0.059603	0.098883
	45°	-0.021800	1.000	-0.099362	0.055762
	60°	-0.039450	0.828	-0.113644	0.034744
30°	90°	-0.0681750	0.041	-0.134759	-0.001591
	180°	-.1231350	0.000	-0.193746	-0.052524
	45°	-0.041440	0.812	-0.118014	0.035134
45°	60°	-0.059090	0.220	-0.132226	0.014046
	90°	-.0878150	0.002	-0.153152	-0.022478
	180°	-.1427750	0.000	-0.212246	-0.073304
60°	90°	-0.017650	1.000	-0.088882	0.053582
	90°	-0.046375	0.339	-0.109443	0.016693

	180°	-1.013350'	0.000	-0.168743	-0.033927
60°	90°	-0.028725	0.891	-0.087084	0.029634
	180°	-0.0836850'	0.003	-0.146870	-0.020500
90°	180°	-0.0549600'	0.037	-0.108004	-0.001916
MD_115_1200					
0°	15°	-1.466700'	0.000	-0.215486	-0.077854
	30°	-1.796900'	0.000	-0.241784	-0.117596
	45°	-1.1510350'	0.000	-0.209541	-0.092529
	60°	-1.1547550'	0.000	-0.232356	-0.077154
	90°	-1.1292900'	0.000	-0.184263	-0.074317
	180°	-2.677900'	0.000	-0.330490	-0.205090
15°	30°	-0.033020	0.988	-0.118463	0.052423
	45°	-0.004365	1.000	-0.087623	0.078893
	60°	-0.008085	1.000	-0.104112	0.087942
	90°	0.017380	1.000	-0.063840	0.098600
	180°	-1.211200'	0.001	-0.206942	-0.035298
30°	45°	0.028655	0.993	-0.049655	0.106965
	60°	0.024935	1.000	-0.067157	0.117027
	90°	0.050400	0.517	-0.025669	0.126469
	180°	-0.0881000'	0.024	-0.169212	-0.006988
45°	60°	-0.003720	1.000	-0.093867	0.086427
	90°	0.021745	1.000	-0.051703	0.095193
	180°	-1.167550'	0.001	-0.195498	-0.038012
	90°	0.025465	1.000	-0.062880	0.113810
60°	180°	-1.130350'	0.007	-0.205467	-0.020603
90°	180°	-1.385000'	0.000	-0.215021	-0.061979
MD_130_1200					
0°	15°	-1.753500'	0.000	-0.232148	-0.118552
	30°	-1.1977450'	0.000	-0.260238	-0.135252
	45°	-1.1776800'	0.000	-0.235566	-0.119794
	60°	-1.1648550'	0.000	-0.223712	-0.105998
	90°	-2.106250'	0.000	-0.279388	-0.141862
	180°	-3.120900'	0.000	-0.367377	-0.256803
15°	30°	-0.022395	0.998	-0.090895	0.046105
	45°	-0.002330	1.000	-0.066865	0.062205
	60°	0.010495	1.000	-0.054868	0.075858
	90°	-0.035275	0.917	-0.109319	0.038769
	180°	-1.367400'	0.000	-0.199088	-0.074392
30°	45°	0.020065	1.000	-0.049260	0.089390
	60°	0.032890	0.929	-0.037179	0.102959
	90°	-0.012880	1.000	-0.090878	0.065118
	180°	-1.143450'	0.000	-0.181715	-0.046975
45°	60°	0.012825	1.000	-0.053422	0.079072
	90°	-0.032945	0.956	-0.107724	0.041834
	180°	-1.344100'	0.000	-0.197706	-0.071114
60°	90°	-0.045770	0.656	-0.121214	0.029674
90°	180°	-1.472350'	0.000	-0.211382	-0.083088
90°	180°	-1.014650'	0.001	-0.174506	-0.028424
MD_150_1200					
0°	15°	-1.704250'	0.000	-0.222599	-0.118251
	30°	-2.146050'	0.000	-0.264425	-0.164785
	45°	-2.261000'	0.000	-0.284706	-0.167494
	60°	-2.372850'	0.000	-0.293471	-0.181099
	90°	-2.451800'	0.000	-0.310772	-0.179588
	180°	-3.624250'	0.000	-0.408959	-0.315891
15°	30°	-0.044180	0.495	-0.109899	0.021539
	45°	-0.055675	0.275	-0.127584	0.016234
	60°	-0.066860	0.074	-0.136997	0.003277
	90°	-0.074755	0.065	-0.152021	0.002511
	180°	-1.920000'	0.000	-0.255594	-0.128406
30°	45°	-0.011495	1.000	-0.081969	0.058979
	60°	-0.022680	0.998	-0.091326	0.045966
	90°	-0.030575	0.981	-0.106556	0.045406
	180°	-1.478200'	0.000	-0.209677	-0.085963
45°	60°	-0.011185	1.000	-0.085667	0.063297
	90°	-0.019080	1.000	-0.100136	0.061976
	180°	-1.363250'	0.000	-0.204894	-0.067756
60°	90°	-0.007895	1.000	-0.087479	0.071689
90°	180°	-1.251400'	0.000	-0.191801	-0.058479
90°	180°	-1.172450'	0.000	-0.191530	-0.042960
MD_170_1200					
0°	15°	-1.258950'	0.000	-0.187281	-0.064509
	30°	-1.246300'	0.000	-0.170345	-0.078915
	45°	-1.1697700'	0.000	-0.233448	-0.106092
	60°	-1.198650'	0.008	-0.217046	-0.022684
	90°	-2.456150'	0.000	-0.290582	-0.200648
	180°	-3.651100'	0.000	-0.426013	-0.304207
15°	30°	0.001265	1.000	-0.068653	0.071183
	45°	-0.043875	0.812	-0.124960	0.037210
	60°	0.006030	1.000	-0.101748	0.113808
	90°	-1.197200'	0.000	-0.189245	-0.050195
	180°	-2.392150'	0.000	-0.318384	-0.160046
30°	45°	-0.045140	0.594	-0.116972	0.026692
	60°	0.004765	1.000	-0.097219	0.106749
	90°	-1.209850'	0.000	-0.178250	-0.063720

	180°	-.2404800'	0.000	-0.309998	-0.170962
45°	60°	0.049905	0.934	-0.058886	0.158696
	90°	-.0758450'	0.030	-0.147299	-0.004391
	180°	-.1953400'	0.000	-0.276105	-0.114575
60°	90°	-.1257500'	0.007	-0.227507	-0.023993
	180°	-.2452450'	0.000	-0.352814	-0.137676
90°	180°	-.1194950'	0.000	-0.188616	-0.050374

Tabela III.16 – Rezultati naknadnog testa (Dunett T3) statističke značajnosti razlika između svakog para grupa uzoraka za sve gramature, poprečno savijenih i skeniranih sa rezolucijom 1200 spi - odnos obima i površine oštećenja

Zavisna promenljiva (I)	Uglovi (J)	Srednja razlika (I-J)	Veličina značajnosti	95% Interval poverenja	
				Donja granica	Gornja granica
CD_90_1200					
0°	15°	-.1518000'	0.000	-0.202031	-0.101569
	30°	-.1427400'	0.000	-0.196549	-0.088931
	45°	-.1143600'	0.000	-0.153195	-0.075525
	60°	-.1747400'	0.000	-0.210524	-0.138956
	90°	-.1752250'	0.000	-0.212442	-0.138008
	180°	-.3416350'	0.000	-0.366817	-0.316453
15°	30°	0.009060	1.000	-0.057790	0.075910
	45°	0.037440	0.529	-0.019673	0.094553
	60°	-0.022940	0.973	-0.078405	0.032525
	90°	-0.023425	0.972	-0.079648	0.032798
30°	180°	-.1898350'	0.000	-0.240655	-0.139015
	45°	0.028380	0.920	-0.031743	0.088503
	60°	-0.032000	0.786	-0.090601	0.026601
	90°	-0.032485	0.785	-0.091785	0.026815
45°	180°	-.1988950'	0.000	-0.253242	-0.144548
	60°	-0.0603800'	0.003	-0.106432	-0.014328
	90°	-0.0608650'	0.003	-0.107913	-0.013817
60°	180°	-.2272750'	0.000	-0.266950	-0.187600
	90°	-0.000485	1.000	-0.045296	0.044326
90°	180°	-.1668950'	0.000	-0.203623	-0.130167
	180°	-.1664100'	0.000	-0.204520	-0.128300
CD_115_1200					
0°	15°	-.1263300'	0.000	-0.192739	-0.059921
	30°	-.1008400'	0.000	-0.158280	-0.043400
	45°	-.1167000'	0.000	-0.175070	-0.058330
	60°	-.1858250'	0.000	-0.238005	-0.133645
	90°	-.1702750'	0.000	-0.233770	-0.106780
	180°	-.3898500'	0.000	-0.433059	-0.346641
15°	30°	0.025490	0.999	-0.054825	0.105805
	45°	0.009630	1.000	-0.071255	0.090515
	60°	-0.059495	0.280	-0.136744	0.017754
	90°	-0.043945	0.849	-0.128102	0.040212
30°	180°	-.2635200'	0.000	-0.336198	-0.190842
	45°	-0.015860	1.000	-0.090312	0.058592
	60°	-0.0849850'	0.008	-0.155283	-0.014687
	90°	-0.069435	0.123	-0.147570	0.008700
45°	180°	-.2890100'	0.000	-0.353977	-0.224043
	60°	-0.069125	0.062	-0.140118	0.001868
	90°	-0.053575	0.474	-0.132304	0.025154
60°	180°	-.2731500'	0.000	-0.338898	-0.207402
	90°	0.015550	1.000	-0.059382	0.090482
90°	180°	-.2040250'	0.000	-0.264679	-0.143371
	180°	-.2195750'	0.000	-0.289706	-0.149444
CD_130_1200					
0°	15°	-.1779500'	0.000	-0.211138	-0.144762
	30°	-.1510650'	0.000	-0.175581	-0.126549
	45°	-.1216650'	0.000	-0.167697	-0.075633
	60°	-.2181350'	0.000	-0.264687	-0.171583
	90°	-.1999200'	0.000	-0.247269	-0.152571
	180°	-.4336000'	0.000	-0.476875	-0.390325
15°	30°	0.026885	0.395	-0.010882	0.064652
	45°	.0562850'	0.029	0.003477	0.109093
	60°	-0.040185	0.306	-0.093421	0.013051
	90°	-0.021970	0.977	-0.075868	0.031928
30°	180°	-.2556500'	0.000	-0.306219	-0.205081
	45°	0.029400	0.647	-0.019675	0.078475
	60°	-.0670700'	0.002	-0.116622	-0.017518
	90°	-0.048855	0.063	-0.099141	0.001431
45°	180°	-.2825350'	0.000	-0.329099	-0.235971
	60°	-.0964700'	0.000	-0.157235	-0.035705
	90°	-.0782550'	0.004	-0.139563	-0.016947
60°	180°	-.3119350'	0.000	-0.370538	-0.253332
	90°	0.018215	1.000	-0.043437	0.079867
90°	180°	-.2154650'	0.000	-0.274435	-0.156495
	180°	-.2336800'	0.000	-0.293219	-0.174141
CD_150_1200					
0°	15°	-.1123100'	0.000	-0.131392	-0.093228
	30°	-.0522850'	0.000	-0.085024	-0.019546
	45°	-.1445400'	0.000	-0.161679	-0.127401
	60°	-.1309150'	0.000	-0.160974	-0.100856
	90°	-.1849450'	0.000	-0.244134	-0.125756

	180°	-.4903850'	0.000	-0.529842	-0.450928
15°	30°	.0600250'	0.000	0.024821	0.095229
	45°	-.0322300'	0.001	-0.054744	-0.009716
	60°	-0.018605	0.736	-0.051411	0.014201
	90°	-.0726350'	0.010	-0.133013	-0.012257
	180°	-.3780750'	0.000	-0.419479	-0.336671
30°	45°	-.0922550'	0.000	-0.126725	-0.057785
	60°	-.0786300'	0.000	-0.119587	-0.037673
	90°	-.1326600'	0.000	-0.196838	-0.068482
	180°	-.4381000'	0.000	-0.485671	-0.390529
45°	60°	0.013625	0.960	-0.018366	0.045616
	90°	-0.040405	0.435	-0.100434	0.019624
	180°	-.3458450'	0.000	-0.386669	-0.305021
60°	90°	-0.054030	0.151	-0.117267	0.009207
	180°	-.3594700'	0.000	-0.405558	-0.313382
90°	180°	-.3054400'	0.000	-0.372396	-0.238484
CD_170_1200					
0°	15°	-0.039755	0.065	-0.080909	0.001399
	30°	-.0534050'	0.001	-0.089424	-0.017386
	45°	-.0726500'	0.000	-0.112193	-0.033107
	60°	-.0994050'	0.000	-0.155349	-0.043461
	90°	-.1087300'	0.000	-0.141334	-0.076126
	180°	-.5170150'	0.000	-0.542270	-0.491760
15°	30°	-0.013650	1.000	-0.063677	0.036377
	45°	-0.032895	0.603	-0.085173	0.019383
	60°	-0.059650	0.092	-0.124194	0.004894
	90°	-.0689750'	0.001	-0.116993	-0.020957
30°	180°	-.4772600'	0.000	-0.521618	-0.432902
	45°	-0.019245	0.985	-0.068075	0.029585
	60°	-0.046000	0.329	-0.108084	0.016084
	90°	-.0553250'	0.005	-0.099372	-0.011278
45°	180°	-.4636100'	0.000	-0.503429	-0.423791
	60°	-0.026755	0.970	-0.090489	0.036979
	90°	-0.036080	0.278	-0.082822	0.010662
60°	180°	-.4443650'	0.000	-0.487280	-0.401450
	90°	-0.009325	1.000	-0.069971	0.051321
	180°	-.4176100'	0.000	-0.475722	-0.359498
90°	180°	-.4082850'	0.000	-0.445198	-0.371372

Tabela III.17 – Rezultati naknadnog testa (Dunett T3) statističke značajnosti razlika između svakog para grupa uzoraka za sve gramature, paralelno savijenih i skeniranih sa rezolucijom 2400 spi - odnos obima i površine oštećenja

Zavisna promenljiva (I)	Uglovi (J)	Srednja razlika (I-J)	Veličina značajnosti	95% Interval poverenja	
				Donja granica	Gornja granica
MD_90_2400					
0°	15°	-.0938300'	0.001	-0.153687	-0.033973
	30°	-.0646150'	0.007	-0.116348	-0.012882
	45°	-.0760950'	0.000	-0.117982	-0.034208
	60°	-.1596550'	0.000	-0.229752	-0.089558
	90°	-.1540000'	0.000	-0.198752	-0.109248
	180°	-.3035450'	0.000	-0.387847	-0.219243
15°	30°	0.029215	0.982	-0.043345	0.101775
	45°	0.017735	1.000	-0.049392	0.084862
	60°	-0.065825	0.277	-0.150983	0.019333
	90°	-0.060170	0.132	-0.128764	0.008424
30°	180°	-.2097150'	0.000	-0.306142	-0.113288
	45°	-0.011480	1.000	-0.071905	0.048945
	60°	-.0950400'	0.010	-0.175680	-0.014400
	90°	-.0893850'	0.001	-0.151519	-0.027251
45°	180°	-.2389300'	0.000	-0.331646	-0.146214
	60°	-.0835600'	0.022	-0.159624	-0.007496
	90°	-.0779050'	0.001	-0.132966	-0.022844
60°	180°	-.2274500'	0.000	-0.316485	-0.138415
	90°	0.005655	1.000	-0.071632	0.082942
	180°	-.1438900'	0.001	-0.245796	-0.041984
90°	180°	-.1495450'	0.000	-0.239557	-0.059533
MD_115_2400					
0°	15°	-.1164650'	0.000	-0.173577	-0.059353
	30°	-.1422000'	0.000	-0.194851	-0.089549
	45°	-.1217550'	0.000	-0.165170	-0.078340
	60°	-.1232600'	0.000	-0.187138	-0.059382
	90°	-.1019500'	0.000	-0.144149	-0.059751
	180°	-.2616850'	0.000	-0.333106	-0.190264
15°	30°	-0.025735	0.995	-0.097822	0.046352
	45°	-0.005290	1.000	-0.072007	0.061427
	60°	-0.006795	1.000	-0.086523	0.072933
	90°	0.014515	1.000	-0.051568	0.080598
30°	180°	-.1452200'	0.000	-0.230616	-0.059824
	45°	0.020445	0.998	-0.042768	0.083658
	60°	0.018940	1.000	-0.058149	0.096029
	90°	0.040250	0.561	-0.022275	0.102775
45°	180°	-.1194850'	0.001	-0.202510	-0.036460
	60°	-0.001505	1.000	-0.073784	0.070774
	90°	0.019805	0.995	-0.035882	0.075492
180°	-.1399300'	0.000	-0.218684	-0.061176	

60°	90°	0.021310	0.999	-0.050406	0.093026
	180°	-1.384250°	0.000	-0.227763	-0.049087
90°	180°	-1.597350°	0.000	-0.237995	-0.081475
MD_130_2400					
0°	15°	-1.460850°	0.000	-0.190190	-0.101980
	30°	-1.1710950°	0.000	-0.229855	-0.112335
	45°	-1.1513050°	0.000	-0.198192	-0.104418
	60°	-1.1327950°	0.000	-0.178468	-0.087122
	90°	-1.1737600°	0.000	-0.233486	-0.114034
	180°	-2.847550°	0.000	-0.344888	-0.224622
15°	30°	-0.025010	0.985	-0.089145	0.039125
	45°	-0.005220	1.000	-0.059298	0.048858
	60°	0.013290	1.000	-0.039813	0.066393
	90°	-0.027675	0.966	-0.092661	0.037311
30°	180°	-1.386700°	0.000	-0.204017	-0.073323
	45°	0.019790	0.999	-0.045975	0.085555
	60°	0.038300	0.695	-0.026743	0.103343
	90°	-0.002665	1.000	-0.076976	0.071646
45°	180°	-1.136600°	0.000	-0.188265	-0.039055
	60°	0.018510	0.998	-0.036735	0.073755
	90°	-0.022455	0.997	-0.089041	0.044131
60°	180°	-1.334500°	0.000	-0.200383	-0.066517
	90°	-0.040965	0.612	-0.106842	0.024912
90°	180°	-1.1519600°	0.000	-0.218190	-0.085730
	180°	-1.109950°	0.001	-0.186281	-0.035709
MD_150_2400					
0°	15°	-1.052150°	0.000	-0.139572	-0.070858
	30°	-1.1455150°	0.000	-0.181802	-0.109228
	45°	-1.1568100°	0.000	-0.197900	-0.115720
	60°	-1.1466450°	0.000	-0.192717	-0.100573
	90°	-1.1597350°	0.000	-0.203908	-0.115562
	180°	-3.022850°	0.000	-0.354271	-0.250299
15°	30°	-0.040300	0.129	-0.085976	0.005376
	45°	-0.0515950°	0.033	-0.100837	-0.002353
	60°	-0.041430	0.264	-0.094622	0.011762
	90°	-0.0545200°	0.031	-0.106180	-0.002860
30°	180°	-1.970700°	0.000	-0.255204	-0.138936
	45°	-0.011295	1.000	-0.061697	0.039107
	60°	-0.001130	1.000	-0.055358	0.053098
	90°	-0.014220	1.000	-0.066961	0.038521
45°	180°	-1.567700°	0.000	-0.215814	-0.097726
	60°	0.010165	1.000	-0.046870	0.067200
	90°	-0.002925	1.000	-0.058585	0.052735
60°	180°	-1.454750°	0.000	-0.207007	-0.083943
	90°	-0.013090	1.000	-0.072084	0.045904
90°	180°	-1.556400°	0.000	-0.220066	-0.091214
90°	180°	-1.425500°	0.000	-0.205837	-0.079263
MD_170_2400					
0°	15°	-0.0847600°	0.000	-0.126357	-0.043163
	30°	-0.0756900°	0.000	-0.103477	-0.047903
	45°	-1.1135550°	0.000	-0.155407	-0.071703
	60°	-0.0960400°	0.008	-0.173068	-0.019012
	90°	-1.1501950°	0.000	-0.193396	-0.106994
	180°	-2.886900°	0.000	-0.359772	-0.217608
15°	30°	0.009070	1.000	-0.036856	0.054996
	45°	-0.028795	0.831	-0.082962	0.025372
	60°	-0.011280	1.000	-0.094299	0.071739
	90°	-0.0654350°	0.009	-0.120535	-0.010335
30°	180°	-2.039300°	0.000	-0.281626	-0.126234
	45°	-0.037865	0.197	-0.084014	0.008284
	60°	-0.020350	1.000	-0.099387	0.058687
	90°	-0.0745050°	0.000	-0.121834	-0.027176
45°	180°	-2.130000°	0.000	-0.286296	-0.139704
	60°	0.017515	1.000	-0.065596	0.100626
	90°	-0.036640	0.518	-0.091910	0.018630
60°	180°	-1.751350°	0.000	-0.252932	-0.097338
	90°	-0.054155	0.531	-0.137764	0.029454
90°	180°	-1.926500°	0.000	-0.290445	-0.094855
90°	180°	-1.384950°	0.000	-0.216840	-0.060150

Tabela III.18 – Rezultati naknadnog testa (Dunett T3) statističke značajnosti razlika između svakog para grupa uzoraka za sve gramature, poprečno savijenih i skeniranih sa rezolucijom 2400 spi - odnos obima i površine oštećenja

Zavisna promenljiva (I)	Uglovi (J)	Srednja razlika (I-J)	Veličina značajnosti	95% Interval poverenja	
				Donja granica	Gornja granica
CD_90_2400					
0°	15°	-1.1150950°	0.000	-0.154287	-0.075903
	30°	-0.952250°	0.000	-0.131197	-0.059253
	45°	-0.0756500°	0.000	-0.104654	-0.046646
	60°	-1.1319750°	0.000	-0.157619	-0.106331
	90°	-1.1293800°	0.000	-0.161152	-0.097608
	180°	-3.608700°	0.000	-0.419474	-0.302266
15°	30°	0.019870	0.979	-0.028811	0.068551
	45°	0.039445	0.126	-0.005163	0.084053
	60°	-0.016880	0.983	-0.059826	0.026066

30°	90°	-0.014285	0.999	-0.060415	0.031845
	180°	-2457750'	0.000	-0.311673	-0.179877
	45°	0.019575	0.930	-0.022409	0.061559
	60°	-0.036750	0.099	-0.076906	0.003406
	90°	-0.034155	0.261	-0.077800	0.009490
	180°	-2656450'	0.000	-0.330123	-0.201167
45°	60°	-0.0563250'	0.000	-0.090781	-0.021869
	90°	-0.0537300'	0.001	-0.092463	-0.014997
	180°	-2852200'	0.000	-0.347099	-0.223341
60°	90°	0.002595	1.000	-0.034059	0.039249
	180°	-2288950'	0.000	-0.289757	-0.168033
90°	180°	-2314900'	0.000	-0.294323	-0.168657
CD_115_2400					
0°	15°	-0.0971300'	0.000	-0.143282	-0.050978
	30°	-0.0645000'	0.000	-0.102724	-0.026276
	45°	-0.0765900'	0.000	-0.117893	-0.035287
	60°	-0.1290800'	0.000	-0.170097	-0.088063
	90°	-0.1130650'	0.000	-0.157577	-0.068553
	180°	-3550150'	0.000	-0.423304	-0.286726
15°	30°	0.032630	0.695	-0.022598	0.087858
	45°	0.020540	0.994	-0.036535	0.077615
	60°	-0.031950	0.766	-0.088848	0.024948
	90°	-0.015935	1.000	-0.075063	0.043193
30°	180°	-2578850'	0.000	-0.335160	-0.180610
	45°	-0.012090	1.000	-0.063693	0.039513
	60°	-0.0645800'	0.005	-0.115977	-0.013183
	90°	-0.048565	0.112	-0.102540	0.005410
45°	180°	-2905150'	0.000	-0.364451	-0.216579
	60°	-0.052490	0.058	-0.105936	0.000956
	90°	-0.036475	0.543	-0.092360	0.019410
	180°	-2784250'	0.000	-0.353572	-0.203278
60°	90°	0.016015	1.000	-0.039688	0.071718
	180°	-2259350'	0.000	-0.300965	-0.150905
90°	180°	-2419500'	0.000	-0.318476	-0.165424
CD_130_2400					
0°	15°	-0.1114000'	0.000	-0.132859	-0.089941
	30°	-0.0885900'	0.000	-0.102174	-0.075006
	45°	-0.0700450'	0.000	-0.098488	-0.041602
	60°	-0.1369750'	0.000	-0.160297	-0.113653
	90°	-0.1138100'	0.000	-0.144411	-0.083209
	180°	-3266300'	0.000	-0.371093	-0.282167
15°	30°	0.022810	0.065	-0.000753	0.046373
	45°	.0413550'	0.006	0.008128	0.074582
	60°	-0.025575	0.139	-0.054899	0.003749
	90°	-0.002410	1.000	-0.037396	0.032576
30°	180°	-2152300'	0.000	-0.262476	-0.167984
	45°	0.018545	0.588	-0.011377	0.048467
	60°	-0.0483850'	0.000	-0.073602	-0.023168
	90°	-0.025220	0.231	-0.057171	0.006731
45°	180°	-2380400'	0.000	-0.283367	-0.192713
	60°	-0.0669300'	0.000	-0.101174	-0.032686
	90°	-0.0437650'	0.017	-0.082675	-0.004855
	180°	-2565850'	0.000	-0.306448	-0.206722
60°	90°	0.023165	0.557	-0.012765	0.059095
	180°	-1896550'	0.000	-0.237514	-0.141796
90°	180°	-2128200'	0.000	-0.263663	-0.161977
CD_150_2400					
0°	15°	-0.0657400'	0.000	-0.077613	-0.053867
	30°	-0.0267300'	0.001	-0.044225	-0.009235
	45°	-0.0855100'	0.000	-0.095515	-0.075505
	60°	-0.0711100'	0.000	-0.088335	-0.053885
	90°	-0.1077500'	0.000	-0.144254	-0.071246
	180°	-3916400'	0.000	-0.440616	-0.342664
15°	30°	.0390100'	0.000	0.019498	0.058522
	45°	-0.0197700'	0.001	-0.033604	-0.005936
	60°	-0.005370	1.000	-0.024651	0.013911
	90°	-0.0420100'	0.019	-0.079331	-0.004689
30°	180°	-3259000'	0.000	-0.375460	-0.276340
	45°	-0.0587800'	0.000	-0.077479	-0.040081
	60°	-0.0443800'	0.000	-0.066995	-0.021765
	90°	-0.0810200'	0.000	-0.119747	-0.042293
45°	180°	-3649100'	0.000	-0.415448	-0.314372
	60°	0.014400	0.253	-0.004053	0.032853
	90°	-0.022240	0.603	-0.059235	0.014755
	180°	-3061300'	0.000	-0.355460	-0.256800
60°	90°	-0.036640	0.075	-0.075284	0.002004
	180°	-3205300'	0.000	-0.371011	-0.270049
90°	180°	-2838900'	0.000	-0.341375	-0.226405
CD_170_2400					
0°	15°	-0.019755	0.120	-0.042157	0.002647
	30°	-0.0279850'	0.002	-0.048252	-0.007718
	45°	-0.0414500'	0.000	-0.063593	-0.019307
	60°	-0.0568300'	0.000	-0.088343	-0.025317
	90°	-0.0761000'	0.000	-0.101012	-0.051188
	180°	-3714250'	0.000	-0.400845	-0.342005

15°	30°	-0.008230	0.999	-0.035816	0.019356
	45°	-0.021695	0.316	-0.050512	0.007122
	60°	-0.0370750	0.039	-0.073039	-0.001111
	90°	-0.0563450	0.000	-0.087120	-0.025570
	180°	-0.3516700	0.000	-0.385924	-0.317416
30°	45°	-0.013465	0.899	-0.040860	0.013930
	60°	-0.028845	0.190	-0.063806	0.006116
	90°	-0.0481150	0.000	-0.077611	-0.018619
	180°	-0.3434400	0.000	-0.376613	-0.310267
45°	60°	-0.015380	0.963	-0.051217	0.020457
	90°	-0.0346500	0.016	-0.065264	-0.004036
	180°	-0.3299750	0.000	-0.364092	-0.295858
60°	90°	-0.019270	0.854	-0.056547	0.018007
	180°	-0.3145950	0.000	-0.354557	-0.274633
90°	180°	-0.2953250	0.000	-0.330987	-0.259663

Tabela III.19 – Rezultati naknadnog testa (Dunett T3) statističke značajnosti razlika između svakog para grupa uzoraka za sve gramature, paralelno savijenih i skeniranih sa rezolucijom 4800 spi - odnos obima i površine oštećenja

Zavisna promenljiva (I)	Uglovi (J)	Srednja razlika (I-J)	Veličina značajnosti	95% Interval poverenja	
				Donja granica	Gornja granica
MD_90_4800					
0°	15°	-0.0535250	0.002	-0.090709	-0.016341
	30°	-0.0368000	0.005	-0.065198	-0.008402
	45°	-0.0609950	0.000	-0.093794	-0.028196
	60°	-0.1084050	0.000	-0.161052	-0.055758
	90°	-0.0958550	0.000	-0.125031	-0.066679
	180°	-0.1915800	0.000	-0.244425	-0.138735
15°	30°	0.016725	0.987	-0.026378	0.059828
	45°	-0.007470	1.000	-0.053110	0.038170
	60°	-0.054880	0.102	-0.115124	0.005364
	90°	-0.042330	0.063	-0.085857	0.001197
	180°	-0.1380550	0.000	-0.198463	-0.077647
30°	45°	-0.024195	0.649	-0.063857	0.015467
	60°	-0.0716050	0.005	-0.128110	-0.015100
	90°	-0.0590550	0.000	-0.096065	-0.022045
45°	180°	-0.1547800	0.000	-0.211465	-0.098095
	60°	-0.047410	0.205	-0.105646	0.010826
	90°	-0.034860	0.143	-0.075001	0.005281
60°	180°	-0.1305850	0.000	-0.188993	-0.072177
	90°	0.012550	1.000	-0.044240	0.069340
	180°	-0.0831750	0.009	-0.152601	-0.013749
90°	180°	-0.0957250	0.000	-0.152693	-0.038757
MD_115_4800					
0°	15°	-0.0678050	0.000	-0.101088	-0.034522
	30°	-0.0824900	0.000	-0.114238	-0.050742
	45°	-0.0724600	0.000	-0.097314	-0.047606
	60°	-0.0708200	0.000	-0.108783	-0.032857
	90°	-0.0596150	0.000	-0.083672	-0.035558
	180°	-0.1731400	0.000	-0.214631	-0.131649
15°	30°	-0.014685	0.997	-0.057397	0.028027
	45°	-0.004655	1.000	-0.043324	0.034014
	60°	-0.003015	1.000	-0.050035	0.044005
	90°	0.008190	1.000	-0.030073	0.046453
30°	180°	-0.1053350	0.000	-0.155017	-0.055653
	45°	0.010030	1.000	-0.027413	0.047473
	60°	0.011670	1.000	-0.034445	0.057785
	90°	0.022875	0.624	-0.014141	0.059891
45°	180°	-0.0906500	0.000	-0.139501	-0.041799
	60°	0.001640	1.000	-0.040922	0.044202
	90°	0.012845	0.981	-0.018971	0.044661
60°	180°	-0.1006800	0.000	-0.146297	-0.055063
	90°	0.011205	1.000	-0.031004	0.053414
90°	180°	-0.1023200	0.000	-0.154761	-0.049879
90°	180°	-0.1135250	0.000	-0.158824	-0.068226
MD_130_4800					
0°	15°	-0.0874200	0.000	-0.112903	-0.061937
	30°	-0.1029200	0.000	-0.138745	-0.067095
	45°	-0.0900600	0.000	-0.117617	-0.062503
	60°	-0.0784250	0.000	-0.104979	-0.051871
	90°	-0.1054400	0.000	-0.139148	-0.071732
15°	180°	-0.1756700	0.000	-0.215213	-0.136127
	30°	-0.015500	0.982	-0.054496	0.023496
	45°	-0.002640	1.000	-0.034634	0.029354
	60°	0.008995	1.000	-0.022204	0.040194
90°	180°	-0.018020	0.903	-0.055161	0.019121

	180°	-0.882500	0.000	-0.130579	-0.045921
30°	45°	0.012860	0.998	-0.027274	0.052994
	60°	0.024495	0.618	-0.015078	0.064068
	90°	-0.002520	1.000	-0.046487	0.041447
	180°	-0.0727500	0.000	-0.120876	-0.024624
	60°	0.011635	0.995	-0.021131	0.044401
45°	90°	-0.015380	0.982	-0.053742	0.022982
	180°	-0.0856100	0.000	-0.128950	-0.042270
	90°	-0.027015	0.388	-0.064776	0.010746
60°	180°	-0.0972450	0.000	-0.140086	-0.054404
	180°	-0.0702300	0.000	-0.117025	-0.023435
MD_150_4800					
0°	15°	-0.0564800	0.000	-0.075554	-0.037406
	30°	-0.0767200	0.000	-0.102272	-0.051168
	45°	-0.0880850	0.000	-0.111441	-0.064729
	60°	-0.0859800	0.000	-0.109582	-0.062378
	90°	-0.0933750	0.000	-0.115118	-0.071632
	180°	-0.1834650	0.000	-0.214937	-0.151993
15°	30°	-0.020240	0.452	-0.049701	0.009221
	45°	-0.0316050	0.015	-0.059312	-0.003898
	60°	-0.0295000	0.031	-0.057399	-0.001601
	90°	-0.0368950	0.001	-0.063366	-0.010424
	180°	-0.1269850	0.000	-0.161486	-0.092484
30°	45°	-0.011365	0.995	-0.043305	0.020575
	60°	-0.009260	1.000	-0.041356	0.022836
	90°	-0.016655	0.816	-0.047608	0.014298
	180°	-0.1067450	0.000	-0.144427	-0.069063
45°	60°	0.002105	1.000	-0.028463	0.032673
	90°	-0.005290	1.000	-0.034624	0.024044
	180°	-0.0953800	0.000	-0.131876	-0.058884
60°	90°	-0.007395	1.000	-0.036905	0.022115
	180°	-0.0974850	0.000	-0.134109	-0.060861
90°	180°	-0.0900900	0.000	-0.125784	-0.054396
MD_170_4800					
0°	15°	-0.0534900	0.000	-0.072621	-0.034359
	30°	-0.0401800	0.000	-0.055225	-0.025135
	45°	-0.0641850	0.000	-0.085728	-0.042642
	60°	-0.0674500	0.000	-0.091769	-0.043131
	90°	-0.0911500	0.000	-0.117984	-0.064316
	180°	-0.1704900	0.000	-0.216505	-0.124475
15°	30°	0.013310	0.654	-0.008643	0.035263
	45°	-0.010695	0.980	-0.036975	0.015585
	60°	-0.013960	0.897	-0.042389	0.014469
	90°	-0.0376600	0.006	-0.068144	-0.007176
	180°	-0.1170000	0.000	-0.164891	-0.069109
30°	45°	-0.0240050	0.050	-0.047982	-0.000028
	60°	-0.0272700	0.038	-0.053677	-0.000863
	90°	-0.0509700	0.000	-0.079647	-0.022293
	180°	-0.1303100	0.000	-0.177274	-0.083346
45°	60°	-0.003265	1.000	-0.033109	0.026579
	90°	-0.026965	0.164	-0.058730	0.004800
	180°	-0.1063050	0.000	-0.154874	-0.057736
60°	90°	-0.023700	0.407	-0.057116	0.009716
	180°	-0.1030400	0.000	-0.152512	-0.053568
90°	180°	-0.0793400	0.000	-0.129746	-0.028934

Tabela III.20 – Rezultati naknadnog testa (Dunett T3) statističke značajnosti razlika između svakog para grupa uzoraka za sve gramature, poprečno savijenih i skeniranih sa rezolucijom 4800 spi - odnos obima i površine oštećenja

Zavisna promenljiva (I)	Uglovi (J)	Srednja razlika (I-J)	Veličina značajnosti	95% Interval poverenja	
				Donja granica	Gornja granica
CD_90_4800					
0°	15°	-0.0662600	0.000	-0.088740	-0.043780
	30°	-0.0518050	0.000	-0.071438	-0.032172
	45°	-0.0404450	0.000	-0.053675	-0.027215
	60°	-0.0773100	0.000	-0.091932	-0.062688
	90°	-0.0742350	0.000	-0.093330	-0.055140
	180°	-0.2387900	0.000	-0.285008	-0.192572
15°	30°	0.014455	0.836	-0.012923	0.041833
	45°	.0258150	0.028	0.001732	0.049898
	60°	-0.011050	0.945	-0.035736	0.013636
	90°	-0.007975	1.000	-0.035028	0.019078
	180°	-0.1725300	0.000	-0.221617	-0.123443

30°	45°	0.011360	0.826	-0.010179	0.032899
	60°	-0.0255050	0.014	-0.047752	-0.003258
	90°	-0.022430	0.114	-0.047392	0.002532
	180°	-1.869850	0.000	-0.235243	-0.138727
45°	60°	-0.0368650	0.000	-0.054239	-0.019491
	90°	-0.0337900	0.000	-0.054860	-0.012720
	180°	-1.983450	0.000	-0.245225	-0.151465
60°	90°	0.003075	1.000	-0.018725	0.024875
	180°	-1.1614800	0.000	-0.208605	-0.114355
90°	180°	-1.1645550	0.000	-0.212672	-0.116438
CD_115_4800					
0°	15°	-0.0500500	0.000	-0.077494	-0.022606
	30°	-0.0347650	0.000	-0.055807	-0.013723
	45°	-0.0418650	0.000	-0.064979	-0.018751
	60°	-0.0722050	0.000	-0.095283	-0.049127
	90°	-0.0603700	0.000	-0.085690	-0.035050
	180°	-2.207550	0.000	-0.266528	-0.174982
15°	30°	0.015285	0.917	-0.016791	0.047361
	45°	0.008185	1.000	-0.025051	0.041421
	60°	-0.022155	0.505	-0.055371	0.011061
	90°	-0.010320	0.999	-0.044900	0.024260
30°	180°	-1.707050	0.000	-0.221201	-0.120209
	45°	-0.007100	1.000	-0.035860	0.021660
	60°	-0.0374400	0.003	-0.066174	-0.008706
	90°	-0.025605	0.173	-0.056015	0.004805
45°	180°	-1.859900	0.000	-0.234244	-0.137736
	60°	-0.0303400	0.047	-0.060433	-0.000247
	90°	-0.018505	0.714	-0.050167	0.013157
60°	180°	-1.788900	0.000	-0.227792	-0.129988
	90°	0.011835	0.992	-0.019805	0.043475
90°	180°	-1.485500	0.000	-0.197440	-0.099660
	180°	-1.1603850	0.000	-0.210058	-0.110712
CD_130_4800					
0°	15°	-0.0602850	0.000	-0.072011	-0.048559
	30°	-0.0478250	0.000	-0.055558	-0.040092
	45°	-0.0372650	0.000	-0.052365	-0.022165
	60°	-0.0742850	0.000	-0.086398	-0.062172
	90°	-0.0592900	0.000	-0.075660	-0.042920
	180°	-1.885800	0.000	-0.216796	-0.160364
15°	30°	0.012460	0.073	-0.000604	0.025524
	45°	.0230200	0.004	0.005182	0.040858
	60°	-0.014000	0.116	-0.029618	0.001618
	90°	0.000995	1.000	-0.017865	0.019855
30°	180°	-1.282950	0.000	-0.157798	-0.098792
	45°	0.010560	0.502	-0.005517	0.026637
	60°	-0.0264600	0.000	-0.039858	-0.013062
	90°	-0.011465	0.479	-0.028720	0.005790
45°	180°	-1.407550	0.000	-0.169435	-0.112075
	60°	-0.0370200	0.000	-0.055069	-0.018971
	90°	-0.0220250	0.030	-0.042788	-0.001262
60°	180°	-1.1513150	0.000	-0.181851	-0.120779
	90°	0.014995	0.250	-0.004059	0.034049
90°	180°	-1.142950	0.000	-0.143900	-0.084690
	180°	-1.1292900	0.000	-0.160298	-0.098282
CD_150_4800					
0°	15°	-0.0346600	0.000	-0.041001	-0.028319
	30°	-0.0135950	0.001	-0.022674	-0.004516
	45°	-0.0459150	0.000	-0.051551	-0.040279
	60°	-0.0386300	0.000	-0.047233	-0.030027
	90°	-0.0570350	0.000	-0.076736	-0.037334
	180°	-2.318150	0.000	-0.264935	-0.198695
15°	30°	.0210650	0.000	0.010876	0.031254
	45°	-0.0112550	0.001	-0.018818	-0.003692
	60°	-0.003970	0.979	-0.013759	0.005819
	90°	-0.0223750	0.021	-0.042505	-0.002245
30°	180°	-1.971550	0.000	-0.230515	-0.163795
	45°	-0.0323200	0.000	-0.042182	-0.022458
	60°	-0.0250350	0.000	-0.036528	-0.013542
	90°	-0.0434400	0.000	-0.064231	-0.022649
45°	180°	-2.182200	0.000	-0.251932	-0.184508
	60°	0.007285	0.272	-0.002156	0.016726
	90°	-0.011120	0.715	-0.031124	0.008884
90°	180°	-1.859000	0.000	-0.219191	-0.152609

60°	90°	-0.018405	0.115	-0.039060	0.002250
	180°	-.1931850	0.000	-0.226825	-0.159545
90°	180°	-.1747800	0.000	-0.211414	-0.138146
CD_170_4800					
0°	15°	-0.010675	0.077	-0.022001	0.000651
	30°	-.0154050	0.001	-0.025834	-0.004976
	45°	-.0228500	0.000	-0.034391	-0.011309
	60°	-.0317150	0.000	-0.048090	-0.015340
	90°	-.0376650	0.000	-0.051124	-0.024206
15°	180°	-.2143150	0.000	-0.234243	-0.194387
	30°	-0.004730	0.998	-0.018834	0.009374
	45°	-0.012175	0.203	-0.027020	0.002670
	60°	-.0210400	0.016	-0.039621	-0.002459
30°	90°	-.0269900	0.000	-0.043232	-0.010748
	180°	-.2036400	0.000	-0.225303	-0.181977
	45°	-0.007445	0.848	-0.021706	0.006816
	60°	-0.016310	0.112	-0.034479	0.001859
45°	90°	-.0222600	0.001	-0.037995	-0.006525
	180°	-.1989100	0.000	-0.220246	-0.177574
	60°	-0.008865	0.917	-0.027550	0.009820
60°	90°	-0.005950	0.999	-0.025652	0.013752
	180°	-.1826000	0.000	-0.206675	-0.158525
90°	180°	-.1766500	0.000	-0.199217	-0.154083

Distribucija oštećenja

Tabela III.21 - Test homogenosti varijanse podgrupa s obzirom na rezoluciju skeniranja - paralelno (MD) i poprečno (CD) savijeni uzorci – distribucija oštećenja

Uzorci	Leveneova statistika	df1	df2	Veličina značajnosti	Uzorci	Leveneova statistika	df1	df2	Veličina značajnosti
MD_90_0	.164	2	57	.849*	CD_90_0	.100	2	57	.905*
MD_115_0	.390	2	57	.679*	CD_115_0	.033	2	57	.968*
MD_130_0	1.757	2	57	.182*	CD_130_0	.730	2	57	.486*
MD_150_0	.387	2	57	.681*	CD_150_0	3.080	2	57	.054*
MD_170_0	1.607	2	57	.209*	CD_170_0	1.791	2	57	.176*
MD_90_15	.691	2	57	.505*	CD_90_15	.090	2	57	.914*
MD_115_15	3.550	2	57	.035	CD_115_15	.173	2	57	.841*
MD_130_15	.979	2	57	.382*	CD_130_15	3.052	2	57	.055*
MD_150_15	.177	2	57	.839*	CD_150_15	1.998	2	57	.145*
MD_170_15	.287	2	57	.752*	CD_170_15	.141	2	57	.869*
MD_90_30	.046	2	57	.956*	CD_90_30	.176	2	57	.839*
MD_115_30	2.570	2	57	.085*	CD_115_30	.401	2	57	.672*
MD_130_30	2.449	2	57	.095*	CD_130_30	13.342	2	57	.000
MD_150_30	.179	2	57	.837*	CD_150_30	.238	2	57	.789*
MD_170_30	.256	2	57	.775*	CD_170_30	.555	2	57	.577*
MD_90_45	.037	2	57	.964*	CD_90_45	.993	2	57	.377*
MD_115_45	.776	2	57	.465*	CD_115_45	.381	2	57	.685*
MD_130_45	3.342	2	57	.042	CD_130_45	.901	2	57	.412*
MD_150_45	.370	2	57	.692*	CD_150_45	2.726	2	57	.074*
MD_170_45	.441	2	57	.646*	CD_170_45	.790	2	57	.459*
MD_90_60	1.693	2	57	.193*	CD_90_60	5.734	2	57	.005
MD_115_60	.052	2	57	.950*	CD_115_60	.799	2	57	.455*
MD_130_60	.502	2	57	.608*	CD_130_60	1.812	2	57	.173*
MD_150_60	2.132	2	57	.128*	CD_150_60	2.882	2	57	.064*
MD_170_60	.017	2	57	.983*	CD_170_60	.490	2	57	.615*
MD_90_90	.031	2	57	.970*	CD_90_90	4.462	2	57	.016
MD_115_90	2.618	2	57	.082*	CD_115_90	1.778	2	57	.178*
MD_130_90	.625	2	57	.539*	CD_130_90	2.215	2	57	.118*
MD_150_90	.586	2	57	.560*	CD_150_90	2.441	2	57	.096*
MD_170_90	4.129	2	57	.021	CD_170_90	.049	2	57	.953*
MD_90_180	1.117	2	57	.334*	CD_90_180	.275	2	57	.760*
MD_115_180	.403	2	57	.670*	CD_115_180	.881	2	57	.420*
MD_130_180	4.812	2	57	.012	CD_130_180	5.029	2	57	.010
MD_150_180	.209	2	57	.812*	CD_150_180	1.845	2	57	.167*
MD_170_180	1.796	2	57	.175*	CD_170_180	.455	2	57	.637*

*Potvrđena homogenost varijanse grupe

Tabela III.22 – ANOVA - podgrupe po rezoluciji skeniranja - paralelno (MD) i poprečno (CD) savijeni uzorci – distribucija oštećenja

Uzorci	Suma kvadrata			Stepen slobode			F vrednost	Veličina značajnosti
	Između grupa	Unutar grupa	Ukupno	Između grupa	Unutar grupa	Ukupno		
MD_90_0	0.001	0.047	0.047	2	57	59	0.393	0.677
MD_115_0	0.000	0.067	0.067	2	57	59	0.160	0.853
MD_130_0	0.001	0.053	0.053	2	57	59	0.440	0.646
MD_150_0	0.000	0.082	0.082	2	57	59	0.071	0.932

MD_170_0	0.000	0.048	0.048	2	57	59	0.038	0.963
MD_90_15	0.002	0.369	0.372	2	57	59	0.186	0.831
MD_115_15	0.001	0.094	0.095	2	57	59	0.172	0.842
MD_130_15	0.001	0.170	0.171	2	57	59	0.171	0.843
MD_150_15	0.001	0.186	0.187	2	57	59	0.175	0.840
MD_170_15	0.003	0.183	0.185	2	57	59	0.401	0.672
MD_90_30	0.000	0.198	0.198	2	57	59	0.040	0.961
MD_115_30	0.004	0.113	0.116	2	57	59	0.898	0.413
MD_130_30	0.000	0.108	0.108	2	57	59	0.005	0.995
MD_150_30	0.002	0.078	0.079	2	57	59	0.613	0.545
MD_170_30	0.005	0.122	0.127	2	57	59	1.098	0.341
MD_90_45	0.001	0.567	0.568	2	57	59	0.055	0.947
MD_115_45	0.003	0.175	0.178	2	57	59	0.441	0.646
MD_130_45	0.001	0.168	0.169	2	57	59	0.156	0.856
MD_150_45	0.001	0.243	0.243	2	57	59	0.069	0.934
MD_170_45	0.001	0.205	0.205	2	57	59	0.078	0.925
MD_90_60	0.002	0.360	0.362	2	57	59	0.145	0.865
MD_115_60	0.003	0.183	0.185	2	57	59	0.406	0.668
MD_130_60	0.001	0.219	0.220	2	57	59	0.114	0.892
MD_150_60	0.005	0.222	0.227	2	57	59	0.692	0.505
MD_170_60	0.000	0.192	0.192	2	57	59	0.057	0.945
MD_90_90	0.001	0.341	0.342	2	57	59	0.059	0.943
MD_115_90	0.000	0.123	0.124	2	57	59	0.049	0.952
MD_130_90	0.003	0.153	0.156	2	57	59	0.542	0.584
MD_150_90	0.001	0.261	0.262	2	57	59	0.115	0.892
MD_170_90	0.001	0.097	0.099	2	57	59	0.378	0.687
MD_90_180	0.014	0.545	0.559	2	57	59	0.718	0.492
MD_115_180	0.004	0.218	0.222	2	57	59	0.461	0.633
MD_130_180	0.003	0.167	0.171	2	57	59	0.577	0.565
MD_150_180	0.000	0.126	0.126	2	57	59	0.063	0.939
MD_170_180	0.001	0.093	0.094	2	57	59	0.429	0.654
CD_90_0	0.000	0.070	0.070	2	57	59	0.066	0.936
CD_115_0	0.000	0.087	0.088	2	57	59	0.161	0.852
CD_130_0	0.001	0.072	0.073	2	57	59	0.474	0.625
CD_150_0	0.000	0.056	0.056	2	57	59	0.206	0.814
CD_170_0	0.000	0.052	0.052	2	57	59	0.254	0.776
CD_90_15	0.002	0.181	0.183	2	57	59	0.392	0.677
CD_115_15	0.000	0.171	0.171	2	57	59	0.009	0.991
CD_130_15	0.000	0.163	0.163	2	57	59	0.010	0.990
CD_150_15	0.003	0.150	0.153	2	57	59	0.515	0.600
CD_170_15	0.001	0.242	0.243	2	57	59	0.123	0.885
CD_90_30	0.002	0.122	0.124	2	57	59	0.513	0.602
CD_115_30	0.001	0.150	0.151	2	57	59	0.282	0.756
CD_130_30	0.001	0.108	0.109	2	57	59	0.160	0.852
CD_150_30	0.004	0.135	0.140	2	57	59	0.849	0.433
CD_170_30	0.001	0.185	0.186	2	57	59	0.143	0.867
CD_90_45	0.000	0.147	0.147	2	57	59	0.013	0.987
CD_115_45	0.000	0.198	0.198	2	57	59	0.017	0.984
CD_130_45	0.001	0.149	0.151	2	57	59	0.245	0.783
CD_150_45	0.001	0.065	0.066	2	57	59	0.582	0.562
CD_170_45	0.002	0.197	0.199	2	57	59	0.274	0.761
CD_90_60	0.001	0.154	0.156	2	57	59	0.231	0.795
CD_115_60	0.001	0.232	0.233	2	57	59	0.123	0.885
CD_130_60	0.001	0.175	0.176	2	57	59	0.130	0.878
CD_150_60	0.000	0.088	0.089	2	57	59	0.152	0.860
CD_170_60	0.001	0.278	0.279	2	57	59	0.072	0.931
CD_90_90	0.000	0.121	0.121	2	57	59	0.021	0.979
CD_115_90	0.000	0.299	0.299	2	57	59	0.018	0.982
CD_130_90	0.004	0.174	0.178	2	57	59	0.675	0.513
CD_150_90	0.001	0.140	0.141	2	57	59	0.186	0.831
CD_170_90	0.002	0.157	0.159	2	57	59	0.380	0.686
CD_90_180	0.004	0.515	0.519	2	57	59	0.233	0.793
CD_115_180	0.003	0.203	0.206	2	57	59	0.354	0.703
CD_130_180	0.001	0.116	0.116	2	57	59	0.130	0.878
CD_150_180	0.007	0.130	0.137	2	57	59	1.487	0.235
CD_170_180	0.001	0.197	0.198	2	57	59	0.122	0.886

Tabela III.23 – Brown-Forsythe test - podgrupe po rezoluciji skeniranja - paralelno (MD) i poprečno (CD) savijeni uzorci – distribucija oštećenja

Uzorci	Brown-Forsythe								
	Statistika ^a	df1	df2	Veličina značajnosti	Uzorci	Statistika ^a	df1	df2	Veličina značajnosti
MD_90_0	.393	2	55.567	.677	CD_90_0	.066	2	56.091	.936
MD_115_0	.160	2	56.861	.853	CD_115_0	.161	2	56.785	.852
MD_130_0	.440	2	48.427	.647	CD_130_0	.474	2	56.060	.625
MD_150_0	.071	2	55.305	.932	CD_150_0	.206	2	50.358	.814
MD_170_0	.038	2	53.186	.963	CD_170_0	.254	2	53.513	.776
MD_90_15	.186	2	54.050	.831	CD_90_15	.392	2	54.656	.677
MD_115_15	.172	2	43.336	.842	CD_115_15	.009	2	56.934	.991
MD_130_15	.171	2	53.728	.843	CD_130_15	.010	2	49.955	.990
MD_150_15	.175	2	56.339	.840	CD_150_15	.515	2	51.504	.601
MD_170_15	.401	2	55.404	.672	CD_170_15	.123	2	55.899	.885
MD_90_30	.040	2	56.650	.961	CD_90_30	.513	2	56.470	.602
MD_115_30	.898	2	50.571	.414	CD_115_30	.282	2	53.897	.756

MD_130_30	.005	2	48.722	.995	CD_130_30	.160	2	39.579	.853
MD_150_30	.613	2	55.777	.546	CD_150_30	.849	2	55.045	.434
MD_170_30	1.098	2	56.473	.341	CD_170_30	.143	2	54.121	.867
MD_90_45	.055	2	56.977	.947	CD_90_45	.013	2	51.519	.987
MD_115_45	.441	2	52.096	.646	CD_115_45	.017	2	56.751	.984
MD_130_45	.156	2	50.771	.856	CD_130_45	.245	2	52.933	.783
MD_150_45	.069	2	55.876	.934	CD_150_45	.582	2	52.380	.562
MD_170_45	.078	2	55.550	.925	CD_170_45	.274	2	56.088	.761
MD_90_60	.145	2	52.506	.865	CD_90_60	.231	2	45.105	.795
MD_115_60	.406	2	55.836	.668	CD_115_60	.123	2	54.231	.885
MD_130_60	.114	2	55.749	.892	CD_130_60	.130	2	53.224	.878
MD_150_60	.692	2	52.653	.505	CD_150_60	.152	2	47.432	.860
MD_170_60	.057	2	56.893	.945	CD_170_60	.072	2	53.895	.931
MD_90_90	.059	2	56.949	.943	CD_90_90	.021	2	45.027	.979
MD_115_90	.049	2	46.457	.952	CD_115_90	.018	2	50.734	.982
MD_130_90	.542	2	54.755	.584	CD_130_90	.675	2	50.526	.514
MD_150_90	.115	2	55.571	.892	CD_150_90	.186	2	49.558	.831
MD_170_90	.378	2	47.573	.688	CD_170_90	.380	2	56.955	.686
MD_90_180	.718	2	55.733	.492	CD_90_180	.233	2	56.858	.793
MD_115_180	.461	2	55.729	.633	CD_115_180	.354	2	55.998	.703
MD_130_180	.577	2	44.517	.566	CD_130_180	.130	2	43.955	.878
MD_150_180	.063	2	56.325	.939	CD_150_180	1.487	2	43.310	.237
MD_170_180	.429	2	52.732	.654	CD_170_180	.122	2	50.986	.886

Tabela III.24 - Test homogenosti varijanse podgrupa s obzirom na uglove postavljanja uzoraka pri skeniranju - paralelno (MD) i poprečno (CD) savijeni uzorci - distribucija oštećenja

Uzorci	Leveneova statistika	df1	df2	Veličina značajnosti	Uzorci	Leveneova statistika	df1	df2	Veličina značajnosti
MD_90_1200	5.403	6	133	.000	CD_90_1200	2.653	6	133	.018
MD_115_1200	1.265	6	133	.278*	CD_115_1200	2.486	6	133	.026
MD_130_1200	3.822	6	133	.002	CD_130_1200	1.450	6	133	.200*
MD_150_1200	3.824	6	133	.002	CD_150_1200	3.724	6	133	.002
MD_170_1200	2.245	6	133	.043	CD_170_1200	1.888	6	133	.087*
MD_90_2400	5.517	6	133	.000	CD_90_2400	7.472	6	133	.000
MD_115_2400	2.520	6	133	.024	CD_115_2400	1.737	6	133	.117*
MD_130_2400	3.319	6	133	.004	CD_130_2400	.310	6	133	.931*
MD_150_2400	2.434	6	133	.029	CD_150_2400	1.812	6	133	.101*
MD_170_2400	3.163	6	133	.006	CD_170_2400	.704	6	133	.647*
MD_90_4800	2.977	6	133	.009	CD_90_4800	6.918	6	133	.000
MD_115_4800	3.382	6	133	.004	CD_115_4800	1.669	6	133	.133*
MD_130_4800	2.184	6	133	.048	CD_130_4800	1.593	6	133	.154*
MD_150_4800	1.736	6	133	.117*	CD_150_4800	1.614	6	133	.148*
MD_170_4800	3.235	6	133	.005	CD_170_4800	1.096	6	133	.368*

*Potvrđena homogenost varijanse grupe

Tabela III.25- ANOVA - podgrupa s obzirom na uglove postavljanja uzoraka pri skeniranju - paralelno (MD) i poprečno (CD) savijeni uzorci - distribucija oštećenja

Uzorci	Suma kvadrata			Stepen slobode			F vrednost	Veličina značajnosti	Eta kvadrat
	Između grupa	Unutar grupa	Ukupno	Između grupa	Unutar grupa	Ukupno			
MD_90_1200	0.926	0.920	1.846	6	133	139	22.317	0.000	0.50169
MD_115_1200	0.272	0.419	0.691	6	133	139	14.387	0.000	0.39359
MD_130_1200	0.210	0.467	0.677	6	133	139	9.990	0.000	0.31066
MD_150_1200	0.605	0.436	1.041	6	133	139	30.781	0.000	0.58134
MD_170_1200	0.599	0.333	0.932	6	133	139	39.782	0.000	0.64218
MD_90_2400	0.816	0.768	1.584	6	133	139	23.545	0.000	0.51508
MD_115_2400	0.213	0.274	0.487	6	133	139	17.225	0.000	0.43728
MD_130_2400	0.187	0.296	0.483	6	133	139	14.004	0.000	0.38717
MD_150_2400	0.623	0.437	1.060	6	133	139	31.621	0.000	0.58789
MD_170_2400	0.551	0.304	0.854	6	133	139	40.166	0.000	0.64438
MD_90_4800	0.741	0.739	1.480	6	133	139	22.237	0.000	0.50079
MD_115_4800	0.298	0.280	0.578	6	133	139	23.552	0.000	0.51515
MD_130_4800	0.221	0.275	0.496	6	133	139	17.837	0.000	0.44588
MD_150_4800	0.662	0.324	0.986	6	133	139	45.266	0.000	0.67128
MD_170_4800	0.587	0.301	0.889	6	133	139	43.218	0.000	0.66098
CD_90_1200	1.287	0.534	1.822	6	133	139	53.403	0.000	0.70667
CD_115_1200	0.733	0.521	1.254	6	133	139	31.211	0.000	0.58472
CD_130_1200	0.730	0.483	1.213	6	133	139	33.534	0.000	0.60204
CD_150_1200	1.303	0.329	1.632	6	133	139	87.872	0.000	0.79856
CD_170_1200	0.949	0.516	1.465	6	133	139	40.765	0.000	0.64776
CD_90_2400	1.070	0.405	1.475	6	133	139	58.491	0.000	0.72518
CD_115_2400	0.687	0.416	1.102	6	133	139	36.619	0.000	0.62292
CD_130_2400	0.754	0.258	1.012	6	133	139	64.684	0.000	0.74477
CD_150_2400	1.135	0.255	1.390	6	133	139	98.598	0.000	0.81645
CD_170_2400	0.816	0.444	1.259	6	133	139	40.759	0.000	0.64773
CD_90_4800	1.063	0.370	1.433	6	133	139	63.684	0.000	0.74180
CD_115_4800	0.646	0.404	1.049	6	133	139	35.464	0.000	0.61537
CD_130_4800	0.792	0.217	1.009	6	133	139	80.982	0.000	0.78510
CD_150_4800	1.011	0.180	1.191	6	133	139	124.379	0.000	0.84874
CD_170_4800	0.849	0.348	1.197	6	133	139	54.143	0.000	0.70952

Tabela III.26 – Brown-Forsythe test - obzirom na uglove postavljanja uzoraka pri skeniranju - paralelno (MD) i poprečno (CD) savijeni uzorci – distribucija oštećenja

Brown-Forsythe									
Uzorci	Statistika ^a	df1	df2	Veličina značajnosti	Uzorci	Statistika ^a	df1	df2	Veličina značajnosti
MD_90_1200	22.317	6	106.430	.000	CD_90_1200	53.403	6	104.787	.000
MD_115_1200	14.387	6	121.671	.000	CD_115_1200	31.211	6	107.714	.000
MD_130_1200	9.990	6	115.411	.000	CD_130_1200	33.534	6	123.894	.000
MD_150_1200	30.781	6	108.306	.000	CD_150_1200	87.872	6	111.035	.000
MD_170_1200	39.782	6	112.683	.000	CD_170_1200	40.765	6	112.243	.000
MD_90_2400	23.545	6	101.477	.000	CD_90_2400	58.491	6	76.540	.000
MD_115_2400	17.225	6	110.202	.000	CD_115_2400	36.619	6	124.427	.000
MD_130_2400	14.004	6	113.434	.000	CD_130_2400	64.684	6	125.579	.000
MD_150_2400	31.621	6	112.834	.000	CD_150_2400	98.598	6	105.703	.000
MD_170_2400	40.166	6	106.722	.000	CD_170_2400	40.759	6	119.393	.000
MD_90_4800	22.237	6	109.714	.000	CD_90_4800	63.684	6	67.918	.000
MD_115_4800	23.552	6	100.570	.000	CD_115_4800	35.464	6	121.772	.000
MD_130_4800	17.837	6	116.963	.000	CD_130_4800	80.982	6	114.410	.000
MD_150_4800	45.266	6	117.573	.000	CD_150_4800	124.379	6	118.996	.000
MD_170_4800	43.218	6	110.966	.000	CD_170_4800	54.143	6	117.949	.000

Tabela III.27 – Rezultati naknadnog testa (Dunett T3) statističke značajnosti razlika između svakog para grupa uzoraka za sve gramature, paralelno savijenih i skeniranih sa rezolucijom 1200 spi - distribucija oštećenja

Zavisna promenljiva (I)	Uglovi (J)	Srednja razlika (I-J)	Veličina značajnosti	95% Interval poverenja	
				Donja granica	Gornja granica
MD_90_1200					
0°	15°	-0.043910	0.609	-0.116821	0.029001
	30°	0.002660	1.000	-0.045122	0.050442
	45°	0.060675	0.256	-0.018403	0.139753
	60°	0.058130	0.223	-0.015434	0.131694
	90°	.0688600	0.019	0.007466	0.130254
	180°	.2297550	0.000	0.147312	0.312198
15°	30°	0.046570	0.696	-0.033061	0.126201
	45°	.1045850	0.030	0.005953	0.203217
	60°	.1020400	0.026	0.007305	0.196775
	90°	.1127700	0.003	0.025881	0.199659
	180°	.2736650	0.000	0.172564	0.374766
30°	45°	0.058015	0.452	-0.027120	0.143150
	60°	0.055470	0.433	-0.024738	0.135678
	90°	0.066200	0.076	-0.003546	0.135946
	180°	.2270950	0.000	0.138909	0.315281
45°	60°	-0.002545	1.000	-0.101597	0.096507
	90°	0.008185	1.000	-0.083583	0.099953
	180°	.1690800	0.000	0.064046	0.274114
60°	90°	0.010730	1.000	-0.076666	0.098126
	180°	.1716250	0.000	0.070120	0.273130
90°	180°	.1608950	0.000	0.066386	0.255404
MD_115_1200					
0°	15°	-0.035400	0.291	-0.081975	0.011175
	30°	-0.015300	0.998	-0.061861	0.031261
	45°	-0.004455	1.000	-0.059015	0.050105
	60°	-0.007200	1.000	-0.059073	0.044673
	90°	0.008590	1.000	-0.041714	0.058894
	180°	.1115500	0.000	0.063205	0.159895
15°	30°	0.020100	0.994	-0.035403	0.075603
	45°	0.030945	0.885	-0.030962	0.092852
	60°	0.028200	0.925	-0.031502	0.087902
	90°	0.043990	0.315	-0.014449	0.102429
30°	180°	.1469500	0.000	0.090062	0.203838
	45°	0.010845	1.000	-0.051053	0.072743
	60°	0.008100	1.000	-0.051593	0.067793
	90°	0.023890	0.979	-0.034539	0.082319
	180°	.1268500	0.000	0.069972	0.183728
45°	60°	-0.002745	1.000	-0.068251	0.062761
	90°	0.013045	1.000	-0.051366	0.077456
	180°	.1160050	0.000	0.052927	0.179083
60°	90°	0.015790	1.000	-0.046550	0.078130
	180°	.1187500	0.000	0.057813	0.179687
90°	180°	.1029600	0.000	0.043247	0.162673
MD_130_1200					
0°	15°	-.0827950	0.000	-0.132996	-0.032594
	30°	-.0934250	0.000	-0.137485	-0.049365
	45°	-.0758950	0.001	-0.127987	-0.023803
	60°	-0.027560	0.838	-0.082082	0.026962
	90°	-0.022260	0.884	-0.068232	0.023712
	180°	0.009930	1.000	-0.047013	0.066873
15°	30°	-0.010630	1.000	-0.070105	0.048845
	45°	0.006900	1.000	-0.058051	0.071851
	60°	0.055235	0.192	-0.011495	0.121965
	90°	0.060535	0.051	-0.000182	0.121252
	180°	.0927250	0.002	0.024174	0.161276
30°	45°	0.017530	1.000	-0.043432	0.078492

	60°	.0658650	0.034	0.002953	0.128777
	90°	.0711650	0.005	0.014906	0.127424
	180°	.1033550	0.000	0.038460	0.168250
45°	60°	0.048335	0.403	-0.019651	0.116321
	90°	0.053635	0.149	-0.008525	0.115795
	180°	.0858250	0.006	0.016067	0.155583
60°	90°	0.005300	1.000	-0.058755	0.069355
	180°	0.037490	0.843	-0.033870	0.108850
90°	180°	0.032190	0.902	-0.033798	0.098178
MD_150_1200					
0°	15°	-.1622000	0.000	-0.214363	-0.110037
	30°	-.1589500	0.000	-0.196763	-0.121137
	45°	-.1423350	0.000	-0.201499	-0.083171
	60°	-.1517450	0.000	-0.206744	-0.096746
	90°	-.0931150	0.001	-0.155047	-0.031183
	180°	-0.008125	1.000	-0.052018	0.035768
15°	30°	0.003250	1.000	-0.047239	0.053739
	45°	0.019865	0.999	-0.046766	0.086496
	60°	0.010455	1.000	-0.052739	0.073649
	90°	.0690850	0.049	0.000115	0.138055
30°	180°	.1540750	0.000	0.099420	0.208730
	45°	0.016615	0.999	-0.041165	0.074395
	60°	0.007205	1.000	-0.046250	0.060660
	90°	.0658350	0.025	0.005196	0.126474
45°	180°	.1508250	0.000	0.109127	0.192523
	60°	-0.009410	1.000	-0.078040	0.059220
	90°	0.049220	0.508	-0.024571	0.123011
60°	180°	.1342100	0.000	0.072960	0.195460
	90°	0.058630	0.192	-0.012241	0.129501
	180°	.1436200	0.000	0.086308	0.200932
90°	180°	.0849900	0.003	0.021102	0.148878
MD_170_1200					
0°	15°	-.1213350	0.000	-0.170286	-0.072384
	30°	-.1485950	0.000	-0.190810	-0.106380
	45°	-.1369150	0.000	-0.185849	-0.087981
	60°	-.1298650	0.000	-0.179262	-0.080468
	90°	-.1195200	0.000	-0.163212	-0.075828
	180°	0.022915	0.371	-0.008667	0.054497
15°	30°	-0.027260	0.901	-0.082969	0.028449
	45°	-0.015580	1.000	-0.075967	0.044807
	60°	-0.008530	1.000	-0.069257	0.052197
	90°	0.001815	1.000	-0.054880	0.058510
30°	180°	.1442500	0.000	0.094804	0.193696
	45°	0.011680	1.000	-0.044014	0.067374
	60°	0.018730	0.998	-0.037348	0.074808
	90°	0.029075	0.760	-0.022401	0.080551
45°	180°	.1715100	0.000	0.128682	0.214338
	60°	0.007050	1.000	-0.053664	0.067764
	90°	0.017395	0.999	-0.039286	0.074076
	180°	.1598300	0.000	0.110401	0.209259
60°	90°	0.010345	1.000	-0.046709	0.067399
	180°	.1527800	0.000	0.102894	0.202666
90°	180°	.1424350	0.000	0.098160	0.186710

Tabela III.28 – Rezultati naknadnog testa (Dunett T3) statističke značajnosti razlika između svakog para grupa uzoraka za sve gramature, poprečno saovijenih i skeniranih sa rezolucijom 1200 spi - distribucija oštećenja

Zavisna promenljiva (I)	Uglovi (J)	Srednja razlika (I-J)	Veličina značajnosti	95% Interval poverenja	
				Donja granica	Gornja granica
CD_90_1200					
0°	15°	-.0979450	0.000	-0.151534	-0.044356
	30°	-.1303800	0.000	-0.174064	-0.086696
	45°	-.1150450	0.000	-0.166438	-0.063652
	60°	-.0896000	0.000	-0.146145	-0.033055
	90°	-.0776200	0.000	-0.128695	-0.026545
	180°	.1657500	0.000	0.092428	0.239072
15°	30°	-0.032435	0.778	-0.090975	0.026105
	45°	-0.017100	1.000	-0.080920	0.046720
	60°	0.008345	1.000	-0.059312	0.076002
	90°	0.020325	0.999	-0.043266	0.083916
30°	180°	.2636950	0.000	0.182325	0.345065
	45°	0.015335	1.000	-0.041292	0.071962
	60°	0.040780	0.500	-0.020374	0.101934
	90°	0.052760	0.084	-0.003592	0.109112
45°	180°	.2961300	0.000	0.219559	0.372701
	60°	0.025445	0.988	-0.040686	0.091576
	90°	0.037425	0.665	-0.024485	0.099335
60°	180°	.2807950	0.000	0.200575	0.361015
	90°	0.011980	1.000	-0.053933	0.077893
	180°	.2553500	0.000	0.172358	0.338342
90°	180°	.2433700	0.000	0.163313	0.323427
CD_115_1200					
0°	15°	-.0977800	0.000	-0.147174	-0.048386
	30°	-.0764900	0.001	-0.128444	-0.024536
	45°	-.0817850	0.000	-0.132072	-0.031498

	60°	-0.061040	0.050	-0.122097	0.000017
	90°	-0.046085	0.536	-0.118088	0.025918
	180°	.1286750	0.000	0.080001	0.177349
15°	30°	0.021290	0.994	-0.037230	0.079810
	45°	0.015995	1.000	-0.041139	0.073129
	60°	0.036740	0.779	-0.029624	0.103104
	90°	0.051695	0.465	-0.024558	0.127948
	180°	.2264550	0.000	0.170643	0.282267
30°	45°	-0.005295	1.000	-0.064510	0.053920
	60°	0.015450	1.000	-0.052588	0.083488
	90°	0.030405	0.984	-0.047216	0.108026
	180°	.2051650	0.000	0.147201	0.263129
45°	60°	0.020745	0.999	-0.046195	0.087685
	90°	0.035700	0.925	-0.041022	0.112422
	180°	.2104600	0.000	0.153902	0.267018
60°	90°	0.014955	1.000	-0.068039	0.097949
	180°	.1897150	0.000	0.123811	0.255619
90°	180°	.1747600	0.000	0.098880	0.250640
CD_130_1200					
0°	15°	-.1599450	0.000	-0.215730	-0.104160
	30°	-.1355650	0.000	-0.187315	-0.083815
	45°	-.1731900	0.000	-0.225108	-0.121272
	60°	-.1285700	0.000	-0.183580	-0.073560
	90°	-.1263700	0.000	-0.183263	-0.069477
	180°	0.021555	0.969	-0.030045	0.073155
15°	30°	0.024380	0.991	-0.040159	0.088919
	45°	-0.013245	1.000	-0.077905	0.051415
	60°	0.031375	0.930	-0.035550	0.098300
	90°	0.033575	0.900	-0.034767	0.101917
30°	180°	.1815000	0.000	0.117069	0.245931
	45°	-0.037625	0.647	-0.099108	0.023858
	60°	0.006995	1.000	-0.056924	0.070914
	90°	0.009195	1.000	-0.056240	0.074630
	180°	.1571200	0.000	0.095884	0.218356
45°	60°	0.044620	0.436	-0.019421	0.108661
	90°	0.046820	0.395	-0.018733	0.112373
	180°	.1947450	0.000	0.133378	0.256112
60°	90°	0.002200	1.000	-0.065573	0.069973
	180°	.1501250	0.000	0.086316	0.213934
90°	180°	.1479250	0.000	0.082596	0.213254
CD_150_1200					
0°	15°	-.2009100	0.000	-0.250472	-0.151348
	30°	-.1916750	0.000	-0.236121	-0.147229
	45°	-.1833700	0.000	-0.217348	-0.149392
	60°	-.1590650	0.000	-0.200185	-0.117945
	90°	-.1304650	0.000	-0.179637	-0.081293
	180°	.0633550	0.000	0.025917	0.100793
15°	30°	0.009235	1.000	-0.050559	0.069029
	45°	0.017540	0.998	-0.036229	0.071309
	60°	0.041845	0.370	-0.015879	0.099569
	90°	.0704450	0.018	0.007491	0.133399
30°	180°	.2642650	0.000	0.208669	0.319861
	45°	0.008305	1.000	-0.040987	0.057597
	60°	0.032610	0.659	-0.021133	0.086353
	90°	.0612100	0.039	0.001711	0.120709
45°	180°	.2550300	0.000	0.203669	0.306391
	60°	0.024305	0.844	-0.022170	0.070780
	90°	0.052905	0.054	-0.000518	0.106328
60°	180°	.2467250	0.000	0.203263	0.290187
	90°	0.028600	0.887	-0.028813	0.086013
90°	180°	.2224200	0.000	0.173697	0.271143
90°	180°	.1938200	0.000	0.138553	0.249087
CD_170_1200					
0°	15°	-.1815400	0.000	-0.238376	-0.124704
	30°	-.1780300	0.000	-0.230738	-0.125322
	45°	-.1654000	0.000	-0.216827	-0.113973
	60°	-.1419900	0.000	-0.205170	-0.078810
	90°	-.1350100	0.000	-0.177798	-0.092222
	180°	0.034555	0.444	-0.016486	0.085596
15°	30°	0.003510	1.000	-0.066431	0.073451
	45°	0.016140	1.000	-0.052968	0.085248
	60°	0.039550	0.867	-0.037749	0.116849
	90°	0.046530	0.361	-0.017416	0.110476
30°	180°	.2160950	0.000	0.147235	0.284955
	45°	0.012630	1.000	-0.053451	0.078711
	60°	0.036040	0.911	-0.038724	0.110804
	90°	0.043020	0.400	-0.017499	0.103539
45°	180°	.2125850	0.000	0.146768	0.278402
	60°	0.023410	0.999	-0.050601	0.097421
	90°	0.030390	0.866	-0.029089	0.089869
60°	180°	.1999550	0.000	0.135053	0.264857
	90°	0.006980	1.000	-0.062418	0.076378
90°	180°	.1765450	0.000	0.102757	0.250333
90°	180°	.1695650	0.000	0.110397	0.228733

Tabela III.29 – Rezultati naknadnog testa (Dunett T3) statističke značajnosti razlika između svakog para grupa uzoraka za sve gramature, paralelno savijenih i skeniranih sa rezolucijom 2400 spi - distribucija oštećenja

Zavisna promenljiva (I)	Uglovi (I)	Srednja razlika (I-J)	Veličina značajnosti	95% Interval poverenja	
				Donja granica	Gornja granica
MD_90_2400					
0°	15°	-0.045650	0.300	-0.107090	0.015790
	30°	0.000540	1.000	-0.045630	0.046710
	45°	0.052670	0.439	-0.025882	0.131222
	60°	0.041195	0.223	-0.010719	0.093109
	90°	0.058745	0.078	-0.003724	0.121214
15°	180°	.2133150'	0.000	0.134818	0.291812
	30°	0.046190	0.513	-0.023619	0.115999
	45°	.0983200'	0.028	0.006313	0.190327
	60°	.0868450'	0.009	0.013759	0.159931
	90°	.1043950'	0.003	0.024447	0.184343
30°	180°	.2589650'	0.000	0.167002	0.350928
	45°	0.052130	0.613	-0.032568	0.136828
	60°	0.040655	0.539	-0.021524	0.102834
	90°	0.058205	0.195	-0.012463	0.128873
	180°	.2127750'	0.000	0.128127	0.297423
45°	60°	-0.011475	1.000	-0.098662	0.075712
	90°	0.006075	1.000	-0.086501	0.098651
	180°	.1606450'	0.000	0.058136	0.263154
60°	90°	0.017550	1.000	-0.056338	0.091438
	180°	.1721200'	0.000	0.084981	0.259259
90°	180°	.1545700'	0.000	0.062038	0.247102
MD_115_2400					
0°	15°	-0.0364900'	0.034	-0.071388	-0.001592
	30°	-0.029145	0.324	-0.068101	0.009811
	45°	-0.024720	0.804	-0.070580	0.021140
	60°	0.000050	1.000	-0.046819	0.046919
	90°	0.006555	1.000	-0.028883	0.041993
15°	180°	.0883600'	0.000	0.037212	0.139508
	30°	0.007345	1.000	-0.030722	0.045412
	45°	0.011770	1.000	-0.033397	0.056937
	60°	0.036540	0.239	-0.009659	0.082739
	90°	.0430450'	0.005	0.008637	0.077453
30°	180°	.1248500'	0.000	0.074290	0.175410
	45°	0.004425	1.000	-0.043604	0.052454
	60°	0.029195	0.679	-0.019778	0.078168
	90°	0.035700	0.091	-0.002842	0.074242
	180°	.1175050'	0.000	0.064498	0.170512
45°	60°	0.024770	0.942	-0.029352	0.078892
	90°	0.031275	0.447	-0.014261	0.076811
	180°	.1130800'	0.000	0.055443	0.170717
60°	90°	0.006505	1.000	-0.040051	0.053061
	180°	.0883100'	0.000	0.029952	0.146668
90°	180°	.0818050'	0.000	0.030932	0.132678
MD_130_2400					
0°	15°	-0.0966850'	0.000	-0.135023	-0.058347
	30°	-0.0966700'	0.000	-0.133034	-0.060306
	45°	-0.0778850'	0.000	-0.122263	-0.033507
	60°	-0.038545	0.220	-0.086909	0.009819
	90°	-0.038925	0.128	-0.083337	0.005487
15°	180°	-0.011570	0.997	-0.045940	0.022800
	30°	0.000015	1.000	-0.045102	0.045132
	45°	0.018800	0.993	-0.032475	0.070075
	60°	.0581400'	0.029	0.003584	0.112696
	90°	.0577600'	0.017	0.006458	0.109062
30°	180°	.0851150'	0.000	0.041415	0.128815
	45°	0.018785	0.991	-0.031240	0.068810
	60°	.0581250'	0.024	0.004705	0.111545
	90°	.0577450'	0.013	0.007692	0.107798
	180°	.0851000'	0.000	0.043005	0.127195
45°	60°	0.039340	0.489	-0.019009	0.097689
	90°	0.038960	0.422	-0.016470	0.094390
	180°	.0663150'	0.002	0.017497	0.115133
60°	90°	-0.000380	1.000	-0.058751	0.057991
	180°	0.026975	0.850	-0.025354	0.079304
90°	180°	0.027355	0.763	-0.021493	0.076203
MD_150_2400					
0°	15°	-0.1697250'	0.000	-0.221810	-0.117640
	30°	-0.1741250'	0.000	-0.213255	-0.134995
	45°	-0.1519550'	0.000	-0.208840	-0.095070
	60°	-0.1311600'	0.000	-0.191724	-0.070596
	90°	-0.0863900'	0.001	-0.143996	-0.028784
15°	180°	-0.015870	0.997	-0.062832	0.031092
	30°	-0.004400	1.000	-0.054766	0.045966
	45°	0.017770	1.000	-0.046273	0.081813
	60°	0.038565	0.735	-0.028597	0.105727
	90°	.0833350'	0.004	0.018687	0.147983
30°	180°	.1538550'	0.000	0.097790	0.209920
	45°	0.022170	0.977	-0.033212	0.077552
	60°	0.042965	0.348	-0.016232	0.102162

	90°	.0877350	0.000	0.031603	0.143867
	180°	.1582550	0.000	0.113315	0.203195
45°	60°	0.020795	1.000	-0.049743	0.091333
	90°	0.065565	0.069	-0.002647	0.133777
	180°	.1360850	0.000	0.075676	0.196494
60°	90°	0.044770	0.600	-0.026292	0.115832
	180°	.1152900	0.000	0.051495	0.179085
90°	180°	.0705200	0.013	0.009451	0.131589
MD_170_2400					
0°	15°	-.1397150	0.000	-0.182948	-0.096482
	30°	-.1324600	0.000	-0.172518	-0.092402
	45°	-.1463200	0.000	-0.200700	-0.091940
	60°	-.1292900	0.000	-0.177523	-0.081057
	90°	-.1113900	0.000	-0.142614	-0.080166
	180°	0.010175	1.000	-0.030997	0.051347
15°	30°	0.007255	1.000	-0.040753	0.055263
	45°	-0.006605	1.000	-0.066383	0.053173
	60°	0.010425	1.000	-0.044117	0.064967
	90°	0.028325	0.459	-0.013426	0.070076
	180°	.1498900	0.000	0.101028	0.198752
30°	45°	-0.013860	1.000	-0.071749	0.044029
	60°	0.003170	1.000	-0.049190	0.055530
	90°	0.021070	0.780	-0.017319	0.059459
	180°	.1426350	0.000	0.096374	0.188896
45°	60°	0.017030	1.000	-0.045962	0.080022
	90°	0.034930	0.497	-0.018398	0.088258
	180°	.1564950	0.000	0.097958	0.215032
60°	90°	0.017900	0.985	-0.029078	0.064878
	180°	.1394650	0.000	0.086353	0.192577
90°	180°	.1215650	0.000	0.081992	0.161138

Tabela III.30 – Rezultati naknadnog testa (Dunett T3) statističke značajnosti razlika između svakog para grupa uzoraka za sve gramature, poprečno savijenih i skeniranih sa rezolucijom 2400 spi - distribucija oštećenja

Zavisna promenljiva (I)	Uglovi (J)	Srednja razlika (I-J)	Veličina značajnosti	95% Interval poverenja	
				Donja granica	Gornja granica
CD_90_2400					
0°	15°	-.0863000	0.000	-0.132968	-0.039632
	30°	-.1182250	0.000	-0.161208	-0.075242
	45°	-.1154600	0.000	-0.159957	-0.070963
	60°	-.0861200	0.000	-0.127756	-0.044484
	90°	-.0796300	0.000	-0.118936	-0.040324
	180°	.1463500	0.000	0.068618	0.224082
15°	30°	-0.031925	0.577	-0.081908	0.018058
	45°	-0.029160	0.749	-0.080359	0.022039
	60°	0.000180	1.000	-0.048738	0.049098
	90°	0.006670	1.000	-0.040447	0.053787
	180°	.2326500	0.000	0.151734	0.313566
30°	45°	0.002765	1.000	-0.045271	0.050801
	60°	0.032105	0.416	-0.013404	0.077614
	90°	0.038595	0.124	-0.004894	0.082084
	180°	.2645750	0.000	0.185212	0.343938
45°	60°	0.029340	0.611	-0.017563	0.076243
	90°	0.035830	0.236	-0.009148	0.080808
	180°	.2618100	0.000	0.181825	0.341795
60°	90°	0.006490	1.000	-0.035677	0.048657
	180°	.2324700	0.000	0.153641	0.311299
90°	180°	.2259800	0.000	0.148032	0.303928
CD_115_2400					
0°	15°	-.0970550	0.000	-0.146948	-0.047162
	30°	-.0838800	0.000	-0.128808	-0.038952
	45°	-.0802400	0.000	-0.132164	-0.028316
	60°	-0.049365	0.092	-0.102791	0.004061
	90°	-0.038730	0.355	-0.091852	0.014392
	180°	.1219950	0.000	0.066896	0.177094
15°	30°	0.013175	1.000	-0.039576	0.065926
	45°	0.016815	1.000	-0.041622	0.075252
	60°	0.047690	0.234	-0.012012	0.107392
	90°	0.058325	0.059	-0.001119	0.117769
	180°	.2190500	0.000	0.157925	0.280175
30°	45°	0.003640	1.000	-0.050987	0.058267
	60°	0.034515	0.630	-0.021508	0.090538
	90°	0.045150	0.215	-0.010589	0.100889
	180°	.2058750	0.000	0.148290	0.263460
45°	60°	0.030875	0.881	-0.030394	0.092144
	90°	0.041510	0.475	-0.019511	0.102531
	180°	.2022350	0.000	0.139595	0.264875
60°	90°	0.010635	1.000	-0.051573	0.072843
	180°	.1713600	0.000	0.107578	0.235142
90°	180°	.1607250	0.000	0.097176	0.224274
CD_130_2400					
0°	15°	-.1693250	0.000	-0.212295	-0.126355
	30°	-.1525650	0.000	-0.191174	-0.113956
	45°	-.1724050	0.000	-0.214463	-0.130347
	60°	-.1460400	0.000	-0.192253	-0.099827

15°	90°	-.1186700	0.000	-0.163364	-0.073976
	180°	0.012760	0.998	-0.025803	0.051323
	30°	0.016760	0.989	-0.026907	0.060427
	45°	-0.003080	1.000	-0.049659	0.043499
	60°	0.023285	0.935	-0.026913	0.073483
	90°	.0506550	0.037	0.001793	0.099517
30°	180°	.1820850	0.000	0.138456	0.225714
	45°	-0.019840	0.935	-0.062617	0.022937
	60°	0.006525	1.000	-0.040314	0.053364
	90°	0.033895	0.323	-0.011456	0.079246
45°	180°	.1653250	0.000	0.125945	0.204705
	60°	0.026365	0.827	-0.023114	0.075844
	90°	.0537350	0.018	0.005621	0.101849
60°	180°	.1851650	0.000	0.142428	0.227902
	90°	0.027370	0.833	-0.024204	0.078944
	180°	.1588000	0.000	0.111995	0.205605
90°	.1314300	0.000	0.086115	0.176745	
CD_150_2400					
0°	15°	-.1973600	0.000	-0.238802	-0.155918
	30°	-.1796900	0.000	-0.219523	-0.139857
	45°	-.1814200	0.000	-0.213381	-0.149459
	60°	-.1601250	0.000	-0.193409	-0.126841
	90°	-.1269500	0.000	-0.166736	-0.087164
	180°	0.046140	0.117	-0.005705	0.097985
15°	30°	0.017670	0.992	-0.029752	0.065092
	45°	0.015940	0.988	-0.025794	0.057674
	60°	0.037235	0.136	-0.005398	0.079868
	90°	.0704100	0.001	0.023024	0.117796
30°	180°	.2435000	0.000	0.186217	0.300783
	45°	-0.001730	1.000	-0.041873	0.038413
	60°	0.019565	0.917	-0.021529	0.060659
	90°	.0527400	0.014	0.006658	0.098822
45°	180°	.2258300	0.000	0.169519	0.282141
	60°	0.021295	0.595	-0.012394	0.054984
	90°	.0544700	0.002	0.014373	0.094567
60°	180°	.2275600	0.000	0.175504	0.279616
	90°	0.033175	0.218	-0.007875	0.074225
	180°	.2062650	0.000	0.153555	0.258975
90°	.1730900	0.000	0.116807	0.229373	
CD_170_2400					
0°	15°	-.1686000	0.000	-0.221505	-0.115695
	30°	-.1634050	0.000	-0.209780	-0.117030
	45°	-.1477300	0.000	-0.196232	-0.099228
	60°	-.1425850	0.000	-0.199794	-0.085376
	90°	-.1164900	0.000	-0.163149	-0.069831
	180°	0.033010	0.673	-0.023050	0.089070
15°	30°	0.005195	1.000	-0.054313	0.064703
	45°	0.020870	0.997	-0.040123	0.081863
	60°	0.026015	0.988	-0.041482	0.093512
	90°	0.052110	0.138	-0.007593	0.111813
30°	180°	.2016100	0.000	0.135006	0.268214
	45°	0.015675	1.000	-0.040203	0.071553
	60°	0.020820	0.998	-0.042354	0.083994
	90°	0.046915	0.150	-0.007485	0.101315
45°	180°	.1964150	0.000	0.134230	0.258600
	60°	0.005145	1.000	-0.059389	0.069679
	90°	0.031240	0.778	-0.024852	0.087332
60°	180°	.1807400	0.000	0.117163	0.244317
	90°	0.026095	0.976	-0.037257	0.089447
	180°	.1755950	0.000	0.105864	0.245326
90°	.1495000	0.000	0.087132	0.211868	

Tabela III.31– Rezultati naknadnog testa (Dunett T3) statističke značajnosti razlika između svakog para grupa uzoraka za sve gramature, paralelno savijenih i skeniranih sa rezolucijom 4800 spi - distribucija oštećenja

Zavisna promenljiva (I)	Uglovi (J)	Srednja razlika (I-J)	Veličina značajnosti	95% Interval poverenja	
				Donja granica	Gornja granica
MD_90_4800					
0°	15°	-0.051895	0.099	-0.108822	0.005032
	30°	0.003430	1.000	-0.047842	0.054702
	45°	0.054755	0.373	-0.022957	0.132467
	60°	0.054445	0.134	-0.008202	0.117092
	90°	.0655550	0.029	0.004073	0.127037
	180°	.1977100	0.000	0.128248	0.267172
15°	30°	0.055325	0.205	-0.012292	0.122942
	45°	.1066500	0.008	0.018876	0.194424
	60°	.1063400	0.001	0.030633	0.182047
	90°	.1174500	0.000	0.042619	0.192281
30°	180°	.2496050	0.000	0.168594	0.330616
	45°	0.051325	0.649	-0.033640	0.136290
	60°	0.051015	0.409	-0.021146	0.123176
	90°	0.062125	0.138	-0.009094	0.133344
45°	180°	.1942800	0.000	0.116454	0.272106
	60°	-0.000310	1.000	-0.091224	0.090604

	90°	0.010800	1.000	-0.079452	0.101052
	180°	.1429550'	0.000	0.047941	0.237969
60°	90°	0.011110	1.000	-0.067664	0.089884
	180°	.1432650'	0.000	0.058732	0.227798
90°	180°	.1321550'	0.000	0.048362	0.215948
MD_115_4800					
0°	15°	-.0398950'	0.007	-0.072802	-0.006988
	30°	-.0360600'	0.050	-0.072083	-0.000037
	45°	-0.020690	0.888	-0.062431	0.021051
	60°	0.005410	1.000	-0.041047	0.051867
	90°	0.006525	1.000	-0.032530	0.045580
	180°	.1075200'	0.000	0.051290	0.163750
15°	30°	0.003835	1.000	-0.030181	0.037851
	45°	0.019205	0.909	-0.020949	0.059359
	60°	.0453050'	0.048	0.000193	0.090417
	90°	.0464200'	0.006	0.009128	0.083712
30°	180°	.1474150'	0.000	0.092197	0.202633
	45°	0.015370	0.994	-0.027156	0.057896
	60°	0.041470	0.129	-0.005658	0.088598
45°	90°	.0425850'	0.028	0.002665	0.082505
	180°	.1435800'	0.000	0.086841	0.200319
	60°	0.026100	0.869	-0.025050	0.077250
60°	90°	0.027215	0.661	-0.017720	0.072150
	180°	.1282100'	0.000	0.068352	0.188068
90°	90°	0.001115	1.000	-0.048097	0.050327
	180°	.1021100'	0.000	0.039377	0.164843
	180°	.1009950'	0.000	0.042655	0.159335
MD_130_4800					
0°	15°	-.0932650'	0.000	-0.141742	-0.044788
	30°	-.1021500'	0.000	-0.137963	-0.066337
	45°	-.0916600'	0.000	-0.132218	-0.051102
	60°	-0.045680	0.106	-0.096132	0.004772
	90°	-.0477100'	0.016	-0.089860	-0.005560
	180°	-0.001485	1.000	-0.044855	0.041885
15°	30°	-0.008885	1.000	-0.055002	0.037232
	45°	0.001605	1.000	-0.047901	0.051111
	60°	0.047585	0.188	-0.009704	0.104874
	90°	0.045555	0.113	-0.005143	0.096253
30°	180°	.0917800'	0.000	0.040150	0.143410
	45°	0.010490	1.000	-0.026917	0.047897
	60°	.0564700'	0.012	0.008235	0.104705
45°	90°	.0544400'	0.001	0.015246	0.093634
	180°	.1006650'	0.000	0.060116	0.141214
	60°	0.045980	0.116	-0.005443	0.097403
60°	90°	.0439500'	0.045	0.000539	0.087361
	180°	.0901750'	0.000	0.045595	0.134755
90°	90°	-0.002030	1.000	-0.054581	0.050521
	180°	0.044195	0.192	-0.009239	0.097629
	180°	.0462250'	0.048	0.000256	0.092194
MD_150_4800					
0°	15°	-.1773750'	0.000	-0.222722	-0.132028
	30°	-.1719700'	0.000	-0.209780	-0.134160
	45°	-.1528000'	0.000	-0.202352	-0.103248
	60°	-.1467400'	0.000	-0.189946	-0.103534
	90°	-.0891050'	0.000	-0.140068	-0.038142
	180°	-0.014855	0.992	-0.055001	0.025291
15°	30°	0.005405	1.000	-0.042743	0.053553
	45°	0.024575	0.965	-0.032469	0.081619
	60°	0.030635	0.704	-0.021432	0.082702
	90°	.0882700'	0.000	0.030075	0.146465
30°	180°	.1625200'	0.000	0.112715	0.212325
	45°	0.019170	0.992	-0.032859	0.071199
	60°	0.025230	0.798	-0.020971	0.071431
45°	90°	.0828650'	0.000	0.029520	0.136210
	180°	.1571150'	0.000	0.113657	0.200573
	60°	0.006060	1.000	-0.049492	0.061612
60°	90°	.0636950'	0.035	0.002519	0.124871
	180°	.1379450'	0.000	0.084435	0.191455
90°	90°	.0576350'	0.044	0.000887	0.114383
	180°	.1318850'	0.000	0.083927	0.179843
	180°	.0742500'	0.002	0.019476	0.129024
MD_170_4800					
0°	15°	-.1321650'	0.000	-0.180703	-0.083627
	30°	-.1307150'	0.000	-0.167972	-0.093458
	45°	-.1439100'	0.000	-0.187732	-0.100088
	60°	-.1339850'	0.000	-0.180106	-0.087864
	90°	-.1117600'	0.000	-0.146310	-0.077210
	180°	0.021910	0.590	-0.013204	0.057024
15°	30°	0.001450	1.000	-0.053318	0.056218
	45°	-0.011745	1.000	-0.070485	0.046995
	60°	-0.001820	1.000	-0.062077	0.058437
	90°	0.020405	0.987	-0.032896	0.073706
30°	180°	.1540750'	0.000	0.100477	0.207673
	45°	-0.013195	1.000	-0.064091	0.037701
	60°	-0.003270	1.000	-0.056033	0.049493

45°	90°	0.018955	0.965	-0.024949	0.062859
	180°	.1526250'	0.000	0.108325	0.196925
	60°	0.009925	1.000	-0.047018	0.066868
	90°	0.032150	0.537	-0.017101	0.081401
60°	180°	.1658200'	0.000	0.116235	0.215405
	90°	0.022225	0.960	-0.028983	0.073433
	180°	.1558950'	0.000	0.104372	0.207418
90°	180°	.1336700'	0.000	0.091418	0.175922

Tabela III.32 – Rezultati naknadnog testa (Dunett T3) statističke značajnosti razlika između svakog para grupa uzoraka za sve gramature, poprečno savijenih i skeniranih sa rezolucijom 4800 spi - distribucija oštećenja

Zavisna promenljiva (I)	Uglovi (J)	Srednja razlika (I-J)	Veličina značajnosti	95% Interval poverenja	
				Donja granica	Gornja granica
CD_90_4800					
0°	15°	-.0833100'	0.000	-0.128305	-0.038315
	30°	-.1197550'	0.000	-0.159305	-0.080205
	45°	-.1138350'	0.000	-0.151812	-0.075858
	60°	-.0769250'	0.000	-0.114097	-0.039753
	90°	-.0733150'	0.000	-0.107463	-0.039167
	180°	.1486950'	0.000	0.072042	0.225348
15°	30°	-0.036445	0.341	-0.085732	0.012842
	45°	-0.030525	0.586	-0.078697	0.017647
	60°	0.006385	1.000	-0.041228	0.053998
	90°	0.009995	1.000	-0.035596	0.055586
30°	180°	.2320050'	0.000	0.151146	0.312864
	45°	0.005920	1.000	-0.037416	0.049256
	60°	.0428300'	0.049	0.000151	0.085509
45°	90°	.0464400'	0.013	0.006170	0.086710
	180°	.2684500'	0.000	0.189709	0.347191
	60°	0.036910	0.118	-0.004373	0.078193
60°	90°	.0405200'	0.034	0.001779	0.079261
	180°	.2625300'	0.000	0.184344	0.340716
90°	180°	.2256200'	0.000	0.147709	0.303531
	180°	.2220100'	0.000	0.145074	0.298946
CD_115_4800					
0°	15°	-.0915800'	0.000	-0.139055	-0.044105
	30°	-.0801500'	0.000	-0.123193	-0.037107
	45°	-.0781650'	0.001	-0.130822	-0.025508
	60°	-0.045400	0.092	-0.094530	0.003730
	90°	-0.036785	0.483	-0.091794	0.018224
	180°	.1199100'	0.000	0.067483	0.172337
15°	30°	0.011430	1.000	-0.039617	0.062477
	45°	0.013415	1.000	-0.045445	0.072275
	60°	0.046180	0.195	-0.009734	0.102094
	90°	0.054795	0.112	-0.006072	0.115662
30°	180°	.2114900'	0.000	0.152824	0.270156
	45°	0.001985	1.000	-0.053768	0.057738
	60°	0.034750	0.518	-0.017788	0.087288
	90°	0.043365	0.318	-0.014558	0.101288
45°	180°	.2006000'	0.000	0.144518	0.255602
	60°	0.032765	0.802	-0.027306	0.092836
	90°	0.041380	0.573	-0.023181	0.105941
60°	180°	.1980750'	0.000	0.135520	0.260630
	90°	0.008615	1.000	-0.053405	0.070635
90°	180°	.1653100'	0.000	0.105428	0.225192
	180°	.1566950'	0.000	0.092303	0.221087
CD_130_4800					
0°	15°	-.1692700'	0.000	-0.209622	-0.128918
	30°	-.1505500'	0.000	-0.179927	-0.121173
	45°	-.1746650'	0.000	-0.216156	-0.133174
	60°	-.1449100'	0.000	-0.187256	-0.102564
	90°	-.1174950'	0.000	-0.158518	-0.076472
	180°	0.020530	0.617	-0.012380	0.053440
15°	30°	0.018720	0.876	-0.019132	0.056572
	45°	-0.005395	1.000	-0.052494	0.041704
	60°	0.024360	0.871	-0.023449	0.072169
	90°	.0517750'	0.019	0.005062	0.098488
30°	180°	.1898000'	0.000	0.149434	0.230166
	45°	-0.024115	0.604	-0.063214	0.014984
	60°	0.005640	1.000	-0.034391	0.045671
	90°	0.033055	0.150	-0.005534	0.071644
45°	180°	.1710800'	0.000	0.141680	0.200480
	60°	0.029755	0.649	-0.018942	0.078452
	90°	.0571700'	0.008	0.009537	0.104803
60°	180°	.1951950'	0.000	0.153691	0.236699
	90°	0.027415	0.755	-0.020916	0.075746
90°	180°	.1654400'	0.000	0.123081	0.207799
	180°	.1380250'	0.000	0.096988	0.179062
CD_150_4800					
0°	15°	-.1899500'	0.000	-0.231127	-0.148773
	30°	-.1798750'	0.000	-0.222749	-0.137001
	45°	-.1775850'	0.000	-0.211822	-0.143348
	60°	-.1578300'	0.000	-0.193133	-0.122527

	90°	-.1287350	0.000	-0.168177	-0.089293
	180°	0.031865	0.096	-0.002762	0.066492
15°	30°	0.010075	1.000	-0.035045	0.055195
	45°	0.012365	0.997	-0.024938	0.049668
	60°	0.032120	0.174	-0.006124	0.070364
	90°	.0612150	0.001	0.019248	0.103182
	180°	.2218150	0.000	0.184169	0.259461
30°	45°	0.002290	1.000	-0.036965	0.041545
	60°	0.022045	0.782	-0.018084	0.062174
	90°	.0511400	0.011	0.007521	0.094759
	180°	.2117400	0.000	0.172167	0.251313
45°	60°	0.019755	0.540	-0.010467	0.049977
	90°	.0488500	0.002	0.013579	0.084121
	180°	.2094500	0.000	0.180088	0.238812
60°	90°	0.029095	0.228	-0.007197	0.065387
	180°	.1896950	0.000	0.159004	0.220386
90°	180°	.1606000	0.000	0.124956	0.196244
CD 170 4800					
0°	15°	-.1735100	0.000	-0.223343	-0.123677
	30°	-.1752500	0.000	-0.218389	-0.132111
	45°	-.1559250	0.000	-0.202183	-0.109667
	60°	-.1516700	0.000	-0.200325	-0.103015
	90°	-.1252850	0.000	-0.169157	-0.081413
	180°	0.024220	0.541	-0.013117	0.061557
15°	30°	-0.001740	1.000	-0.059297	0.055817
	45°	0.017585	1.000	-0.042051	0.077221
	60°	0.021840	0.995	-0.039465	0.083145
	90°	0.048225	0.187	-0.009811	0.106261
30°	180°	.1977300	0.000	0.143728	0.251732
	45°	0.019325	0.996	-0.035395	0.074045
	60°	0.023580	0.974	-0.033031	0.080191
	90°	0.049965	0.079	-0.002924	0.102854
45°	180°	.1994700	0.000	0.151290	0.247650
	60°	0.004255	1.000	-0.054485	0.062995
	90°	0.030640	0.783	-0.024596	0.085876
60°	180°	.1801450	0.000	0.129286	0.231004
	90°	0.026385	0.937	-0.030716	0.083486
90°	180°	.1758900	0.000	0.122931	0.228849
	180°	.1495050	0.000	0.100702	0.198308

Fotografisani uzorci

Procenat belih piksela

Tabela III.33 - Test homogenosti varijanse podgrupa s obzirom na udaljenost fotografisanja - paralelno (MD) i poprečno (CD) savijeni uzorci – procenat belih piksela

Uzorci	Leveneova statistika	df1	df2	Veličina značajnosti	Uzorci	Leveneova statistika	df1	df2	Veličina značajnosti
MD_90_0	3.325	2	57	.043	CD_90_0	2.454	2	57	.095*
MD_115_0	2.800	2	57	.069*	CD_115_0	3.717	2	57	.030
MD_130_0	3.356	2	57	.042	CD_130_0	.267	2	57	.767*
MD_150_0	.848	2	57	.434*	CD_150_0	10.453	2	57	.000
MD_170_0	1.765	2	57	.180*	CD_170_0	2.948	2	57	.060*
MD_90_15	5.972	2	57	.004	CD_90_15	3.814	2	57	.028
MD_115_15	1.459	2	57	.241*	CD_115_15	1.024	2	57	.366*
MD_130_15	7.208	2	57	.002	CD_130_15	13.181	2	57	.000
MD_150_15	2.754	2	57	.072*	CD_150_15	.773	2	57	.467*
MD_170_15	3.126	2	57	.051*	CD_170_15	.326	2	57	.723*
MD_90_30	.365	2	57	.696*	CD_90_30	3.391	2	57	.041
MD_115_30	1.072	2	57	.349*	CD_115_30	1.223	2	57	.302*
MD_130_30	5.677	2	57	.006	CD_130_30	5.964	2	57	.004
MD_150_30	.632	2	57	.535*	CD_150_30	2.676	2	57	.077*
MD_170_30	2.501	2	57	.091*	CD_170_30	.099	2	57	.906*
MD_90_45	4.220	2	57	.020	CD_90_45	.013	2	57	.987*
MD_115_45	4.591	2	57	.014	CD_115_45	1.186	2	57	.313*
MD_130_45	.073	2	57	.930*	CD_130_45	7.298	2	57	.002
MD_150_45	7.569	2	57	.001	CD_150_45	.082	2	57	.921*
MD_170_45	1.819	2	57	.171*	CD_170_45	1.626	2	57	.206*
MD_90_60	5.747	2	57	.005	CD_90_60	5.426	2	57	.007
MD_115_60	2.198	2	57	.120*	CD_115_60	1.908	2	57	.158*
MD_130_60	2.773	2	57	.071*	CD_130_60	21.467	2	57	.000
MD_150_60	2.785	2	57	.070*	CD_150_60	3.587	2	57	.034
MD_170_60	1.626	2	57	.206*	CD_170_60	3.352	2	57	.042
MD_90_90	4.282	2	57	.019	CD_90_90	8.730	2	57	.000
MD_115_90	2.501	2	57	.091*	CD_115_90	2.533	2	57	.088*
MD_130_90	3.712	2	57	.031	CD_130_90	3.714	2	57	.030
MD_150_90	.034	2	57	.966*	CD_150_90	.098	2	57	.907*
MD_170_90	1.382	2	57	.259*	CD_170_90	2.307	2	57	.109*
MD_90_180	2.186	2	57	.122*	CD_90_180	3.459	2	57	.038
MD_115_180	.456	2	57	.636*	CD_115_180	.032	2	57	.969*
MD_130_180	11.004	2	57	.000	CD_130_180	.038	2	57	.963*
MD_150_180	.648	2	57	.527*	CD_150_180	1.232	2	57	.299*
MD_170_180	3.381	2	57	.041	CD_170_180	.338	2	57	.715*

*Potvrđena homogenost varijanse grupe

Tabela III.34 – ANOVA - podgrupe po udaljenosti fotografisanja - paralelno (MD) i poprečno (CD) savijeni uzorci – procenat belih piksela

Uzorci	Suma kvadrata			Stepen slobode			F vrednost	Veličina značajnosti	Eta kvadrat
	Između grupa	Unutar grupa	Ukupno	Između grupa	Unutar grupa	Ukupno			
MD_90_0	3.562	2.964	6.525	2	57	59	34.250	0.000*	0.54582
MD_115_0	1.038	4.212	5.250	2	57	59	7.023	0.002*	0.19769
MD_130_0	0.243	5.534	5.777	2	57	59	1.253	0.293	0.04212
MD_150_0	0.369	9.613	9.982	2	57	59	1.095	0.341	0.03701
MD_170_0	1.662	7.656	9.318	2	57	59	6.186	0.004*	0.17835
MD_90_15	1.286	11.718	13.004	2	57	59	3.128	0.051	0.09890
MD_115_15	0.952	16.579	17.531	2	57	59	1.637	0.204	0.05431
MD_130_15	0.234	12.404	12.638	2	57	59	0.538	0.587	0.01854
MD_150_15	6.146	8.436	14.582	2	57	59	20.764	0.000*	0.42148
MD_170_15	8.804	15.486	24.290	2	57	59	16.202	0.000*	0.36244
MD_90_30	4.492	13.893	18.385	2	57	59	9.215	0.000*	0.24432
MD_115_30	0.694	13.352	14.047	2	57	59	1.482	0.236	0.04943
MD_130_30	1.573	12.306	13.879	2	57	59	3.643	0.032*	0.11333
MD_150_30	6.441	12.162	18.603	2	57	59	15.093	0.000*	0.34622
MD_170_30	10.283	15.990	26.273	2	57	59	18.328	0.000*	0.39139
MD_90_45	3.776	13.109	16.885	2	57	59	8.210	0.001*	0.22363
MD_115_45	0.467	14.044	14.510	2	57	59	0.948	0.394	0.03218
MD_130_45	0.266	7.014	7.279	2	57	59	1.079	0.347	0.03648
MD_150_45	4.145	11.763	15.909	2	57	59	10.044	0.000*	0.26058
MD_170_45	7.877	13.750	21.627	2	57	59	16.327	0.000*	0.36422
MD_90_60	1.012	10.493	11.506	2	57	59	2.749	0.072	0.08798
MD_115_60	0.398	15.416	15.815	2	57	59	0.737	0.483	0.02519
MD_130_60	0.274	12.056	12.330	2	57	59	0.647	0.527	0.02219
MD_150_60	1.157	8.167	9.325	2	57	59	4.039	0.023*	0.12413
MD_170_60	3.921	12.995	16.916	2	57	59	8.599	0.001*	0.23178
MD_90_90	1.755	3.837	5.592	2	57	59	13.034	0.000*	0.31381
MD_115_90	1.656	11.084	12.739	2	57	59	4.258	0.019*	0.12998
MD_130_90	0.966	8.514	9.480	2	57	59	3.233	0.047*	0.10187
MD_150_90	0.974	6.999	7.972	2	57	59	3.964	0.024*	0.12211
MD_170_90	4.783	14.000	18.783	2	57	59	9.736	0.000*	0.25462
MD_90_180	0.134	8.489	8.623	2	57	59	0.451	0.639	0.01558
MD_115_180	0.146	9.893	10.039	2	57	59	0.420	0.659	0.01452
MD_130_180	0.558	9.270	9.828	2	57	59	1.716	0.189	0.05679
MD_150_180	0.739	4.347	5.086	2	57	59	4.845	0.011*	0.14530
MD_170_180	0.694	3.822	4.516	2	57	59	5.175	0.009*	0.15366
CD_90_0	3.046	3.035	6.081	2	57	59	28.599	0.000*	0.50087
CD_115_0	7.287	3.784	11.071	2	57	59	54.882	0.000*	0.65820
CD_130_0	25.403	3.047	28.450	2	57	59	237.576	0.000*	0.89289
CD_150_0	5.118	4.200	9.318	2	57	59	34.728	0.000*	0.54925
CD_170_0	3.175	4.168	7.342	2	57	59	21.709	0.000*	0.43238
CD_90_15	0.376	16.953	17.329	2	57	59	0.632	0.535	0.02170
CD_115_15	0.649	10.997	11.646	2	57	59	1.682	0.195	0.05573
CD_130_15	1.590	22.522	24.112	2	57	59	2.012	0.143	0.06593
CD_150_15	11.005	7.485	18.491	2	57	59	41.902	0.000*	0.59518
CD_170_15	21.685	11.928	33.614	2	57	59	51.811	0.000*	0.64513
CD_90_30	0.536	18.433	18.969	2	57	59	0.829	0.442	0.02826
CD_115_30	1.272	8.435	9.707	2	57	59	4.298	0.018*	0.13105
CD_130_30	0.258	14.772	15.030	2	57	59	0.497	0.611	0.01715
CD_150_30	19.212	9.844	29.056	2	57	59	55.621	0.000*	0.66120
CD_170_30	9.282	19.446	28.728	2	57	59	13.604	0.000*	0.32311
CD_90_45	1.442	10.421	11.863	2	57	59	3.943	0.025*	0.12153
CD_115_45	4.627	6.125	10.753	2	57	59	21.529	0.000*	0.43033
CD_130_45	0.142	19.455	19.597	2	57	59	0.208	0.813	0.00725
CD_150_45	5.506	12.854	18.360	2	57	59	12.208	0.000*	0.29989
CD_170_45	6.743	23.686	30.429	2	57	59	8.114	0.001*	0.22160
CD_90_60	2.612	8.878	11.490	2	57	59	8.386	0.001*	0.22735
CD_115_60	0.364	7.082	7.447	2	57	59	1.466	0.239	0.04892
CD_130_60	0.423	29.496	29.919	2	57	59	0.409	0.666	0.01414
CD_150_60	4.014	25.275	29.289	2	57	59	4.527	0.015*	0.13706
CD_170_60	12.669	31.643	44.312	2	57	59	11.410	0.000*	0.28590
CD_90_90	5.359	13.319	18.679	2	57	59	11.468	0.000*	0.28692
CD_115_90	1.528	5.392	6.920	2	57	59	8.075	0.001*	0.22077
CD_130_90	0.574	13.266	13.841	2	57	59	1.234	0.299	0.04149
CD_150_90	6.965	9.459	16.425	2	57	59	20.986	0.000*	0.42408
CD_170_90	10.768	14.721	25.488	2	57	59	20.846	0.000*	0.42245
CD_90_180	0.229	7.086	7.315	2	57	59	0.923	0.403	0.03136
CD_115_180	0.187	7.019	7.206	2	57	59	0.757	0.474	0.02589
CD_130_180	2.067	6.311	8.378	2	57	59	9.335	0.000*	0.24673
CD_150_180	0.154	5.620	5.774	2	57	59	0.780	0.463	0.02665
CD_170_180	0.291	6.073	6.364	2	57	59	1.365	0.264	0.04570

*Potvrđena statistička značajna razlika pri p<0.05

Tabela III.35 – Brown-Forsythe test - podgrupe po udaljenosti fotografisanja - paralelno (MD) i poprečno (CD) savijeni uzorci – procenat belih piksela

Uzorci	Brown-Forsythe								
	Statistika ^a	df1	df2	Veličina značajnosti	Uzorci	Statistika ^a	df1	df2	Veličina značajnosti
MD_90_0	34.250	2	42.134	.000*	CD_90_0	28.599	2	50.925	.000*

MD_115_0	7.023	2	51.409	.002*	CD_115_0	54.882	2	43.004	.000*
MD_130_0	1.253	2	47.168	.295	CD_130_0	237.576	2	55.825	.000*
MD_150_0	1.095	2	52.713	.342	CD_150_0	34.728	2	35.365	.000*
MD_170_0	6.186	2	52.994	.004*	CD_170_0	21.709	2	48.677	.000*
MD_90_15	3.128	2	50.543	.052	CD_90_15	.632	2	48.566	.536
MD_115_15	1.637	2	48.480	.205	CD_115_15	1.682	2	54.619	.196
MD_130_15	.538	2	37.229	.588	CD_130_15	2.012	2	37.579	.148
MD_150_15	20.764	2	48.035	.000*	CD_150_15	41.902	2	50.618	.000*
MD_170_15	16.202	2	45.672	.000*	CD_170_15	51.811	2	55.960	.000*
MD_90_30	9.215	2	56.040	.000*	CD_90_30	.829	2	51.473	.442
MD_115_30	1.482	2	51.728	.237	CD_115_30	4.298	2	54.546	.018*
MD_130_30	3.643	2	44.455	.034*	CD_130_30	.497	2	39.595	.612
MD_150_30	15.093	2	56.246	.000*	CD_150_30	55.621	2	47.018	.000*
MD_170_30	18.328	2	48.793	.000*	CD_170_30	13.604	2	56.849	.000*
MD_90_45	8.210	2	50.629	.001*	CD_90_45	3.943	2	56.896	.025*
MD_115_45	.948	2	50.801	.394	CD_115_45	21.529	2	51.723	.000*
MD_130_45	1.079	2	55.699	.347	CD_130_45	.208	2	40.846	.813
MD_150_45	10.044	2	42.489	.000*	CD_150_45	12.208	2	56.405	.000*
MD_170_45	16.327	2	51.570	.000*	CD_170_45	8.114	2	53.106	.001*
MD_90_60	2.749	2	50.051	.074	CD_90_60	8.386	2	42.174	.001*
MD_115_60	.737	2	47.561	.484	CD_115_60	1.466	2	47.957	.241
MD_130_60	.647	2	50.692	.528	CD_130_60	.409	2	30.544	.668
MD_150_60	4.039	2	48.889	.024*	CD_150_60	4.527	2	46.132	.016*
MD_170_60	8.599	2	52.520	.001*	CD_170_60	11.410	2	50.909	.000*
MD_90_90	13.034	2	48.939	.000*	CD_90_90	11.468	2	39.215	.000*
MD_115_90	4.258	2	51.723	.019*	CD_115_90	8.075	2	50.182	.001*
MD_130_90	3.233	2	48.054	.048*	CD_130_90	1.234	2	41.698	.302
MD_150_90	3.964	2	56.819	.024*	CD_150_90	20.986	2	56.043	.000*
MD_170_90	9.736	2	49.561	.000*	CD_170_90	20.846	2	51.732	.000*
MD_90_180	.451	2	53.868	.639	CD_90_180	.923	2	49.384	.404
MD_115_180	.420	2	56.338	.659	CD_115_180	.757	2	56.378	.474
MD_130_180	1.716	2	44.446	.191	CD_130_180	9.335	2	56.760	.000*
MD_150_180	4.845	2	50.780	.012*	CD_150_180	.780	2	51.852	.464
MD_170_180	5.175	2	49.135	.009*	CD_170_180	1.365	2	56.952	.264

*Potvrđena statistička značajna razlika pri p<0.05

Tabela III.36 - Rezultati naknadnog testa (Dunett T3) statističke značajnosti razlika između svakog para grupa uzoraka za sve gramature, paralelno savijenih i fotografisanih sa različitim unutrašnjim uglovima postavljanja – procenat belih piksela

Zavisna promenljiva (I)	Uglovi (J)	Srednja razlika (I-J)	Veličina značajnosti	95% Interval poverenja	
				Donja granica	Gornja granica
MD_90_0					
30 cm	21 cm	-.5695000*	0.000	-0.763560	-0.375440
	12 cm	-0.130230	0.070	-0.268700	0.008240
21 cm	12 cm	.4392700*	0.000	0.234080	0.644460
MD_115_0					
30 cm	21 cm	.2406150*	0.046	0.003294	0.477936
	12 cm	.3058350*	0.001	0.108886	0.502784
21 cm	12 cm	0.065220	0.818	-0.143977	0.274417
MD_130_0					
30 cm	21 cm	0.128960	0.315	-0.073561	0.331481
	12 cm	-0.011535	0.999	-0.281381	0.258311
21 cm	12 cm	-0.140495	0.460	-0.403872	0.122882
MD_150_0					
30 cm	21 cm	-0.071980	0.924	-0.396252	0.252292
	12 cm	0.118355	0.684	-0.177120	0.413830
21 cm	12 cm	0.190335	0.453	-0.161396	0.542066
MD_170_0					
30 cm	21 cm	0.288005	0.080	-0.026048	0.602058
	12 cm	.3938750*	0.005	0.107394	0.680356
21 cm	12 cm	0.105870	0.689	-0.160704	0.372444
MD_90_15					
30 cm	21 cm	-0.144280	0.624	-0.476264	0.187704
	12 cm	-.3564700*	0.039	-0.698405	-0.014535
21 cm	12 cm	-0.212190	0.470	-0.612049	0.187669
MD_115_15					
30 cm	21 cm	0.236695	0.450	-0.202248	0.675638
	12 cm	-0.053090	0.976	-0.415969	0.309789
21 cm	12 cm	-0.289785	0.346	-0.763089	0.183519
MD_130_15					
30 cm	21 cm	-0.135685	0.798	-0.555497	0.284127
	12 cm	-0.129185	0.512	-0.385237	0.126867
21 cm	12 cm	0.006500	1.000	-0.412344	0.425344
MD_150_15					
30 cm	21 cm	-.5456750*	0.001	-0.871882	-0.219468
	12 cm	0.214640	0.116	-0.038200	0.467480
21 cm	12 cm	.7603150*	0.000	0.430801	1.089829
MD_170_15					
30 cm	21 cm	0.044130	0.992	-0.404321	0.492581
	12 cm	.8337350*	0.000	0.502957	1.164513
21 cm	12 cm	.7896050*	0.000	0.338888	1.240322
MD_90_30					
30 cm	21 cm	-.3854800*	0.047	-0.766599	-0.004361
	12 cm	-.6675500*	0.000	-1.047358	-0.287742

21 cm	12 cm	-0.282070	0.248	-0.688883	0.124743
MD_115_30					
30 cm	21 cm	0.067820	0.944	-0.271790	0.407430
	12 cm	-0.186610	0.552	-0.576900	0.203680
21 cm	12 cm	-0.254430	0.345	-0.669094	0.160234
MD_130_30					
30 cm	21 cm	-0.395985	0.059	-0.803115	0.011145
	12 cm	-0.217055	0.192	-0.506913	0.072803
21 cm	12 cm	0.178930	0.598	-0.220041	0.577901
MD_150_30					
30 cm	21 cm	-.7260050'	0.000	-1.101034	-0.350976
	12 cm	-0.066785	0.950	-0.416421	0.282851
21 cm	12 cm	.6592200'	0.000	0.291395	1.027045
MD_170_30					
30 cm	21 cm	-0.070795	0.974	-0.536210	0.394620
	12 cm	.8406500'	0.000	0.413005	1.268295
21 cm	12 cm	.9114450'	0.000	0.551887	1.271003
MD_90_45					
30 cm	21 cm	-0.203855	0.472	-0.591389	0.183679
	12 cm	-.6039600'	0.003	-1.018619	-0.189301
21 cm	12 cm	-.4001050'	0.014	-0.731960	-0.068250
MD_115_45					
30 cm	21 cm	0.064125	0.973	-0.353565	0.481815
	12 cm	-0.146635	0.633	-0.486221	0.192951
21 cm	12 cm	-0.210760	0.505	-0.626570	0.205050
MD_130_45					
30 cm	21 cm	-0.139360	0.554	-0.430385	0.151665
	12 cm	-0.142830	0.465	-0.410709	0.125049
21 cm	12 cm	-0.003470	1.000	-0.274290	0.267350
MD_150_45					
30 cm	21 cm	-0.327135	0.170	-0.750266	0.095996
	12 cm	0.316690	0.086	-0.034822	0.668202
21 cm	12 cm	.6438250'	0.000	0.339522	0.948128
MD_170_45					
30 cm	21 cm	0.169325	0.692	-0.257801	0.596451
	12 cm	.8391700'	0.000	0.486221	1.192119
21 cm	12 cm	.6698450'	0.000	0.287567	1.052123
MD_90_60					
30 cm	21 cm	0.129775	0.741	-0.226924	0.486474
	12 cm	-0.186690	0.501	-0.553024	0.179644
21 cm	12 cm	-.3164650'	0.029	-0.607402	-0.025528
MD_115_60					
30 cm	21 cm	0.131645	0.807	-0.282437	0.545727
	12 cm	-0.064120	0.956	-0.416860	0.288620
21 cm	12 cm	-0.195765	0.649	-0.659768	0.268238
MD_130_60					
30 cm	21 cm	-0.164930	0.652	-0.558201	0.228341
	12 cm	-0.071425	0.921	-0.387017	0.244167
21 cm	12 cm	0.093505	0.899	-0.284763	0.471773
MD_150_60					
30 cm	21 cm	-0.271340	0.141	-0.605727	0.063047
	12 cm	0.042060	0.968	-0.218138	0.302258
21 cm	12 cm	.3134000'	0.039	0.012289	0.614511
MD_170_60					
30 cm	21 cm	0.041185	0.992	-0.371574	0.453944
	12 cm	.5616950'	0.002	0.195304	0.928086
21 cm	12 cm	.5205100'	0.002	0.169649	0.871371
MD_90_90					
30 cm	21 cm	.3026900'	0.002	0.100490	0.504890
	12 cm	-0.099445	0.634	-0.329981	0.131091
21 cm	12 cm	-.4021350'	0.000	-0.583749	-0.220521
MD_115_90					
30 cm	21 cm	.3611450'	0.026	0.034855	0.687435
	12 cm	0.018195	0.999	-0.314652	0.351042
21 cm	12 cm	-0.342950	0.093	-0.727732	0.041832
MD_130_90					
30 cm	21 cm	-0.303295	0.070	-0.625496	0.018906
	12 cm	-0.093030	0.743	-0.348332	0.162272
21 cm	12 cm	0.210265	0.326	-0.125265	0.545795
MD_150_90					
30 cm	21 cm	-0.078070	0.860	-0.354627	0.198487
	12 cm	0.222580	0.155	-0.058289	0.503449
21 cm	12 cm	.3006500'	0.026	0.029318	0.571982
MD_170_90					
30 cm	21 cm	0.006165	1.000	-0.425986	0.438316
	12 cm	.6019650'	0.002	0.200708	1.003222
21 cm	12 cm	.5958000'	0.000	0.257260	0.934340
MD_90_180					
30 cm	21 cm	-0.104045	0.810	-0.429581	0.221491
	12 cm	-0.096245	0.776	-0.376716	0.184226
21 cm	12 cm	0.007800	1.000	-0.298977	0.314577
MD_115_180					
30 cm	21 cm	-0.094580	0.848	-0.418942	0.229782
	12 cm	0.017710	0.999	-0.322904	0.358324
21 cm	12 cm	0.112290	0.765	-0.208107	0.432687

MD_130_180					
30 cm	21 cm	-0.230910	0.234	-0.560950	0.099130
	12 cm	-0.072185	0.944	-0.436424	0.292054
21 cm	12 cm	0.158725	0.344	-0.100494	0.417944
MD_150_180					
30 cm	21 cm	-.2559300	0.029	-0.490165	-0.021695
	12 cm	-.2073600	0.028	-0.396489	-0.018231
21 cm	12 cm	0.048570	0.933	-0.180785	0.277925
MD_170_180					
30 cm	21 cm	-.2625400	0.012	-0.474762	-0.050318
	12 cm	-0.149890	0.278	-0.375020	0.075240
21 cm	12 cm	0.112650	0.304	-0.062077	0.287377

Tabela III.37 - Rezultati naknadnog testa (Dunett T3) statističke značajnosti razlika između svakog para grupa uzoraka za sve gramature, poprečno savijenih i fotografisanih sa različitim unutrašnjim uglovima postavljanja – procenat belih piksela

Zavisna promenljiva (I)	Uglovi (J)	Srednja razlika (I-J)	Veličina značajnosti	95% Interval poverenja	
				Donja granica	Gornja granica
CD_90_0					
30 cm	21 cm	-0.118775	0.226	-0.285694	0.048144
	12 cm	.4073700	0.000	0.230398	0.584342
21 cm	12 cm	.5261450	0.000	0.323711	0.728579
CD_115_0					
30 cm	21 cm	-0.112315	0.541	-0.344115	0.119485
	12 cm	.6766850	0.000	0.459722	0.893648
21 cm	12 cm	.7890000	0.000	0.629677	0.948323
CD_130_0					
30 cm	21 cm	-.6805000	0.000	-0.857256	-0.503744
	12 cm	.9079100	0.000	0.716563	1.099257
21 cm	12 cm	1.5884100	0.000	1.409599	1.767221
CD_150_0					
30 cm	21 cm	-.2283600	0.001	-0.373406	-0.083314
	12 cm	.4729550	0.000	0.233269	0.712641
21 cm	12 cm	.7013150	0.000	0.449214	0.953416
CD_170_0					
30 cm	21 cm	0.121725	0.383	-0.087152	0.330602
	12 cm	.5372900	0.000	0.296073	0.778507
21 cm	12 cm	.4155650	0.000	0.225201	0.605929
CD_90_15					
30 cm	21 cm	-0.013455	1.000	-0.502057	0.475147
	12 cm	-0.174260	0.605	-0.566304	0.217784
21 cm	12 cm	-0.160805	0.694	-0.572563	0.250953
CD_115_15					
30 cm	21 cm	0.055875	0.961	-0.264115	0.375865
	12 cm	-0.187315	0.477	-0.543863	0.169233
21 cm	12 cm	-0.243190	0.272	-0.605386	0.119006
CD_130_15					
30 cm	21 cm	-0.151475	0.849	-0.686638	0.383688
	12 cm	0.243655	0.262	-0.116893	0.604203
21 cm	12 cm	0.395130	0.266	-0.191246	0.981506
CD_150_15					
30 cm	21 cm	0.141450	0.409	-0.107002	0.389902
	12 cm	.9709450	0.000	0.672912	1.268978
21 cm	12 cm	.8294950	0.000	0.519373	1.139617
CD_170_15					
30 cm	21 cm	-0.140440	0.701	-0.500297	0.219417
	12 cm	1.1992650	0.000	0.823237	1.575293
21 cm	12 cm	1.3397050	0.000	0.993599	1.685811
CD_90_30					
30 cm	21 cm	-0.079035	0.967	-0.559204	0.401134
	12 cm	-0.227990	0.395	-0.621454	0.165474
21 cm	12 cm	-0.148955	0.813	-0.619548	0.321638
CD_115_30					
30 cm	21 cm	0.035570	0.988	-0.272966	0.344106
	12 cm	-.2895500	0.042	-0.570561	-0.008539
21 cm	12 cm	-.3251200	0.046	-0.645342	-0.004898
CD_130_30					
30 cm	21 cm	0.113730	0.859	-0.300063	0.527523
	12 cm	0.155025	0.520	-0.160119	0.470169
21 cm	12 cm	0.041295	0.995	-0.436085	0.518675
CD_150_30					
30 cm	21 cm	-.4865450	0.007	-0.855736	-0.117354
	12 cm	.8807100	0.000	0.605105	1.156315
21 cm	12 cm	1.3672550	0.000	1.029363	1.705147
CD_170_30					
30 cm	21 cm	-.4929100	0.036	-0.960679	-0.025141
	12 cm	.4704500	0.044	0.010046	0.930854
21 cm	12 cm	.9633600	0.000	0.510108	1.416612
CD_90_45					
30 cm	21 cm	-0.110655	0.792	-0.443783	0.222473
	12 cm	-.3698850	0.030	-0.711700	-0.028070
21 cm	12 cm	-0.259230	0.173	-0.595574	0.077114
CD_115_45					
30 cm	21 cm	-0.086200	0.820	-0.362602	0.190202
	12 cm	-.6274550	0.000	-0.855138	-0.399772

21 cm	12 cm	-.5412550	0.000	-0.812104	-0.270406
CD_130_45					
30 cm	21 cm	-0.031190	0.998	-0.513664	0.451284
	12 cm	0.084035	0.911	-0.275169	0.443239
21 cm	12 cm	0.115225	0.932	-0.424429	0.654879
CD_150_45					
30 cm	21 cm	-0.153250	0.689	-0.538331	0.231831
	12 cm	.5521350	0.001	0.190501	0.913769
21 cm	12 cm	.7053850	0.000	0.328952	1.081818
CD_170_45					
30 cm	21 cm	-0.119495	0.904	-0.611541	0.372551
	12 cm	.6438250	0.018	0.089502	1.198148
21 cm	12 cm	.7633200	0.001	0.284225	1.242415
CD_90_60					
30 cm	21 cm	-0.221000	0.290	-0.560407	0.118407
	12 cm	-.5096050	0.003	-0.861984	-0.157226
21 cm	12 cm	-.2886050	0.013	-0.526941	-0.050269
CD_115_60					
30 cm	21 cm	-0.007820	1.000	-0.319703	0.304063
	12 cm	-0.169065	0.226	-0.406402	0.068272
21 cm	12 cm	-0.161245	0.407	-0.445740	0.123250
CD_130_60					
30 cm	21 cm	-0.154275	0.901	-0.801690	0.493140
	12 cm	-0.194990	0.401	-0.537689	0.147709
21 cm	12 cm	-0.040715	0.998	-0.729841	0.648411
CD_150_60					
30 cm	21 cm	0.065720	0.990	-0.532593	0.664033
	12 cm	.5786000	0.031	0.043049	1.114151
21 cm	12 cm	.5128800	0.019	0.071084	0.954676
CD_170_60					
30 cm	21 cm	.6411800	0.050	0.000447	1.281913
	12 cm	1.1217300	0.000	0.516403	1.727057
21 cm	12 cm	0.480550	0.074	-0.035090	0.996190
CD_90_90					
30 cm	21 cm	0.025885	0.998	-0.420363	0.472133
	12 cm	-.6206600	0.002	-1.030460	-0.210860
21 cm	12 cm	-.6465450	0.000	-0.930621	-0.362469
CD_115_90					
30 cm	21 cm	0.059165	0.917	-0.198962	0.317292
	12 cm	-.3050100	0.017	-0.565144	-0.044876
21 cm	12 cm	-.3641750	0.000	-0.572709	-0.155641
CD_130_90					
30 cm	21 cm	0.098380	0.914	-0.326889	0.523649
	12 cm	-0.140050	0.541	-0.427637	0.147537
21 cm	12 cm	-0.238430	0.411	-0.661689	0.184829
CD_150_90					
30 cm	21 cm	-0.046515	0.979	-0.376109	0.283079
	12 cm	.6983950	0.000	0.392390	1.004400
21 cm	12 cm	.7449100	0.000	0.417055	1.072765
CD_170_90					
30 cm	21 cm	-0.401975	0.080	-0.840309	0.036359
	12 cm	.6274900	0.000	0.267519	0.987461
21 cm	12 cm	1.0294650	0.000	0.625612	1.433318
CD_90_180					
30 cm	21 cm	-0.149880	0.406	-0.413911	0.114151
	12 cm	-0.093825	0.738	-0.351076	0.163426
21 cm	12 cm	0.056055	0.959	-0.258018	0.370128
CD_115_180					
30 cm	21 cm	0.006085	1.000	-0.264106	0.276276
	12 cm	-0.115120	0.650	-0.388309	0.158069
21 cm	12 cm	-0.121205	0.648	-0.407821	0.165411
CD_130_180					
30 cm	21 cm	-.3354850	0.008	-0.597521	-0.073449
	12 cm	-.4334700	0.000	-0.690724	-0.176216
21 cm	12 cm	-0.097985	0.741	-0.365659	0.169689
CD_150_180					
30 cm	21 cm	0.117025	0.466	-0.102625	0.336675
	12 cm	0.094120	0.734	-0.161362	0.349602
21 cm	12 cm	-0.022905	0.995	-0.290225	0.244415
CD_170_180					
30 cm	21 cm	-0.169400	0.283	-0.424956	0.086156
	12 cm	-0.067625	0.886	-0.327524	0.192274
21 cm	12 cm	0.101775	0.692	-0.154794	0.358344

Tabela III.38 - Test homogenosti varijanse podgrupa s obzirom na ugleve postavljanja uzoraka pri fotografisanju - paralelno (MD) i poprečno (CD) savijeni uzorci - procenat belih piksela

Uzorci	Leveneova statistika	df1	df2	Veličina značajnosti	Uzorci	Leveneova statistika	df1	df2	Veličina značajnosti
MD_90_30 cm	10.811	6	133	.000	CD_90_30 cm	7.119	6	133	.000
MD_115_30 cm	.750	6	133	.610*	CD_115_30 cm	.494	6	133	.812*
MD_130_30 cm	4.482	6	133	.000	CD_130_30 cm	1.489	6	133	.187*
MD_150_30 cm	3.091	6	133	.007	CD_150_30 cm	9.426	6	133	.000
MD_170_30 cm	1.659	6	133	.136*	CD_170_30 cm	6.988	6	133	.000

MD_90_21 cm	6.936	6	133	.000	CD_90_21 cm	7.854	6	133	.000
MD_115_21 cm	2.557	6	133	.022	CD_115_21 cm	2.074	6	133	.060*
MD_130_21 cm	6.468	6	133	.000	CD_130_21 cm	9.359	6	133	.000
MD_150_21 cm	1.131	6	133	.348*	CD_150_21 cm	4.754	6	133	.000
MD_170_21 cm	3.932	6	133	.001	CD_170_21 cm	6.414	6	133	.000
MD_90_12 cm	5.417	6	133	.000	CD_90_12 cm	1.998	6	133	.070*
MD_115_12 cm	2.673	6	133	.018	CD_115_12 cm	4.628	6	133	.000
MD_130_12 cm	.517	6	133	.795*	CD_130_12 cm	3.375	6	133	.004
MD_150_12 cm	2.343	6	133	.035	CD_150_12 cm	.899	6	133	.498*
MD_170_12 cm	1.516	6	133	.178*	CD_170_12 cm	5.843	6	133	.000

*Potvrđena homogenost varijanse grupe

Tabela III.39 – ANOVA – podgrupe po uglovima postavljanja uzoraka pri fotografisanju - paralelno (MD) i poprečno (CD) savijeni uzorci - procenat belih piksela

Uzorci	Suma kvadrata			Stepen slobode			F vrednost	Veličina značajnosti	Eta kvadrat
	Između grupa	Unutar grupa	Ukupno	Između grupa	Unutar grupa	Ukupno			
MD_90_30 cm	13.916	22.499	36.415	6	133	139	13.711	0.000*	0.38215
MD_115_30 cm	28.122	18.952	47.073	6	133	139	32.892	0.000*	0.59740
MD_130_30 cm	34.796	19.069	53.865	6	133	139	40.447	0.000*	0.64598
MD_150_30 cm	87.346	20.590	107.936	6	133	139	94.035	0.000*	0.80924
MD_170_30 cm	116.984	34.218	151.201	6	133	139	75.784	0.000*	0.77370
MD_90_21 cm	44.247	20.863	65.110	6	133	139	47.012	0.000*	0.67958
MD_115_21 cm	25.893	36.694	62.587	6	133	139	15.642	0.000*	0.41371
MD_130_21 cm	21.609	31.074	52.683	6	133	139	15.415	0.000*	0.41017
MD_150_21 cm	95.370	26.511	121.881	6	133	139	79.742	0.000*	0.78249
MD_170_21 cm	90.773	32.681	123.454	6	133	139	61.570	0.000*	0.73528
MD_90_12 cm	17.929	21.142	39.071	6	133	139	18.798	0.000*	0.45888
MD_115_12 cm	21.145	28.934	50.078	6	133	139	16.199	0.000*	0.42223
MD_130_12 cm	32.809	16.955	49.763	6	133	139	42.895	0.000*	0.65930
MD_150_12 cm	72.181	14.387	86.568	6	133	139	111.215	0.000*	0.83381
MD_170_12 cm	58.995	16.802	75.797	6	133	139	77.831	0.000*	0.77833
CD_90_30 cm	68.323	30.851	99.174	6	133	139	49.090	0.000*	0.68892
CD_115_30 cm	96.945	16.085	113.031	6	133	139	133.598	0.000*	0.85769
CD_130_30 cm	159.299	11.587	170.886	6	133	139	304.755	0.000*	0.93220
CD_150_30 cm	251.624	26.982	278.606	6	133	139	206.719	0.000*	0.90315
CD_170_30 cm	305.926	45.608	351.533	6	133	139	148.689	0.000*	0.87026
CD_90_21 cm	66.685	29.209	95.894	6	133	139	50.607	0.000*	0.69540
CD_115_21 cm	103.854	18.252	122.105	6	133	139	126.131	0.000*	0.85053
CD_130_21 cm	167.919	69.287	237.206	6	133	139	53.721	0.000*	0.70790
CD_150_21 cm	292.966	26.757	319.723	6	133	139	242.704	0.000*	0.91631
CD_170_21 cm	291.771	33.622	325.392	6	133	139	192.364	0.000*	0.89667
CD_90_12 cm	44.969	18.066	63.035	6	133	139	55.178	0.000*	0.71340
CD_115_12 cm	64.044	14.498	78.542	6	133	139	97.918	0.000*	0.81541
CD_130_12 cm	90.318	27.995	118.313	6	133	139	71.514	0.000*	0.76338
CD_150_12 cm	178.842	20.999	199.841	6	133	139	188.787	0.000*	0.89492
CD_170_12 cm	206.390	32.436	238.826	6	133	139	141.047	0.000*	0.86419

*Potvrđena statistička značajna razlika pri p<0.05

Tabela III.40 – Brown-Forsythe test - obzirom na uglove postavljanja uzoraka pri fotografisanju - paralelno (MD) i poprečno (CD) savijeni uzorci - procenat belih piksela

Brown-Forsythe									
Uzorci	Statistika*	df1	df2	Veličina značajnosti	Uzorci	Statistika*	df1	df2	Veličina značajnosti
MD_90_30 cm	13.711	6	97.485	.000	CD_90_30 cm	49.090	6	96.756	.000
MD_115_30 cm	32.892	6	124.306	.000	CD_115_30 cm	133.598	6	128.914	.000
MD_130_30 cm	40.447	6	111.331	.000	CD_130_30 cm	304.755	6	120.995	.000
MD_150_30 cm	94.035	6	102.903	.000	CD_150_30 cm	206.719	6	62.209	.000
MD_170_30 cm	75.784	6	113.255	.000	CD_170_30 cm	148.689	6	91.051	.000
MD_90_21 cm	47.012	6	106.484	.000	CD_90_21 cm	50.607	6	91.721	.000
MD_115_21 cm	15.642	6	109.845	.000	CD_115_21 cm	126.131	6	115.924	.000
MD_130_21 cm	15.415	6	97.610	.000	CD_130_21 cm	53.721	6	89.647	.000
MD_150_21 cm	79.742	6	123.659	.000	CD_150_21 cm	242.704	6	96.207	.000
MD_170_21 cm	61.570	6	105.925	.000	CD_170_21 cm	192.364	6	98.069	.000
MD_90_12 cm	18.798	6	103.412	.000	CD_90_12 cm	55.178	6	113.343	.000
MD_115_12 cm	16.199	6	114.592	.000	CD_115_12 cm	97.918	6	95.740	.000
MD_130_12 cm	42.895	6	129.339	.000	CD_130_12 cm	71.514	6	109.056	.000
MD_150_12 cm	111.215	6	108.010	.000	CD_150_12 cm	188.787	6	125.812	.000
MD_170_12 cm	77.831	6	122.195	.000	CD_170_12 cm	141.047	6	102.655	.000

Tabela III.41 – Rezultati naknadnog testa (Dunett T3) statističke značajnosti razlika između svakog para grupa uzoraka za sve gramature, paralelno savijenih i fotografisanih sa udaljenosti od 30 cm - procenat belih piksela

Zavisna promenljiva (I)	Uglovi (J)	Srednja razlika (I-J)	Veličina značajnosti	95% Interval poverenja	
				Donja granica	Gornja granica
0°	MD_90_30 cm				
	15°	.7436000	0.000	0.481666	1.005534
	30°	.7745800	0.000	0.420969	1.128191
	45°	.8252300	0.000	0.370713	1.279747
	60°	.9299900	0.000	0.514024	1.345956
	90°	1.0637000	0.000	0.807382	1.320018
	180°	.7495800	0.000	0.442607	1.056553

15°	30°	0.030980	1.000	-0.367860	0.429820
	45°	0.081630	1.000	-0.405811	0.569071
	60°	0.186390	0.973	-0.266427	0.639207
	90°	0.320100	0.054	-0.002637	0.642837
	180°	0.005980	1.000	-0.354807	0.366767
30°	45°	0.050650	1.000	-0.480188	0.581488
	60°	0.155410	0.999	-0.345264	0.656084
	90°	0.289120	0.354	-0.106758	0.684998
45°	180°	-0.025000	1.000	-0.449779	0.399779
	60°	0.104760	1.000	-0.462906	0.672426
	90°	0.238470	0.881	-0.246773	0.723713
60°	180°	-0.075650	1.000	-0.582683	0.431383
	90°	0.133710	0.999	-0.316658	0.584078
	180°	-0.180410	0.989	-0.654954	0.294134
90°	180°	-0.314120	0.131	-0.671460	0.043220
MD_115_30 cm					
0°	15°	.7494750'	0.000	0.394340	1.104610
	30°	.8203250'	0.000	0.468670	1.171980
	45°	.9353300'	0.000	0.555574	1.315086
	60°	1.1380600'	0.000	0.811021	1.465099
	90°	1.3804900'	0.000	1.065410	1.695570
	180°	1.4307400'	0.000	1.049167	1.812313
15°	30°	0.070850	1.000	-0.329649	0.471349
	45°	0.185855	0.960	-0.238118	0.609828
	60°	.3885850'	0.042	0.008009	0.769161
	90°	.6310150'	0.000	0.259870	1.002160
30°	180°	.6812650'	0.000	0.255750	1.106780
	45°	0.115005	1.000	-0.306310	0.536320
	60°	0.317735	0.174	-0.059709	0.695179
	90°	.5601650'	0.000	0.192274	0.928056
45°	180°	.6104150'	0.001	0.187544	1.033286
	60°	0.202730	0.879	-0.200213	0.605673
	90°	.4451600'	0.016	0.050850	0.839470
60°	180°	.4954100'	0.018	0.050797	0.940023
	90°	0.242430	0.422	-0.102599	0.587459
	180°	0.292680	0.373	-0.111926	0.697286
90°	180°	0.050250	1.000	-0.345778	0.446278
MD_130_30 cm					
0°	15°	.9541050'	0.000	0.647739	1.260471
	30°	1.0133800'	0.000	0.672898	1.353862
	45°	1.0988150'	0.000	0.769263	1.428367
	60°	1.2893750'	0.000	0.922532	1.656218
	90°	1.6255250'	0.000	1.335219	1.915831
	180°	1.5399300'	0.000	1.105374	1.974486
15°	30°	0.059275	1.000	-0.305257	0.423807
	45°	0.144710	0.979	-0.209995	0.499415
	60°	0.335270	0.148	-0.053266	0.723806
	90°	.6714200'	0.000	0.351250	0.991590
30°	180°	.5858250'	0.004	0.134141	1.037509
	45°	0.085435	1.000	-0.297283	0.468153
	60°	0.275995	0.505	-0.137239	0.689229
	90°	.6121450'	0.000	0.259794	0.964496
45°	180°	.5265500'	0.018	0.054874	0.998226
	60°	0.190560	0.927	-0.214584	0.595704
	90°	.5267100'	0.000	0.184721	0.868699
60°	180°	0.441115	0.076	-0.023957	0.906187
	90°	0.336150	0.120	-0.041358	0.713658
	180°	0.250555	0.862	-0.237777	0.738887
90°	180°	-0.085595	1.000	-0.528522	0.357332
MD_150_30 cm					
0°	15°	.8780250'	0.000	0.548949	1.207101
	30°	1.2751200'	0.000	0.867973	1.682267
	45°	1.2308400'	0.000	0.742790	1.718890
	60°	1.7930500'	0.000	1.429335	2.156765
	90°	1.8275050'	0.000	1.473480	2.181530
	180°	2.7244250'	0.000	2.425235	3.023615
15°	30°	0.397095	0.055	-0.004549	0.798739
	45°	0.352815	0.346	-0.131040	0.836670
	60°	.9150250'	0.000	0.557850	1.272200
	90°	.9494800'	0.000	0.602273	1.296687
30°	180°	1.8464000'	0.000	1.556064	2.136736
	45°	-0.044280	1.000	-0.576343	0.487783
	60°	.5179300'	0.008	0.089876	0.945984
	90°	.5523850'	0.003	0.131861	0.972909
45°	180°	1.4493050'	0.000	1.069230	1.829380
	60°	.5622100'	0.019	0.057987	1.066433
	90°	.5966650'	0.009	0.098311	1.095019
60°	180°	1.4935850'	0.000	1.025934	1.961236
	90°	0.034455	1.000	-0.344989	0.413899
	180°	.9313750'	0.000	0.600264	1.262486
90°	180°	.8969200'	0.000	0.577026	1.216814
MD_170_30 cm					
0°	15°	-0.265435	0.618	-0.691446	0.160576
	30°	-0.105490	1.000	-0.673085	0.462105
	45°	-0.034120	1.000	-0.512032	0.443792

	60°	.7809050'	0.000	0.285617	1.276193
	90°	1.0966400'	0.000	0.558892	1.634388
	180°	2.4892100'	0.000	2.106253	2.872167
15°	30°	0.159945	1.000	-0.406416	0.726306
	45°	0.231315	0.906	-0.245000	0.707630
	60°	1.0463400'	0.000	0.552565	1.540115
	90°	1.3620750'	0.000	0.825664	1.898486
	180°	2.7546450'	0.000	2.373921	3.135369
30°	45°	0.071370	1.000	-0.530306	0.673046
	60°	.8863950'	0.001	0.272290	1.500500
	90°	1.2021300'	0.000	0.556523	1.847737
	180°	2.5947000'	0.000	2.055393	3.134007
45°	60°	.8150250'	0.000	0.278620	1.351430
	90°	1.1307600'	0.000	0.556283	1.705237
	180°	2.5233300'	0.000	2.082695	2.963965
60°	90°	0.315735	0.819	-0.272041	0.903511
	180°	1.7083050'	0.000	1.248168	2.168442
90°	180°	1.3925700'	0.000	0.885615	1.899525

Tabela III.42 – Rezultati naknadnog testa (Dunett T3) statističke značajnosti razlika između svakog para grupa uzoraka za sve gramature, poprečno savijenih i fotografiranih sa udaljenosti od 30 cm - procenat belih piksela

Zavisna promenljiva (I)	Uglovi (J)	Srednja razlika (I-J)	Veličina značajnosti	95% Interval poverenja	
				Donja granica	Gornja granica
CD_90_30 cm					
0°	15°	.6287150'	0.003	0.157453	1.099977
	30°	.7988950'	0.000	0.391697	1.206093
	45°	1.1146400'	0.000	0.770052	1.459228
	60°	1.5177350'	0.000	1.096086	1.939384
	90°	1.7007500'	0.000	1.178465	2.223035
	180°	2.2719900'	0.000	2.061822	2.482158
15°	30°	0.170180	0.999	-0.401552	0.741912
	45°	0.485925	0.107	-0.050635	1.022485
	60°	.8890200'	0.000	0.308417	1.469623
	90°	1.0720350'	0.000	0.423103	1.720967
30°	180°	1.6432750'	0.000	1.161527	2.125023
	45°	0.315745	0.545	-0.169303	0.800793
	60°	.7188400'	0.002	0.183333	1.254347
	90°	.9018550'	0.001	0.290479	1.513231
45°	180°	1.4730950'	0.000	1.053212	1.892978
	60°	0.403095	0.213	-0.093251	0.899441
	90°	.5861100'	0.046	0.006308	1.165912
60°	180°	1.1573500'	0.000	0.796914	1.517786
	90°	0.183015	1.000	-0.436394	0.802424
90°	180°	.7542550'	0.000	0.320490	1.188020
90°	180°	.5712400'	0.028	0.039753	1.102727
CD_115_30 cm					
0°	15°	1.0220700'	0.000	0.642102	1.402038
	30°	1.1069100'	0.000	0.758446	1.455374
	45°	1.6501800'	0.000	1.321384	1.978976
	60°	1.8325700'	0.000	1.481349	2.183791
	90°	2.1496000'	0.000	1.779691	2.519509
	180°	2.7882350'	0.000	2.446929	3.129541
15°	30°	0.084840	1.000	-0.292847	0.462527
	45°	.6281100'	0.000	0.267703	0.988517
	60°	.8105000'	0.000	0.430368	1.190632
	90°	1.1275300'	0.000	0.730697	1.524363
30°	180°	1.7661650'	0.000	1.394800	2.137530
	45°	.5432700'	0.000	0.217316	0.869224
	60°	.7256600'	0.000	0.377010	1.074310
	90°	1.0426900'	0.000	0.675157	1.410223
45°	180°	1.6813250'	0.000	1.342704	2.019946
	60°	0.182390	0.782	-0.146610	0.511390
	90°	.4994200'	0.001	0.149937	0.848903
60°	180°	1.1380550'	0.000	0.820040	1.456070
	90°	0.317030	0.156	-0.053049	0.687109
90°	180°	.9556650'	0.000	0.614167	1.297163
90°	180°	.6386350'	0.000	0.277695	0.999575
CD_130_30 cm					
0°	15°	0.066970	1.000	-0.217862	0.351802
	30°	.3248200'	0.002	0.088054	0.561586
	45°	.5404500'	0.000	0.256232	0.824668
	60°	.8968000'	0.000	0.636153	1.157447
	90°	1.4642800'	0.000	1.142882	1.785678
	180°	3.2861350'	0.000	2.996412	3.575858
15°	30°	0.257850	0.090	-0.020065	0.535765
	45°	.4734800'	0.000	0.156670	0.790290
	60°	.8298300'	0.000	0.532715	1.126945
	90°	1.3973100'	0.000	1.048252	1.746368
30°	180°	3.2191650'	0.000	2.897665	3.540665
	45°	0.215630	0.265	-0.061648	0.492908
	60°	.5719800'	0.000	0.319273	0.824687
	90°	1.1394600'	0.000	0.823812	1.455108
90°	180°	2.9613150'	0.000	2.678330	3.244300

45°	60°	.3563500	0.008	0.059810	0.652890
	90°	.9238300	0.000	0.575223	1.272437
	180°	2.7456850	0.000	2.424696	3.066674
60°	90°	.5674800	0.000	0.235748	0.899212
	180°	2.3893350	0.000	2.087624	2.691046
90°	180°	1.8218550	0.000	1.469177	2.174533
CD_150_30 cm					
0°	15°	-.3872050	0.000	-0.630342	-0.144068
	30°	-0.272510	0.149	-0.591977	0.046957
	45°	0.070185	1.000	-0.301326	0.441696
	60°	0.449435	0.395	-0.204450	1.103320
	90°	1.0244400	0.000	0.711918	1.336962
	180°	3.7671700	0.000	3.548454	3.985886
15°	30°	0.114695	0.999	-0.245939	0.475329
	45°	.4573900	0.017	0.051882	0.862898
	60°	.8366400	0.007	0.166064	1.507216
	90°	1.4116450	0.000	1.056807	1.766483
30°	180°	4.1543750	0.000	3.871193	4.437557
	45°	0.342695	0.287	-0.103960	0.789350
	60°	.7219450	0.035	0.030502	1.413388
	90°	1.2969500	0.000	0.893133	1.700767
45°	180°	4.0396800	0.000	3.691912	4.387448
	60°	0.379250	0.803	-0.330456	1.088956
	90°	.9542550	0.000	0.511780	1.396730
	180°	3.6969850	0.000	3.302218	4.091752
60°	90°	0.575005	0.173	-0.114251	1.264261
	180°	3.3177350	0.000	2.652414	3.983056
90°	180°	2.7427300	0.000	2.401089	3.084371
CD_170_30 cm					
0°	15°	-0.194885	0.940	-0.624850	0.235080
	30°	.5483100	0.024	0.045052	1.051568
	45°	.8434550	0.001	0.259560	1.427350
	60°	.7754150	0.027	0.057268	1.493562
	90°	2.1658900	0.000	1.726687	2.605093
	180°	4.4013000	0.000	4.068339	4.734261
15°	30°	.7431950	0.003	0.179939	1.306451
	45°	1.0383400	0.000	0.405064	1.671616
	60°	.9703000	0.004	0.214643	1.725957
	90°	2.3607750	0.000	1.850242	2.871308
30°	180°	4.5961850	0.000	4.164524	5.027846
	45°	0.295145	0.961	-0.382179	0.972469
	60°	0.227105	1.000	-0.563011	1.017221
	90°	1.6175800	0.000	1.048120	2.187040
45°	180°	3.8529900	0.000	3.348385	4.357595
	60°	-0.068040	1.000	-0.902381	0.766301
	90°	1.3224350	0.000	0.683943	1.960927
	180°	3.5578450	0.000	2.972860	4.142830
60°	90°	1.3904750	0.000	0.630791	2.150159
	180°	3.6258850	0.000	2.906919	4.344851
90°	180°	2.2354100	0.000	1.794563	2.676257

Tabela III.43 – Rezultati naknadnog testa (Dunett T3) statističke značajnosti razlika između svakog para grupa uzoraka za sve gramature, paralelno savijenih i fotografisanih sa udaljenosti od 21 cm - procenat belih piksela

Zavisna promenljiva (I)	Uglovi (J)	Srednja razlika (H)	Veličina značajnosti	95% Interval poverenja	
				Donja granica	Gornja granica
MD_90_21 cm					
0°	15°	1.1688200	0.000	0.741264	1.596376
	30°	.9586000	0.000	0.517398	1.399802
	45°	1.1908750	0.000	0.840900	1.540850
	60°	1.6292650	0.000	1.291129	1.967401
	90°	1.9358900	0.000	1.675467	2.196313
	180°	1.2150350	0.000	0.823904	1.606166
15°	30°	-0.210220	0.981	-0.728537	0.308097
	45°	0.022055	1.000	-0.428969	0.473079
	60°	.4604450	0.036	0.017406	0.903484
	90°	.7670700	0.000	0.371290	1.162850
30°	180°	0.046215	1.000	-0.433999	0.526429
	45°	0.232275	0.879	-0.231388	0.695938
	60°	.6706650	0.001	0.214656	1.126674
	90°	.9772900	0.000	0.566346	1.388234
45°	180°	0.256435	0.848	-0.235316	0.748186
	60°	.4383900	0.010	0.067859	0.808921
	90°	.7450150	0.000	0.439299	1.050731
	180°	0.024160	1.000	-0.393527	0.441847
60°	90°	.3066250	0.032	0.015531	0.597719
	180°	-.4142300	0.045	-0.822932	-0.005528
90°	180°	-.7208550	0.000	-1.075328	-0.366382
MD_115_21 cm					
0°	15°	.7455550	0.002	0.195969	1.295141
	30°	.6475300	0.000	0.237320	1.057740
	45°	.7588400	0.001	0.255095	1.262585
	60°	1.0290900	0.000	0.498388	1.559792
	90°	1.5010200	0.000	1.081931	1.920109

	180°	1.0955450	0.000	0.736742	1.454348
15°	30°	-0.098025	1.000	-0.693717	0.497667
	45°	0.013285	1.000	-0.640938	0.667508
	60°	0.283535	0.972	-0.389266	0.956336
	90°	.7554650	0.005	0.154654	1.356276
	180°	0.349990	0.612	-0.218076	0.918056
30°	45°	0.111310	1.000	-0.444162	0.666782
	60°	0.381560	0.519	-0.197436	0.960556
	90°	.8534900	0.000	0.368867	1.338113
	180°	.4480150	0.041	0.010050	0.885980
45°	60°	0.270250	0.971	-0.369535	0.910035
	90°	.7421800	0.003	0.181031	1.303329
	180°	0.336705	0.554	-0.187900	0.861310
60°	90°	0.471930	0.218	-0.112404	1.056264
	180°	0.066455	1.000	-0.483647	0.616557
90°	180°	-0.405475	0.104	-0.851510	0.040560
MD 130 21 cm					
0°	15°	.6894600	0.004	0.158741	1.220179
	30°	0.488435	0.054	-0.005439	0.982309
	45°	.8304950	0.000	0.505387	1.155603
	60°	.9954850	0.000	0.540449	1.450521
	90°	1.1932700	0.000	0.789511	1.597029
	180°	1.1800600	0.000	0.925629	1.434491
15°	30°	-0.201025	0.999	-0.855079	0.453029
	45°	0.141035	1.000	-0.418916	0.700986
	60°	0.306025	0.906	-0.323256	0.935306
	90°	0.503810	0.173	-0.095443	1.103063
30°	180°	0.490600	0.091	-0.041658	1.022858
	45°	0.342060	0.531	-0.183982	0.868102
	60°	0.507050	0.172	-0.094090	1.108190
	90°	.7048350	0.006	0.136009	1.273661
45°	180°	.6916250	0.002	0.196053	1.187197
	60°	0.164990	0.997	-0.325914	0.655894
	90°	0.362775	0.209	-0.082977	0.808527
60°	180°	.3495650	0.029	0.021371	0.677759
	90°	0.197785	0.993	-0.340075	0.735645
90°	180°	0.184575	0.972	-0.272363	0.641513
	180°	-0.013210	1.000	-0.419222	0.392802
MD 150 21 cm					
0°	15°	0.404330	0.201	-0.087968	0.896628
	30°	.6210950	0.005	0.124278	1.117912
	45°	.9756850	0.000	0.481693	1.469677
	60°	1.5936900	0.000	1.114349	2.073031
	90°	1.8214150	0.000	1.396909	2.245921
	180°	2.5404750	0.000	2.116406	2.964544
15°	30°	0.216765	0.966	-0.286309	0.719839
	45°	.5713550	0.014	0.071053	1.071657
	60°	1.1893600	0.000	0.703421	1.675299
	90°	1.4170850	0.000	0.984687	1.849483
30°	180°	2.1361450	0.000	1.704173	2.568117
	45°	0.354590	0.423	-0.150124	0.859304
	60°	.9725950	0.000	0.482048	1.463142
	90°	1.2003200	0.000	0.762445	1.638195
45°	180°	1.9193800	0.000	1.481922	2.356838
	60°	.6180050	0.004	0.130338	1.105672
	90°	.8457300	0.000	0.411275	1.280185
	180°	1.5647900	0.000	1.130757	1.998823
60°	90°	0.227725	0.792	-0.188799	0.644249
	180°	.9467850	0.000	0.530711	1.362859
90°	180°	.7190600	0.000	0.373966	1.064154
MD 170 21 cm					
0°	15°	-0.509310	0.117	-1.081052	0.062432
	30°	-4.642900	0.049	-0.927636	-0.000944
	45°	-0.152800	0.999	-0.651677	0.346077
	60°	.5340850	0.012	0.075700	0.992470
	90°	.8148000	0.000	0.374167	1.255433
	180°	1.9386650	0.000	1.625324	2.252006
15°	30°	0.045020	1.000	-0.574206	0.664246
	45°	0.356510	0.781	-0.286343	0.999363
	60°	1.0433950	0.000	0.427363	1.659427
	90°	1.3241100	0.000	0.719281	1.928939
30°	180°	2.4479750	0.000	1.912587	2.983363
	45°	0.311490	0.769	-0.244305	0.867285
	60°	.9983750	0.000	0.476470	1.520280
	90°	1.2790900	0.000	0.771664	1.786516
45°	180°	2.4029550	0.000	1.990367	2.815543
	60°	.6868850	0.006	0.134851	1.238919
	90°	.9676000	0.000	0.428834	1.506366
60°	180°	2.0914650	0.000	1.637537	2.545393
	90°	0.280715	0.775	-0.222391	0.783821
	180°	1.4045800	0.000	0.997882	1.811278
90°	180°	1.1238650	0.000	0.738536	1.509194

Tabela III.44 – Rezultati naknadnog testa (Dunett T3) statističke značajnosti razlika između svakog para grupa uzoraka za sve gramature, poprečno savijenih i fotografisanih sa udaljenosti od 21 cm - procenat belih piksela

Zavisna promenljiva (I)	Uglovi (J)	Srednja razlika (I-J)	Veličina značajnosti	95% Interval poverenja	
				Donja granica	Gornja granica
CD_90_21 cm					
0°	15°	.7340350'	0.001	0.222186	1.245884
	30°	.8386350'	0.001	0.291155	1.386115
	45°	1.1227600'	0.000	0.768870	1.476650
	60°	1.4155100'	0.000	1.149543	1.681477
	90°	1.8454100'	0.000	1.481313	2.209507
15°	180°	2.2408850'	0.000	1.893908	2.587862
	30°	0.104600	1.000	-0.573178	0.782378
	45°	0.388725	0.418	-0.167282	0.944732
	60°	.6814750'	0.004	0.164347	1.198603
	90°	1.1113750'	0.000	0.550109	1.672641
30°	180°	1.5068500'	0.000	0.954320	2.059380
	45°	0.284125	0.899	-0.303796	0.872046
	60°	.5768750'	0.035	0.024575	1.129175
	90°	1.0067750'	0.000	0.414008	1.599542
	180°	1.4022500'	0.000	0.817529	1.986971
45°	60°	0.292750	0.216	-0.070008	0.655508
	90°	.7226500'	0.000	0.290542	1.154758
	180°	1.1181250'	0.000	0.699094	1.537156
60°	90°	.4299000'	0.013	0.057290	0.802510
	180°	.8253750'	0.000	0.469276	1.181474
90°	180°	0.395475	0.092	-0.031539	0.822489
CD_115_21 cm					
0°	15°	1.1902600'	0.000	0.842186	1.538334
	30°	1.2547950'	0.000	0.891725	1.617865
	45°	1.6762950'	0.000	1.341563	2.011027
	60°	1.9370650'	0.000	1.571585	2.302545
	90°	2.3210800'	0.000	2.069847	2.572313
15°	180°	2.9066350'	0.000	2.594846	3.218424
	30°	0.064535	1.000	-0.369835	0.498905
	45°	.4860350'	0.010	0.072853	0.899217
	60°	.7468050'	0.000	0.310587	1.183023
	90°	1.1308200'	0.000	0.773022	1.488618
30°	180°	1.7163750'	0.000	1.319549	2.113201
	45°	0.421500	0.054	-0.003417	0.846417
	60°	.6822700'	0.000	0.235210	1.129330
	90°	1.0662850'	0.000	0.694056	1.438514
	180°	1.6518400'	0.000	1.242570	2.061110
45°	60°	0.260770	0.648	-0.166057	0.687597
	90°	.6447850'	0.000	0.299774	0.989796
	180°	1.2303400'	0.000	0.844394	1.616286
60°	90°	.3840150'	0.041	0.009462	0.758568
	180°	.9695700'	0.000	0.558281	1.380859
90°	180°	.5855550'	0.000	0.262392	0.908718
CD_130_21 cm					
0°	15°	0.595995	0.132	-0.091973	1.283963
	30°	1.1190500'	0.000	0.578439	1.659661
	45°	1.1897600'	0.000	0.573541	1.805979
	60°	1.4230250'	0.000	0.577282	2.268768
	90°	2.2431600'	0.000	1.723888	2.762432
15°	180°	3.6311500'	0.000	3.336465	3.925835
	30°	0.523055	0.555	-0.286797	1.332907
	45°	0.593765	0.439	-0.260271	1.447801
	60°	0.827030	0.209	-0.187860	1.841920
	90°	1.6471650'	0.000	0.848803	2.445527
30°	180°	3.0351550'	0.000	2.327620	3.742690
	45°	0.070710	1.000	-0.683976	0.825396
	60°	0.303975	0.998	-0.636810	1.244760
	90°	1.1241100'	0.000	0.437841	1.810379
	180°	2.5121000'	0.000	1.944844	3.079356
45°	60°	0.233265	1.000	-0.743255	1.209785
	90°	1.0534000'	0.001	0.311517	1.795283
	180°	2.4413900'	0.000	1.802669	3.080111
60°	90°	0.820135	0.128	-0.111489	1.751759
	180°	2.2081250'	0.000	1.347208	3.069042
90°	180°	1.3879900'	0.000	0.840637	1.935343
CD_150_21 cm					
0°	15°	-0.017395	1.000	-0.306892	0.272102
	30°	-.5306950'	0.006	-0.953532	-0.107858
	45°	0.145295	0.992	-0.263413	0.554003
	60°	.7435150'	0.002	0.221749	1.265281
	90°	1.2062850'	0.000	0.842268	1.570302
15°	180°	4.1125550'	0.000	3.847176	4.377934
	30°	-.5133000'	0.017	-0.968182	-0.058418
	45°	0.162690	0.992	-0.279533	0.604913
	60°	.7609100'	0.002	0.214866	1.306954
	90°	1.2236800'	0.000	0.820654	1.626706
30°	180°	4.1299500'	0.000	3.806697	4.453203
	45°	.6759900'	0.004	0.149294	1.202686
	60°	1.2742100'	0.000	0.663318	1.885102

45°	90°	1.7369800°	0.000	1.239657	2.234303
	180°	4.6432500°	0.000	4.200096	5.086404
	60°	0.598220	0.053	-0.004636	1.201076
	90°	1.0609900°	0.000	0.574695	1.547285
	180°	3.9672600°	0.000	3.537281	4.397239
	90°	0.462770	0.229	-0.116406	1.041946
60°	180°	3.3690400°	0.000	2.831932	3.906148
	180°	2.9062700°	0.000	2.517378	3.295162
CD_170_21 cm					
0°	15°	-.4570500°	0.003	-0.794207	-0.119893
	30°	-0.066325	1.000	-0.527517	0.394867
	45°	.6022350°	0.001	0.197905	1.006565
	60°	1.2948700°	0.000	0.740233	1.849507
	90°	1.6421900°	0.000	1.169458	2.114922
	180°	4.1101750°	0.000	3.840578	4.379772
15°	30°	0.390725	0.317	-0.130932	0.912382
	45°	1.0592850°	0.000	0.583956	1.534614
	60°	1.7519200°	0.000	1.149293	2.354547
	90°	2.0992400°	0.000	1.567869	2.630611
30°	180°	4.5672250°	0.000	4.186679	4.947771
	45°	.6685600°	0.009	0.108601	1.228519
	60°	1.3611950°	0.000	0.696095	2.026295
	90°	1.7085150°	0.000	1.103561	2.313469
45°	180°	4.1765000°	0.000	3.686344	4.666656
	60°	.6926350°	0.023	0.058647	1.326623
	90°	1.0399550°	0.000	0.471243	1.608667
	180°	3.5079400°	0.000	3.069250	3.946630
60°	90°	0.347320	0.856	-0.324561	1.019201
	180°	2.8153050°	0.000	2.237832	3.392778
90°	180°	2.4679850°	0.000	1.967203	2.968767

Tabela III.45 – Rezultati naknadnog testa (Dunett's T3) statističke značajnosti razlika između svakog para grupa uzoraka za sve gramature, paralelno savijenih i fotografisanih sa udaljenosti od 12 cm - procenat belih piksela

Zavisna promenljiva (I)	Uglovi (J)	Srednja razlika (I-J)	Veličina značajnosti	95% Interval poverenja	
				Donja granica	Gornja granica
MD_90_12 cm					
0°	15°	.5173600°	0.007	0.103368	0.931352
	30°	0.237260	0.684	-0.174825	0.649345
	45°	0.351500	0.080	-0.022785	0.725785
	60°	.8735300°	0.000	0.554401	1.192659
	90°	1.0944850°	0.000	0.851121	1.337849
	180°	.7835650°	0.000	0.504594	1.062536
15°	30°	-0.280100	0.831	-0.806959	0.246759
	45°	-0.165860	0.998	-0.667342	0.335622
	60°	0.356170	0.296	-0.111873	0.824213
	90°	.5771250°	0.003	0.146734	1.007516
30°	180°	0.266205	0.669	-0.180592	0.713002
	45°	0.114240	1.000	-0.385807	0.614287
	60°	.6362700°	0.002	0.169820	1.102720
	90°	.8572250°	0.000	0.428638	1.285812
45°	180°	.5463050°	0.007	0.101216	0.991394
	60°	.5220300°	0.009	0.086495	0.957565
	90°	.7429850°	0.000	0.349907	1.136063
	180°	.4320650°	0.033	0.020359	0.843771
60°	90°	0.220955	0.552	-0.121499	0.563409
	180°	-0.089965	1.000	-0.454995	0.275065
90°	180°	-.3109200°	0.045	-0.617823	-0.004017
MD_115_12 cm					
0°	15°	0.390550	0.076	-0.022784	0.803884
	30°	0.327880	0.355	-0.130814	0.786574
	45°	.4828600°	0.002	0.132597	0.833123
	60°	.7681050°	0.000	0.348624	1.187586
	90°	1.0928500°	0.000	0.694309	1.491391
	180°	1.1426150°	0.000	0.792527	1.492703
15°	30°	-0.062670	1.000	-0.621643	0.496303
	45°	0.092310	1.000	-0.392236	0.576856
	60°	0.377555	0.402	-0.152881	0.907991
	90°	.7023000°	0.002	0.186399	1.218201
30°	180°	.7520650°	0.000	0.267627	1.236503
	45°	0.154980	0.999	-0.366390	0.676350
	60°	0.440225	0.262	-0.122696	1.003146
	90°	.7649700°	0.001	0.215300	1.314640
45°	180°	.8147350°	0.000	0.293461	1.336009
	60°	0.285245	0.715	-0.204185	0.774675
	90°	.6099900°	0.004	0.137047	1.082933
	180°	.6597550°	0.000	0.223122	1.096388
60°	90°	0.324745	0.616	-0.195605	0.845095
	180°	0.374510	0.290	-0.114815	0.863835
90°	180°	0.049765	1.000	-0.423066	0.522596
MD_130_12 cm					
0°	15°	.8364550°	0.000	0.464775	1.208135

	30°	.8078600	0.000	0.423477	1.192243
	45°	.9675200	0.000	0.600696	1.334344
	60°	1.2294850	0.000	0.834149	1.624821
	90°	1.5440300	0.000	1.161746	1.926314
	180°	1.4792800	0.000	1.078148	1.880412
15°	30°	-0.028595	1.000	-0.373038	0.315848
	45°	0.131065	0.981	-0.192420	0.454550
	60°	.3930300	0.021	0.035748	0.750312
	90°	.7075750	0.000	0.365612	1.049538
	180°	.6428250	0.000	0.278813	1.006837
30°	45°	0.159660	0.927	-0.179326	0.498646
	60°	.4216250	0.015	0.050896	0.792354
	90°	.7361700	0.000	0.379887	1.092453
	180°	.6714200	0.000	0.294318	1.048522
45°	60°	0.261965	0.331	-0.090159	0.614089
	90°	.5765100	0.000	0.240064	0.912956
	180°	.5117600	0.001	0.152761	0.870759
60°	90°	0.314545	0.160	-0.053967	0.683057
	180°	0.249795	0.567	-0.138570	0.638160
90°	180°	-0.064750	1.000	-0.439691	0.310191
MD 150 12 cm					
0°	15°	.9743100	0.000	0.592277	1.356343
	30°	1.0899800	0.000	0.657123	1.522837
	45°	1.4291750	0.000	1.086449	1.771901
	60°	1.7167550	0.000	1.357265	2.076245
	90°	1.9317300	0.000	1.539713	2.323747
	180°	2.3987100	0.000	2.050247	2.747173
15°	30°	0.115670	1.000	-0.278193	0.509533
	45°	.4548650	0.000	0.171216	0.738514
	60°	.7424450	0.000	0.437046	1.047844
	90°	.9574200	0.000	0.611684	1.303156
	180°	1.4244000	0.000	1.133226	1.715574
30°	45°	0.339195	0.073	-0.017326	0.695716
	60°	.6267750	0.000	0.254379	0.999171
	90°	.8417500	0.000	0.438337	1.245163
	180°	1.3087300	0.000	0.946784	1.670676
45°	60°	.2875800	0.011	0.041262	0.533898
	90°	.5025550	0.000	0.203606	0.801504
	180°	.9695350	0.000	0.743424	1.195646
60°	90°	0.214975	0.486	-0.104215	0.534165
	180°	.6819550	0.000	0.426416	0.937494
90°	180°	.4669800	0.000	0.161054	0.772906
MD 170 12 cm					
0°	15°	0.174425	0.928	-0.200743	0.549593
	30°	0.341285	0.063	-0.009528	0.692098
	45°	.4111750	0.008	0.068805	0.753545
	60°	.9487250	0.000	0.607458	1.289992
	90°	1.3047300	0.000	0.961099	1.648361
	180°	1.9454450	0.000	1.670108	2.220782
15°	30°	0.166860	0.981	-0.246777	0.580497
	45°	0.236750	0.720	-0.170340	0.643840
	60°	.7743000	0.000	0.368059	1.180541
	90°	1.1303050	0.000	0.722242	1.538368
	180°	1.7710200	0.000	1.412538	2.129502
30°	45°	0.069890	1.000	-0.315864	0.455644
	60°	.6074400	0.000	0.222607	0.992273
	90°	.9634450	0.000	0.576636	1.350254
	180°	1.6041600	0.000	1.271901	1.936419
45°	60°	.5375500	0.001	0.160034	0.915066
	90°	.8935550	0.000	0.514005	1.273105
	180°	1.5342700	0.000	1.211193	1.857347
60°	90°	0.356005	0.082	-0.022601	0.734611
	180°	.9967200	0.000	0.674846	1.318594
90°	180°	.6407150	0.000	0.316263	0.965167

Tabela III.46 – Rezultati naknadnog testa (Dunett's T3) statističke značajnosti razlika između svakog para grupa uzoraka za sve gramature, poprečno savijenih i fotografisanih sa udaljenosti od 12 cm - procenat belih piksela

Zavisna promenljiva (I)	Uglovi (J)	Srednja razlika (I-J)	Veličina značajnosti	95% Interval poverenja	
				Donja granica	Gornja granica
CD 90 12 cm					
0°	15°	0.047085	1.000	-0.273750	0.367920
	30°	0.163535	0.976	-0.242269	0.569339
	45°	0.337385	0.111	-0.037676	0.712446
	60°	.6007600	0.000	0.294671	0.906849
	90°	.6727200	0.000	0.401632	0.943808
	180°	1.7707950	0.000	1.425642	2.115948
15°	30°	0.116450	1.000	-0.318066	0.550966
	45°	0.290300	0.395	-0.116709	0.697309
	60°	.5536750	0.000	0.205808	0.901542
	90°	.6256350	0.000	0.305884	0.945386
	180°	1.7237100	0.000	1.342850	2.104570
30°	45°	0.173850	0.993	-0.297181	0.644881
	60°	.4372250	0.040	0.011879	0.862571
	90°	.5091850	0.006	0.104145	0.914225

	180°	1.6072600'	0.000	1.156884	2.057636
45°	60°	0.263375	0.509	-0.133492	0.660242
	90°	0.335335	0.113	-0.038868	0.709538
	180°	1.4334100'	0.000	1.008985	1.857835
60°	90°	0.071960	1.000	-0.232966	0.376886
	180°	1.1700350'	0.000	0.800421	1.539649
90°	180°	1.0980750'	0.000	0.753893	1.442257
CD_115_12 cm					
0°	15°	0.158870	0.970	-0.238167	0.554307
	30°	0.140675	0.916	-0.163407	0.444757
	45°	.3460400'	0.001	0.106902	0.585178
	60°	.9868200'	0.000	0.768549	1.205091
	90°	1.1679050'	0.000	0.936506	1.399304
15°	180°	1.9964300'	0.000	1.696693	2.296167
	30°	-0.017395	1.000	-0.469943	0.435153
	45°	0.187970	0.942	-0.232604	0.608544
	60°	.8287500'	0.000	0.416720	1.240780
	90°	1.0098350'	0.000	0.592531	1.427139
30°	180°	1.8383600'	0.000	1.388193	2.288527
	45°	0.205365	0.652	-0.133103	0.543833
	60°	.8461450'	0.000	0.519573	1.172717
	90°	1.0272300'	0.000	0.693289	1.361171
	180°	1.8557550'	0.000	1.477687	2.233823
45°	60°	.6407800'	0.000	0.370783	0.910777
	90°	.8218650'	0.000	0.542161	1.101569
	180°	1.6503900'	0.000	1.315625	1.985155
60°	90°	0.181085	0.459	-0.082501	0.444671
	180°	1.0096100'	0.000	0.686947	1.332273
90°	180°	.8285250'	0.000	0.498363	1.158687
CD_130_12 cm					
0°	15°	-.5972850'	0.003	-1.050642	-0.143928
	30°	-.4280650'	0.040	-0.845071	-0.011059
	45°	-0.283425	0.566	-0.735242	0.168392
	60°	-0.206100	0.910	-0.647719	0.235519
	90°	.4163200'	0.003	0.098782	0.733858
15°	180°	1.9447550'	0.000	1.644058	2.245452
	30°	0.169220	0.999	-0.375958	0.714398
	45°	0.313860	0.790	-0.255339	0.883059
	60°	0.391185	0.438	-0.170837	0.953207
	90°	1.0136050'	0.000	0.528417	1.498793
30°	180°	2.5420400'	0.000	2.065535	3.018545
	45°	0.144640	1.000	-0.399368	0.688648
	60°	0.221965	0.976	-0.314350	0.758280
	90°	.8443850'	0.000	0.391793	1.296977
	180°	2.3728200'	0.000	1.929880	2.815760
45°	60°	0.077325	1.000	-0.483580	0.638230
	90°	.6997450'	0.001	0.215951	1.183539
	180°	2.2281800'	0.000	1.753107	2.703253
60°	90°	.6224200'	0.003	0.147834	1.097006
	180°	2.1508550'	0.000	1.685247	2.616463
90°	180°	1.5284350'	0.000	1.173538	1.883332
CD_150_12 cm					
0°	15°	0.110785	1.000	-0.316704	0.538274
	30°	0.135245	0.988	-0.217900	0.488390
	45°	0.149365	0.996	-0.280606	0.579336
	60°	.5550800'	0.003	0.134817	0.975343
	90°	1.2498800'	0.000	0.852402	1.647358
15°	180°	3.3883350'	0.000	2.996078	3.780592
	30°	0.024460	1.000	-0.360283	0.409203
	45°	0.038580	1.000	-0.415473	0.492633
	60°	0.444295	0.051	-0.000836	0.889426
	90°	1.1390950'	0.000	0.714737	1.563453
30°	180°	3.2775500'	0.000	2.857915	3.697185
	45°	0.014120	1.000	-0.373525	0.401765
	60°	.4198350'	0.019	0.043589	0.796081
	90°	1.1146350'	0.000	0.765679	1.463591
	180°	3.2530900'	0.000	2.910510	3.595670
45°	60°	0.405715	0.107	-0.041752	0.853182
	90°	1.1005150'	0.000	0.673648	1.527382
	180°	3.2389700'	0.000	2.816784	3.661156
60°	90°	.6948000'	0.000	0.277750	1.111850
	180°	2.8332550'	0.000	2.421056	3.245454
90°	180°	2.1384550'	0.000	1.749767	2.527143
CD_170_12 cm					
0°	15°	.4670900'	0.011	0.070294	0.863886
	30°	.4814700'	0.040	0.013456	0.949484
	45°	.9499900'	0.000	0.393575	1.506405
	60°	1.3598550'	0.000	0.872823	1.846887
	90°	2.2560900'	0.000	1.899757	2.612423
15°	180°	3.7963850'	0.000	3.479624	4.113146
	30°	0.014380	1.000	-0.513566	0.542326
	45°	0.482900	0.229	-0.121388	1.087188
	60°	.8927650'	0.000	0.348789	1.436741
	90°	1.7890000'	0.000	1.348981	2.229019
	180°	3.3292950'	0.000	2.917020	3.741570

30°	45°	0.468520	0.368	-0.176799	1.113839
	60°	.8783850	0.001	0.287026	1.469744
	90°	1.7746200	0.000	1.271930	2.277310
	180°	3.3149150	0.000	2.834650	3.795180
45°	60°	0.409865	0.615	-0.247406	1.067136
	90°	1.3061000	0.000	0.722247	1.889953
	180°	2.8463950	0.000	2.280358	3.412432
60°	90°	.8962350	0.000	0.376343	1.416127
	180°	2.4365300	0.000	1.937915	2.935145
90°	180°	1.5402950	0.000	1.165938	1.914652

Odnos obima i površine oštećenja

Tabela III.47 - Test homogenosti varijanse podgrupa s obzirom na udaljenost fotografisanja - paralelno (MD) i poprečno (CD) savijeni uzorci – odnos obima i površine

Uzorci	Leveneova statistika	df1	df2	Veličina značajnosti	Uzorci	Leveneova statistika	df1	df2	Veličina značajnosti
MD_90_0	.419	2	57	.660*	CD_90_0	3.716	2	57	.030
MD_115_0	4.009	2	57	.023	CD_115_0	4.834	2	57	.012
MD_130_0	2.057	2	57	.137*	CD_130_0	.212	2	57	.810*
MD_150_0	5.654	2	57	.006	CD_150_0	1.633	2	57	.204*
MD_170_0	3.678	2	57	.031	CD_170_0	3.616	2	57	.033
MD_90_15	1.772	2	57	.179*	CD_90_15	3.153	2	57	.050
MD_115_15	.640	2	57	.531*	CD_115_15	1.348	2	57	.268*
MD_130_15	.239	2	57	.788*	CD_130_15	1.790	2	57	.176*
MD_150_15	1.360	2	57	.265*	CD_150_15	1.782	2	57	.178*
MD_170_15	3.096	2	57	.053*	CD_170_15	1.989	2	57	.146*
MD_90_30	.937	2	57	.398*	CD_90_30	5.802	2	57	.005
MD_115_30	3.027	2	57	.056*	CD_115_30	2.286	2	57	.111*
MD_130_30	.804	2	57	.453*	CD_130_30	1.535	2	57	.224*
MD_150_30	.315	2	57	.731*	CD_150_30	5.131	2	57	.009
MD_170_30	1.990	2	57	.146*	CD_170_30	5.195	2	57	.008
MD_90_45	1.032	2	57	.363*	CD_90_45	.649	2	57	.527*
MD_115_45	.961	2	57	.388*	CD_115_45	1.965	2	57	.150*
MD_130_45	2.363	2	57	.103*	CD_130_45	.458	2	57	.635*
MD_150_45	.780	2	57	.463*	CD_150_45	13.552	2	57	.000
MD_170_45	1.434	2	57	.247*	CD_170_45	8.311	2	57	.001
MD_90_60	.690	2	57	.506*	CD_90_60	.444	2	57	.643*
MD_115_60	.056	2	57	.946*	CD_115_60	2.572	2	57	.085*
MD_130_60	.094	2	57	.910*	CD_130_60	.356	2	57	.702*
MD_150_60	.647	2	57	.527*	CD_150_60	4.455	2	57	.016
MD_170_60	2.029	2	57	.141*	CD_170_60	5.337	2	57	.008
MD_90_90	.211	2	57	.810*	CD_90_90	3.356	2	57	.042
MD_115_90	2.501	2	57	.091*	CD_115_90	3.299	2	57	.044*
MD_130_90	1.526	2	57	.226*	CD_130_90	.308	2	57	.736*
MD_150_90	.053	2	57	.949*	CD_150_90	1.595	2	57	.212*
MD_170_90	2.221	2	57	.118*	CD_170_90	.508	2	57	.604*
MD_90_180	.105	2	57	.901*	CD_90_180	8.330	2	57	.001
MD_115_180	.807	2	57	.451*	CD_115_180	1.443	2	57	.245*
MD_130_180	1.646	2	57	.202*	CD_130_180	2.774	2	57	.071*
MD_150_180	2.066	2	57	.136*	CD_150_180	1.346	2	57	.268*
MD_170_180	3.906	2	57	.026	CD_170_180	1.977	2	57	.148*

*Potvrđena homogenost varijanse grupe

Tabela III.48 – ANOVA - podgrupe po udaljenosti fotografisanja - paralelno (MD) i poprečno (CD) savijeni uzorci – procenat belih piksela

Uzorci	Suma kvadrata			Stepen slobode			F vrednost	Veličina značajnosti	Eta kvadrat
	Između grupa	Unutar grupa	Ukupno	Između grupa	Unutar grupa	Ukupno			
MD_90_0	.829	.041	0.871	6	133	139	574.550	0.000*	0.95274
MD_115_0	.190	.061	0.250	6	133	139	89.318	0.000*	0.75810
MD_130_0	.318	.095	0.413	6	133	139	95.491	0.000*	0.77014
MD_150_0	.367	.021	0.388	6	133	139	497.188	0.000*	0.94579
MD_170_0	.236	.036	0.272	6	133	139	185.156	0.000*	0.86661
MD_90_15	.732	.351	1.083	6	133	139	59.528	0.000*	0.67624
MD_115_15	.810	.264	1.074	6	133	139	87.435	0.000*	0.75417
MD_130_15	.907	.215	1.122	6	133	139	120.374	0.000*	0.80856
MD_150_15	.603	.139	0.741	6	133	139	123.939	0.000*	0.81304
MD_170_15	.162	.108	0.270	6	133	139	42.798	0.000*	0.60027
MD_90_30	.579	.350	0.929	6	133	139	47.163	0.000*	0.62333
MD_115_30	1.337	.239	1.575	6	133	139	159.617	0.000*	0.84850
MD_130_30	.919	.272	1.191	6	133	139	96.227	0.000*	0.77150
MD_150_30	.855	.176	1.031	6	133	139	138.357	0.000*	0.82920
MD_170_30	.258	.075	0.333	6	133	139	98.140	0.000*	0.77495
MD_90_45	.808	.347	1.155	6	133	139	66.286	0.000*	0.69932
MD_115_45	1.312	.409	1.721	6	133	139	91.319	0.000*	0.76214
MD_130_45	.960	.219	1.178	6	133	139	124.930	0.000*	0.81425
MD_150_45	.291	.121	0.412	6	133	139	68.804	0.000*	0.70710
MD_170_45	.139	.101	0.240	6	133	139	39.222	0.000*	0.57916
MD_90_60	.707	.369	1.076	6	133	139	54.646	0.000*	0.65723
MD_115_60	.874	.318	1.192	6	133	139	78.256	0.000*	0.73304

MD_130_60	.837	.251	1.088	6	133	139	95.035	0.000*	0.76930
MD_150_60	.544	.144	0.687	6	133	139	107.718	0.000*	0.79078
MD_170_60	.159	.088	0.247	6	133	139	51.733	0.000*	0.64478
MD_90_90	.515	.320	0.835	6	133	139	45.868	0.000*	0.61677
MD_115_90	.782	.381	1.164	6	133	139	58.495	0.000*	0.67239
MD_130_90	1.166	.322	1.488	6	133	139	103.236	0.000*	0.78366
MD_150_90	.575	.150	0.724	6	133	139	109.377	0.000*	0.79329
MD_170_90	.192	.188	0.380	6	133	139	29.118	0.000*	0.50536
MD_90_180	.439	.400	0.839	6	133	139	31.278	0.000*	0.52323
MD_115_180	.402	.528	0.930	6	133	139	21.667	0.000*	0.43190
MD_130_180	.663	.349	1.012	6	133	139	54.118	0.000*	0.65504
MD_150_180	.832	.357	1.189	6	133	139	66.459	0.000*	0.69987
MD_170_180	.461	.224	0.685	6	133	139	58.818	0.000*	0.67361
CD_90_0	.402	.036	0.439	6	133	139	316.557	0.000*	0.91740
CD_115_0	.169	.022	0.192	6	133	139	218.269	0.000*	0.88451
CD_130_0	.378	.009	0.387	6	133	139	1200.769	0.000*	0.97682
CD_150_0	.229	.006	0.235	6	133	139	1120.492	0.000*	0.97520
CD_170_0	.149	.012	0.161	6	133	139	345.563	0.000*	0.92381
CD_90_15	.427	.353	0.780	6	133	139	34.522	0.000*	0.54778
CD_115_15	.686	.090	0.776	6	133	139	217.306	0.000*	0.88405
CD_130_15	.443	.134	0.577	6	133	139	93.924	0.000*	0.76720
CD_150_15	.155	.040	0.194	6	133	139	111.423	0.000*	0.79632
CD_170_15	.113	.021	0.134	6	133	139	151.202	0.000*	0.84140
CD_90_30	.335	.291	0.626	6	133	139	32.754	0.000*	0.53473
CD_115_30	.669	.111	0.780	6	133	139	171.459	0.000*	0.85747
CD_130_30	.411	.058	0.469	6	133	139	203.764	0.000*	0.87729
CD_150_30	.237	.047	0.284	6	133	139	143.043	0.000*	0.83386
CD_170_30	.251	.058	0.308	6	133	139	123.411	0.000*	0.81239
CD_90_45	.509	.188	0.697	6	133	139	77.319	0.000*	0.73067
CD_115_45	.900	.140	1.041	6	133	139	182.679	0.000*	0.86504
CD_130_45	.485	.109	0.594	6	133	139	126.267	0.000*	0.81585
CD_150_45	.307	.064	0.371	6	133	139	136.939	0.000*	0.82773
CD_170_45	.152	.094	0.245	6	133	139	46.114	0.000*	0.61804
CD_90_60	.447	.275	0.722	6	133	139	46.406	0.000*	0.61952
CD_115_60	.644	.228	0.872	6	133	139	80.499	0.000*	0.73853
CD_130_60	.766	.158	0.924	6	133	139	138.137	0.000*	0.82897
CD_150_60	.311	.145	0.456	6	133	139	61.060	0.000*	0.68178
CD_170_60	.104	.146	0.250	6	133	139	20.238	0.000*	0.41524
CD_90_90	.628	.298	0.927	6	133	139	60.079	0.000*	0.67825
CD_115_90	.830	.229	1.060	6	133	139	103.232	0.000*	0.78365
CD_130_90	.806	.145	0.951	6	133	139	158.321	0.000*	0.84745
CD_150_90	.421	.094	0.515	6	133	139	127.546	0.000*	0.81736
CD_170_90	.199	.120	0.319	6	133	139	47.286	0.000*	0.62394
CD_90_180	.434	.748	1.182	6	133	139	16.552	0.000*	0.36740
CD_115_180	.623	.440	1.063	6	133	139	40.341	0.000*	0.58600
CD_130_180	.728	.296	1.024	6	133	139	70.126	0.000*	0.71103
CD_150_180	.368	.465	0.832	6	133	139	22.545	0.000*	0.44167
CD_170_180	.674	.163	0.837	6	133	139	117.508	0.000*	0.80481

*Potvrđena statistička značajna razlika pri $p < 0.05$

Tabela III.49 – Brown-Forsythe test - podgrupe po udaljenosti fotografisanja - paralelno (MD) i poprečno (CD) savijeni uzorci – odnos obima i površine

Brown-Forsythe									
Uzorci	Statistika ^a	df1	df2	Veličina značajnosti	Uzorci	Statistika ^a	df1	df2	Veličina značajnosti
MD_90_0	574.550	2	56.099	.000	CD_90_0	316.557	2	39.642	.000
MD_115_0	89.318	2	47.578	.000	CD_115_0	218.269	2	48.495	.000
MD_130_0	95.491	2	52.087	.000	CD_130_0	1200.769	2	55.912	.000
MD_150_0	497.188	2	46.217	.000	CD_150_0	1120.492	2	44.581	.000
MD_170_0	185.156	2	49.191	.000	CD_170_0	345.563	2	48.997	.000
MD_90_15	59.528	2	53.074	.000	CD_90_15	34.522	2	51.675	.000
MD_115_15	87.435	2	55.679	.000	CD_115_15	217.306	2	50.714	.000
MD_130_15	120.374	2	54.855	.000	CD_130_15	93.924	2	52.197	.000
MD_150_15	123.939	2	50.744	.000	CD_150_15	111.423	2	46.690	.000
MD_170_15	42.798	2	49.646	.000	CD_170_15	151.202	2	49.428	.000
MD_90_30	47.163	2	54.660	.000	CD_90_30	32.754	2	47.837	.000
MD_115_30	159.617	2	45.598	.000	CD_115_30	171.459	2	47.477	.000
MD_130_30	96.227	2	51.207	.000	CD_130_30	203.764	2	52.441	.000
MD_150_30	138.357	2	55.317	.000	CD_150_30	143.043	2	43.450	.000
MD_170_30	98.140	2	52.392	.000	CD_170_30	123.411	2	41.326	.000
MD_90_45	66.286	2	46.029	.000	CD_90_45	77.319	2	53.973	.000
MD_115_45	91.319	2	55.147	.000	CD_115_45	182.679	2	50.973	.000
MD_130_45	124.930	2	53.123	.000	CD_130_45	126.267	2	55.097	.000
MD_150_45	68.804	2	48.121	.000	CD_150_45	136.939	2	31.419	.000
MD_170_45	39.222	2	55.240	.000	CD_170_45	46.114	2	42.298	.000
MD_90_60	54.646	2	54.506	.000	CD_90_60	46.406	2	54.626	.000
MD_115_60	78.256	2	56.715	.000	CD_115_60	80.499	2	50.582	.000
MD_130_60	95.035	2	56.547	.000	CD_130_60	138.137	2	56.307	.000
MD_150_60	107.718	2	54.990	.000	CD_150_60	61.060	2	41.962	.000
MD_170_60	51.733	2	50.137	.000	CD_170_60	20.238	2	45.901	.000
MD_90_90	45.868	2	56.209	.000	CD_90_90	60.079	2	49.140	.000
MD_115_90	58.495	2	48.609	.000	CD_115_90	103.232	2	45.623	.000
MD_130_90	103.236	2	53.578	.000	CD_130_90	158.321	2	54.502	.000

MD_150_90	109.377	2	55.944	.000	CD_150_90	127.546	2	48.901	.000
MD_170_90	29.118	2	46.841	.000	CD_170_90	47.286	2	55.706	.000
MD_90_180	31.278	2	56.416	.000	CD_90_180	16.552	2	45.970	.000
MD_115_180	21.667	2	54.950	.000	CD_115_180	40.341	2	53.595	.000
MD_130_180	54.118	2	54.006	.000	CD_130_180	70.126	2	47.504	.000
MD_150_180	66.459	2	50.433	.000	CD_150_180	22.545	2	53.287	.000
MD_170_180	58.818	2	49.861	.000	CD_170_180	117.508	2	51.472	.000

*Potvrđena statistička značajna razlika pri $p < 0.05$

Tabela III.50 - Rezultati naknadnog testa (Dunett T3) statističke značajnosti razlika između svakog para grupa uzoraka za sve gramature, paralelno savijenih i fotografisanih sa različitim unutrašnjim uglovima postavljanja – odnos obima i površine

Zavisna promenljiva (I)	Uglovi (J)	Srednja razlika (I-J)	Veličina značajnosti	95% Interval poverenja	
				Donja granica	Gornja granica
MD_90_0					
30 cm	21 cm	.2495200'	0.000	0.228041	0.270999
	12 cm	.2493200'	0.000	0.227492	0.271148
21 cm	12 cm	-0.000200	1.000	-0.020436	0.020036
MD_115_0					
30 cm	21 cm	.0505050'	0.000	0.029034	0.071976
	12 cm	.1362100'	0.000	0.109218	0.163202
21 cm	12 cm	.0857050'	0.000	0.057178	0.114232
MD_130_0					
30 cm	21 cm	.0969600'	0.000	0.063570	0.130350
	12 cm	.1780600'	0.000	0.143548	0.212572
21 cm	12 cm	.0811000'	0.000	0.052543	0.109657
MD_150_0					
30 cm	21 cm	.1527200'	0.000	0.136647	0.168793
	12 cm	.1764450'	0.000	0.159547	0.193343
21 cm	12 cm	.0237250'	0.000	0.011339	0.036111
MD_170_0					
30 cm	21 cm	.0238750'	0.035	0.001352	0.046398
	12 cm	.1433500'	0.000	0.124923	0.161777
21 cm	12 cm	.1194750'	0.000	0.100613	0.138337
MD_90_15					
30 cm	21 cm	.0719450'	0.032	0.004946	0.138944
	12 cm	.2619150'	0.000	0.200155	0.323675
21 cm	12 cm	.1899700'	0.000	0.133180	0.246760
MD_115_15					
30 cm	21 cm	.1898700'	0.000	0.133367	0.246373
	12 cm	.2785600'	0.000	0.226395	0.330725
21 cm	12 cm	.0886900'	0.000	0.036363	0.141017
MD_130_15					
30 cm	21 cm	.2449100'	0.000	0.199959	0.289861
	12 cm	.2742450'	0.000	0.223627	0.324863
21 cm	12 cm	0.029335	0.376	-0.020254	0.078924
MD_150_15					
30 cm	21 cm	.2285350'	0.000	0.191083	0.265987
	12 cm	.1919600'	0.000	0.148576	0.235344
21 cm	12 cm	-.0365750'	0.045	-0.072505	-0.000645
MD_170_15					
30 cm	21 cm	.1061950'	0.000	0.072722	0.139668
	12 cm	.1140800'	0.000	0.075483	0.152677
21 cm	12 cm	0.007885	0.891	-0.023184	0.038954
MD_90_30					
30 cm	21 cm	.1575100'	0.000	0.093150	0.221870
	12 cm	.2363350'	0.000	0.172482	0.300188
21 cm	12 cm	.0788250'	0.004	0.021733	0.135917
MD_115_30					
30 cm	21 cm	.2816200'	0.000	0.225382	0.337858
	12 cm	.3427250'	0.000	0.287314	0.398136
21 cm	12 cm	.0611050'	0.002	0.020060	0.102150
MD_130_30					
30 cm	21 cm	.2515750'	0.000	0.200674	0.302476
	12 cm	.2722400'	0.000	0.211658	0.332822
21 cm	12 cm	0.020665	0.687	-0.031457	0.072787
MD_150_30					
30 cm	21 cm	.2630550'	0.000	0.219033	0.307077
	12 cm	.2421950'	0.000	0.196115	0.288275
21 cm	12 cm	-0.020860	0.512	-0.062251	0.020531
MD_170_30					
30 cm	21 cm	.1434250'	0.000	0.116467	0.170383
	12 cm	.1341850'	0.000	0.102771	0.165599
21 cm	12 cm	-0.009240	0.782	-0.036639	0.018159
MD_90_45					
30 cm	21 cm	.1698150'	0.000	0.100799	0.238831
	12 cm	.2823050'	0.000	0.217307	0.347303
21 cm	12 cm	.1124900'	0.000	0.062110	0.162870
MD_115_45					
30 cm	21 cm	.2894200'	0.000	0.225057	0.353783
	12 cm	.3332600'	0.000	0.262269	0.404251
21 cm	12 cm	0.043840	0.269	-0.021275	0.108955
MD_130_45					
30 cm	21 cm	.2626200'	0.000	0.213784	0.311456
	12 cm	.2735750'	0.000	0.220682	0.326468

21 cm	12 cm	0.010955	0.903	-0.033914	0.055824
MD_150_45					
30 cm	21 cm	.1556500'	0.000	0.116622	0.194678
	12 cm	.1383450'	0.000	0.099009	0.177681
21 cm	12 cm	-0.017305	0.406	-0.047567	0.012957
MD_170_45					
30 cm	21 cm	.1003250'	0.000	0.065367	0.135283
	12 cm	.1039750'	0.000	0.070597	0.137353
21 cm	12 cm	0.003650	0.988	-0.027670	0.034970
MD_90_60					
30 cm	21 cm	.1445350'	0.000	0.079363	0.209707
	12 cm	.2655650'	0.000	0.199032	0.332098
21 cm	12 cm	.1210300'	0.000	0.062520	0.179540
MD_115_60					
30 cm	21 cm	.2095150'	0.000	0.149281	0.269749
	12 cm	.2853550'	0.000	0.227663	0.343047
21 cm	12 cm	.0758400'	0.008	0.017041	0.134639
MD_130_60					
30 cm	21 cm	.2551400'	0.000	0.202827	0.307453
	12 cm	.2458100'	0.000	0.192041	0.299579
21 cm	12 cm	-0.009330	0.956	-0.060234	0.041574
MD_150_60					
30 cm	21 cm	.2199100'	0.000	0.180534	0.259286
	12 cm	.1770550'	0.000	0.135050	0.219060
21 cm	12 cm	-.0428550'	0.021	-0.080296	-0.005414
MD_170_60					
30 cm	21 cm	.1201350'	0.000	0.087470	0.152800
	12 cm	.0932950'	0.000	0.059907	0.126683
21 cm	12 cm	-.0268400'	0.047	-0.053440	-0.000240
MD_90_90					
30 cm	21 cm	.0648150'	0.031	0.004822	0.124808
	12 cm	.2207750'	0.000	0.164196	0.277354
21 cm	12 cm	.1559600'	0.000	0.095308	0.216612
MD_115_90					
30 cm	21 cm	.2231900'	0.000	0.154336	0.292044
	12 cm	.2575950'	0.000	0.187510	0.327680
21 cm	12 cm	0.034405	0.318	-0.019826	0.088636
MD_130_90					
30 cm	21 cm	.3050600'	0.000	0.245851	0.364269
	12 cm	.2853150'	0.000	0.221494	0.349136
21 cm	12 cm	-0.019745	0.748	-0.074458	0.034968
MD_150_90					
30 cm	21 cm	.2213550'	0.000	0.180401	0.262309
	12 cm	.1903900'	0.000	0.148591	0.232189
21 cm	12 cm	-0.030965	0.146	-0.069436	0.007506
MD_170_90					
30 cm	21 cm	.1367250'	0.000	0.091572	0.181878
	12 cm	.0879950'	0.000	0.036279	0.139711
21 cm	12 cm	-.0487300'	0.011	-0.087878	-0.009582
MD_90_180					
30 cm	21 cm	.0898250'	0.004	0.025230	0.154420
	12 cm	.2088950'	0.000	0.140525	0.277265
21 cm	12 cm	.1190700'	0.000	0.053848	0.184292
MD_115_180					
30 cm	21 cm	0.056275	0.217	-0.021642	0.134192
	12 cm	.1947000'	0.000	0.124114	0.265286
21 cm	12 cm	.1384250'	0.000	0.059270	0.217580
MD_130_180					
30 cm	21 cm	.0965350'	0.002	0.032218	0.160852
	12 cm	.2549650'	0.000	0.190562	0.319368
21 cm	12 cm	.1584300'	0.000	0.102104	0.214756
MD_150_180					
30 cm	21 cm	.0908600'	0.005	0.023578	0.158142
	12 cm	.2825450'	0.000	0.228625	0.336465
21 cm	12 cm	.1916850'	0.000	0.125885	0.257485
MD_170_180					
30 cm	21 cm	.1785400'	0.000	0.128199	0.228881
	12 cm	.1927350'	0.000	0.138071	0.247399
21 cm	12 cm	0.014195	0.796	-0.028942	0.057332

Tabela III.51 - Rezultati naknadnog testa (Dunett T3) statističke značajnosti razlika između svakog para grupa uzoraka za sve gramature, poprečno savijenih i fotografisanih sa različitim unutrašnjim uglovima postavljanja – odnos obima i površine

Zavisna promenljiva (I)	Uglovi (J)	Srednja razlika (I-J)	Veličina značajnosti	95% Interval poverenja	
				Donja granica	Gornja granica
CD_90_0					
30 cm	21 cm	.1991200'	0.000	0.177249	0.220991
	12 cm	.1206800'	0.000	0.097825	0.143535
21 cm	12 cm	-.0784400'	0.000	-0.093055	-0.063825
CD_115_0					
30 cm	21 cm	.0566600'	0.000	0.040738	0.072582
	12 cm	.1298000'	0.000	0.116479	0.143121
21 cm	12 cm	.0731400'	0.000	0.055797	0.090483

CD_130_0						
30 cm	21 cm	.1917250'	0.000	0.182187	0.201263	
	12 cm	.1241200'	0.000	0.113769	0.134471	
21 cm	12 cm	-.0676050'	0.000	-0.077400	-0.057810	
CD_150_0						
30 cm	21 cm	.1349650'	0.000	0.128612	0.141318	
	12 cm	.1267900'	0.000	0.118233	0.135347	
21 cm	12 cm	-0.008175	0.082	-0.017124	0.000774	
CD_170_0						
30 cm	21 cm	.0353000'	0.000	0.025106	0.045494	
	12 cm	.1188000'	0.000	0.105798	0.131802	
21 cm	12 cm	.0835000'	0.000	0.071954	0.095046	
CD_90_15						
30 cm	21 cm	.0744700'	0.029	0.006130	0.142810	
	12 cm	.2042050'	0.000	0.147616	0.260794	
21 cm	12 cm	.1297350'	0.000	0.068519	0.190951	
CD_115_15						
30 cm	21 cm	.1525700'	0.000	0.117596	0.187544	
	12 cm	.2607250'	0.000	0.230566	0.290884	
21 cm	12 cm	.1081550'	0.000	0.079187	0.137123	
CD_130_15						
30 cm	21 cm	.1643400'	0.000	0.126605	0.202075	
	12 cm	.1959450'	0.000	0.160792	0.231098	
21 cm	12 cm	0.031605	0.188	-0.010381	0.073591	
CD_150_15						
30 cm	21 cm	.0814250'	0.000	0.059604	0.103246	
	12 cm	.1220750'	0.000	0.098849	0.145301	
21 cm	12 cm	.0406500'	0.000	0.023474	0.057826	
CD_170_15						
30 cm	21 cm	.0788400'	0.000	0.062853	0.094827	
	12 cm	.1010550'	0.000	0.084412	0.117698	
21 cm	12 cm	.0222150'	0.000	0.009201	0.035229	
CD_90_30						
30 cm	21 cm	.0672700'	0.032	0.004764	0.129776	
	12 cm	.1809850'	0.000	0.133701	0.228269	
21 cm	12 cm	.1137150'	0.000	0.054591	0.172839	
CD_115_30						
30 cm	21 cm	.1420000'	0.000	0.102414	0.181586	
	12 cm	.2582550'	0.000	0.223499	0.293011	
21 cm	12 cm	.1162550'	0.000	0.085996	0.146514	
CD_130_30						
30 cm	21 cm	.1626250'	0.000	0.139138	0.186112	
	12 cm	.1862550'	0.000	0.162061	0.210449	
21 cm	12 cm	0.023630	0.110	-0.003881	0.051141	
CD_150_30						
30 cm	21 cm	.1146200'	0.000	0.089736	0.139504	
	12 cm	.1462500'	0.000	0.120965	0.171535	
21 cm	12 cm	.0316300'	0.000	0.013968	0.049292	
CD_170_30						
30 cm	21 cm	.1170450'	0.000	0.089872	0.144218	
	12 cm	.1508000'	0.000	0.121983	0.179617	
21 cm	12 cm	.0337550'	0.000	0.014636	0.052874	
CD_90_45						
30 cm	21 cm	.1129000'	0.000	0.069445	0.156355	
	12 cm	.2256800'	0.000	0.176794	0.274566	
21 cm	12 cm	.1127800'	0.000	0.069333	0.156227	
CD_115_45						
30 cm	21 cm	.1746450'	0.000	0.131053	0.218237	
	12 cm	.2986450'	0.000	0.262374	0.334916	
21 cm	12 cm	.1240000'	0.000	0.086319	0.161681	
CD_130_45						
30 cm	21 cm	.1807200'	0.000	0.147997	0.213443	
	12 cm	.1993200'	0.000	0.164983	0.233657	
21 cm	12 cm	0.018600	0.505	-0.017989	0.055189	
CD_150_45						
30 cm	21 cm	.1301250'	0.000	0.099082	0.161168	
	12 cm	.1666650'	0.000	0.135664	0.197666	
21 cm	12 cm	.0365400'	0.000	0.020661	0.052419	
CD_170_45						
30 cm	21 cm	.0832650'	0.000	0.048428	0.118102	
	12 cm	.1201850'	0.000	0.083998	0.156372	
21 cm	12 cm	.0369200'	0.002	0.012382	0.061458	
CD_90_60						
30 cm	21 cm	.1068300'	0.000	0.052722	0.160938	
	12 cm	.2114750'	0.000	0.153046	0.269904	
21 cm	12 cm	.1046450'	0.000	0.052972	0.156318	
CD_115_60						
30 cm	21 cm	.1334050'	0.000	0.078184	0.188626	
	12 cm	.2536650'	0.000	0.203663	0.303667	
21 cm	12 cm	.1202600'	0.000	0.075831	0.164689	
CD_130_60						
30 cm	21 cm	.2163750'	0.000	0.173842	0.258908	
	12 cm	.2577350'	0.000	0.217857	0.297613	
21 cm	12 cm	0.041360	0.056	-0.000794	0.083514	
CD_150_60						

30 cm	21 cm	.1249300'	0.000	0.080352	0.169508
	12 cm	.1702050'	0.000	0.126168	0.214242
21 cm	12 cm	.0452750'	0.002	0.015053	0.075497
CD_170_60					
30 cm	21 cm	0.040470	0.069	-0.002443	0.083383
	12 cm	.1011500'	0.000	0.056922	0.145378
21 cm	12 cm	.0606800'	0.000	0.028359	0.093001
CD_90_90					
30 cm	21 cm	.0985500'	0.001	0.035015	0.162085
	12 cm	.2489050'	0.000	0.199418	0.298392
21 cm	12 cm	.1503550'	0.000	0.092304	0.208406
CD_115_90					
30 cm	21 cm	.1403750'	0.000	0.083876	0.196874
	12 cm	.2881350'	0.000	0.235731	0.340539
21 cm	12 cm	.1477600'	0.000	0.106809	0.188711
CD_130_90					
30 cm	21 cm	.2378950'	0.000	0.195414	0.280376
	12 cm	.2530750'	0.000	0.213596	0.292554
21 cm	12 cm	0.015180	0.675	-0.022192	0.052552
CD_150_90					
30 cm	21 cm	.1595450'	0.000	0.125303	0.193787
	12 cm	.1913550'	0.000	0.156706	0.226004
21 cm	12 cm	.0318100'	0.017	0.004784	0.058836
CD_170_90					
30 cm	21 cm	.1230500'	0.000	0.085155	0.160945
	12 cm	.1212350'	0.000	0.085197	0.157273
21 cm	12 cm	-0.001815	0.999	-0.036366	0.032736
CD_90_180					
30 cm	21 cm	0.054475	0.337	-0.034315	0.143265
	12 cm	.2014500'	0.000	0.122858	0.280042
21 cm	12 cm	.1469750'	0.003	0.042829	0.251121
CD_115_180					
30 cm	21 cm	0.031200	0.602	-0.038310	0.100710
	12 cm	.2301000'	0.000	0.166250	0.293950
21 cm	12 cm	.1989000'	0.000	0.124369	0.273431
CD_130_180					
30 cm	21 cm	.0905300'	0.003	0.027897	0.153163
	12 cm	.2654000'	0.000	0.205030	0.325770
21 cm	12 cm	.1748700'	0.000	0.127696	0.222044
CD_150_180					
30 cm	21 cm	0.017700	0.893	-0.052291	0.087691
	12 cm	.1741800'	0.000	0.107837	0.240523
21 cm	12 cm	.1564800'	0.000	0.079181	0.233779
CD_170_180					
30 cm	21 cm	.0648850'	0.004	0.018157	0.111613
	12 cm	.2501100'	0.000	0.208942	0.291278
21 cm	12 cm	.1852250'	0.000	0.146374	0.224076

Tabela III.52 - Test homogenosti varijanse podgrupa s obzirom na uglove postavljanja uzoraka pri skeniranju - paralelno (MD) i poprečno (CD) savijeni uzorci - odnos obima i površine oštećenja

Uzorci	Leveneova statistika	df1	df2	Veličina značajnosti	Uzorci	Leveneova statistika	df1	df2	Veličina značajnosti
MD_90_30 cm	10.811	6	133	.000	CD_90_30 cm	7.119	6	133	.000
MD_115_30 cm	.750	6	133	.610*	CD_115_30 cm	.494	6	133	.812*
MD_130_30 cm	4.482	6	133	.000	CD_130_30 cm	1.489	6	133	.187*
MD_150_30 cm	3.091	6	133	.007	CD_150_30 cm	9.426	6	133	.000
MD_170_30 cm	1.659	6	133	.136*	CD_170_30 cm	6.988	6	133	.000
MD_90_21 cm	6.936	6	133	.000	CD_90_21 cm	7.854	6	133	.000
MD_115_21 cm	2.557	6	133	.022	CD_115_21 cm	2.074	6	133	.060*
MD_130_21 cm	6.468	6	133	.000	CD_130_21 cm	9.359	6	133	.000
MD_150_21 cm	1.131	6	133	.348*	CD_150_21 cm	4.754	6	133	.000
MD_170_21 cm	3.932	6	133	.001	CD_170_21 cm	6.414	6	133	.000
MD_90_12 cm	5.417	6	133	.000	CD_90_12 cm	1.998	6	133	.070*
MD_115_12 cm	2.673	6	133	.018	CD_115_12 cm	4.628	6	133	.000
MD_130_12 cm	.517	6	133	.795*	CD_130_12 cm	3.375	6	133	.004
MD_150_12 cm	2.343	6	133	.035	CD_150_12 cm	.899	6	133	.498*
MD_170_12 cm	1.516	6	133	.178*	CD_170_12 cm	5.843	6	133	.000

*Potvrđena homogenost varijanse grupe

Tabela III.53 - ANOVA - podgrupa s obzirom na uglove postavljanja uzoraka pri skeniranju - paralelno (MD) i poprečno (CD) savijeni uzorci - odnos obima i površine oštećenja

Uzorci	Suma kvadrata			Stepen slobode			F vrednost	Veličina značajnosti	Eta kvadrat
	Između grupa	Unutar grupa	Ukupno	Između grupa	Unutar grupa	Ukupno			
MD_90_30 cm	0.320	0.909	1.229	6	133	139	7.795	0.000	0.26017
MD_115_30 cm	0.664	0.850	1.514	6	133	139	17.325	0.000	0.43870
MD_130_30 cm	0.664	0.702	1.366	6	133	139	20.949	0.004	0.48588
MD_150_30 cm	1.165	0.421	1.586	6	133	139	61.247	0.000	0.73426
MD_170_30 cm	1.543	0.387	1.930	6	133	139	88.477	0.000	0.79966
MD_90_21 cm	1.413	0.667	2.080	6	133	139	46.986	0.000	0.67945
MD_115_21 cm	0.605	0.693	1.299	6	133	139	19.345	0.000	0.46602
MD_130_21 cm	0.730	0.421	1.151	6	133	139	38.466	0.000	0.63441

MD_150_21 cm	1.787	0.359	2.146	6	133	139	110.245	0.000	0.83259
MD_170_21 cm	0.850	0.168	1.017	6	133	139	112.366	0.000	0.83523
MD_90_12 cm	0.503	0.602	1.105	6	133	139	18.516	0.000	0.45514
MD_115_12 cm	0.295	0.657	0.952	6	133	139	9.963	0.000	0.31008
MD_130_12 cm	0.270	0.600	0.869	6	133	139	9.971	0.001	0.31027
MD_150_12 cm	0.694	0.326	1.020	6	133	139	47.189	0.000	0.68039
MD_170_12 cm	1.083	0.265	1.348	6	133	139	90.416	0.000	0.80311
CD_90_30 cm	.983	.599	1.582	6	133	139	36.392	0.000	0.62146
CD_115_30 cm	1.045	.491	1.537	6	133	139	47.157	0.000	0.68025
CD_130_30 cm	1.476	.338	1.814	6	133	139	96.725	0.004	0.81356
CD_150_30 cm	1.460	.337	1.798	6	133	139	95.965	0.000	0.81236
CD_170_30 cm	1.156	.309	1.465	6	133	139	82.886	0.000	0.78899
CD_90_21 cm	1.976	.955	2.932	6	133	139	45.867	0.000	0.67418
CD_115_21 cm	1.297	.483	1.780	6	133	139	59.574	0.000	0.72882
CD_130_21 cm	2.175	.310	2.485	6	133	139	155.474	0.000	0.87522
CD_150_21 cm	2.480	.273	2.753	6	133	139	201.289	0.000	0.90080
CD_170_21 cm	1.132	.159	1.291	6	133	139	157.320	0.000	0.87650
CD_90_12 cm	.534	.634	1.168	6	133	139	18.664	0.000	0.45711
CD_115_12 cm	.550	.287	0.837	6	133	139	42.408	0.000	0.65673
CD_130_12 cm	.530	.261	0.791	6	133	139	44.977	0.001	0.66986
CD_150_12 cm	1.066	.250	1.316	6	133	139	94.620	0.000	0.81019
CD_170_12 cm	.420	.146	0.566	6	133	139	63.849	0.000	0.74230

Tabela III.54 – Brown-Forsythe test - obzirom na uglove postavljanja uzoraka pri skeniranju - paralelno (MD) i poprečno (CD) savijeni uzorci - odnos obima i površine oštećenja

Brown-Forsythe									
Uzorci	Statistika ^a	df1	df2	Veličina značajnosti	Uzorci	Statistika ^a	df1	df2	Veličina značajnosti
MD_90_30 cm	13.711	6	97.485	.000	CD_90_30 cm	49.090	6	96.756	.000
MD_115_30 cm	32.892	6	124.306	.000	CD_115_30 cm	133.598	6	128.914	.000
MD_130_30 cm	40.447	6	111.331	.000	CD_130_30 cm	304.755	6	120.995	.000
MD_150_30 cm	94.035	6	102.903	.000	CD_150_30 cm	206.719	6	62.209	.000
MD_170_30 cm	75.784	6	113.255	.000	CD_170_30 cm	148.689	6	91.051	.000
MD_90_21 cm	47.012	6	106.484	.000	CD_90_21 cm	50.607	6	91.721	.000
MD_115_21 cm	15.642	6	109.845	.000	CD_115_21 cm	126.131	6	115.924	.000
MD_130_21 cm	15.415	6	97.610	.000	CD_130_21 cm	53.721	6	89.647	.000
MD_150_21 cm	79.742	6	123.659	.000	CD_150_21 cm	242.704	6	96.207	.000
MD_170_21 cm	61.570	6	105.925	.000	CD_170_21 cm	192.364	6	98.069	.000
MD_90_12 cm	18.798	6	103.412	.000	CD_90_12 cm	55.178	6	113.343	.000
MD_115_12 cm	16.199	6	114.592	.000	CD_115_12 cm	97.918	6	95.740	.000
MD_130_12 cm	42.895	6	129.339	.000	CD_130_12 cm	71.514	6	109.056	.000
MD_150_12 cm	111.215	6	108.010	.000	CD_150_12 cm	188.787	6	125.812	.000
MD_170_12 cm	77.831	6	122.195	.000	CD_170_12 cm	141.047	6	102.655	.000

Tabela III.55 – Rezultati naknadnog testa (Dunett T3) statističke značajnosti razlika između svakog para grupa uzoraka za sve gramature, paralelno savijenih i fotografisanih sa udaljenosti od 30 cm - odnos obima i površine oštećenja

Zavisna promenljiva (I)	Uglovi (J)	Srednja razlika (I-J)	Veličina značajnosti	95% Interval poverenja	
				Donja granica	Gornja granica
MD_90_30 cm					
0°	15°	.7436000	0.000	0.481666	1.005534
	30°	.7745800	0.000	0.420969	1.128191
	45°	.8252300	0.000	0.370713	1.279747
	60°	.9299900	0.000	0.514024	1.345956
	90°	1.0637000	0.000	0.807382	1.320018
	180°	.7495800	0.000	0.442607	1.056553
15°	30°	0.030980	1.000	-0.367860	0.429820
	45°	0.081630	1.000	-0.405811	0.569071
	60°	0.186390	0.973	-0.266427	0.639207
	90°	0.320100	0.054	-0.002637	0.642837
30°	180°	0.005980	1.000	-0.354807	0.366767
	45°	0.050650	1.000	-0.480188	0.581488
	60°	0.155410	0.999	-0.345264	0.656084
	90°	0.289120	0.354	-0.106758	0.684998
45°	180°	-0.025000	1.000	-0.449779	0.399779
	60°	0.104760	1.000	-0.462906	0.672426
	90°	0.238470	0.881	-0.246773	0.723713
60°	180°	-0.075650	1.000	-0.582683	0.431383
	90°	0.133710	0.999	-0.316658	0.584078
	180°	-0.180410	0.989	-0.654954	0.294134
90°	180°	-0.314120	0.131	-0.671460	0.043220
MD_115_30 cm					
0°	15°	.7494750	0.000	0.394340	1.104610
	30°	.8203250	0.000	0.468670	1.171980
	45°	.9353300	0.000	0.555574	1.315086
	60°	1.1380600	0.000	0.811021	1.465099
	90°	1.3804900	0.000	1.065410	1.695570
	180°	1.4307400	0.000	1.049167	1.812313
15°	30°	0.070850	1.000	-0.329649	0.471349
	45°	0.185855	0.960	-0.238118	0.609828
	60°	.3885850	0.042	0.008009	0.769161
	90°	.6310150	0.000	0.259870	1.002160
30°	45°	.6812650	0.000	0.255750	1.106780
30°	45°	0.115005	1.000	-0.306310	0.536320

	60°	0.317735	0.174	-0.059709	0.695179
	90°	.5601650'	0.000	0.192274	0.928056
	180°	.6104150'	0.001	0.187544	1.033286
45°	60°	0.202730	0.879	-0.200213	0.605673
	90°	.4451600'	0.016	0.050850	0.839470
	180°	.4954100'	0.018	0.050797	0.940023
60°	90°	0.242430	0.422	-0.102599	0.587459
	180°	0.292680	0.373	-0.111926	0.697286
90°	180°	0.050250	1.000	-0.345778	0.446278
MD_130_30 cm					
0°	15°	.9541050'	0.000	0.647739	1.260471
	30°	1.0133800'	0.000	0.672898	1.353862
	45°	1.0988150'	0.000	0.769263	1.428367
	60°	1.2893750'	0.000	0.922532	1.656218
	90°	1.6255250'	0.000	1.335219	1.915831
	180°	1.5399300'	0.000	1.105374	1.974486
15°	30°	0.059275	1.000	-0.305257	0.423807
	45°	0.144710	0.979	-0.209995	0.499415
	60°	0.335270	0.148	-0.053266	0.723806
	90°	.6714200'	0.000	0.351250	0.991590
30°	180°	.5858250'	0.004	0.134141	1.037509
	45°	0.085435	1.000	-0.297283	0.468153
	60°	0.275995	0.505	-0.137239	0.689229
	90°	.6121450'	0.000	0.259794	0.964496
45°	180°	.5265500'	0.018	0.054874	0.998226
	60°	0.190560	0.927	-0.214584	0.595704
	90°	.5267100'	0.000	0.184721	0.868699
	180°	0.441115	0.076	-0.023957	0.906187
60°	90°	0.336150	0.120	-0.041358	0.713658
	180°	0.250555	0.862	-0.237777	0.738887
90°	180°	-0.085595	1.000	-0.528522	0.357332
MD_150_30 cm					
0°	15°	.8780250'	0.000	0.548949	1.207101
	30°	1.2751200'	0.000	0.867973	1.682267
	45°	1.2308400'	0.000	0.742790	1.718890
	60°	1.7930500'	0.000	1.429335	2.156765
	90°	1.8275050'	0.000	1.473480	2.181530
	180°	2.7244250'	0.000	2.425235	3.023615
15°	30°	0.397095	0.055	-0.004549	0.798739
	45°	0.352815	0.346	-0.131040	0.836670
	60°	.9150250'	0.000	0.557850	1.272200
	90°	.9494800'	0.000	0.602273	1.296687
30°	180°	1.8464000'	0.000	1.556064	2.136736
	45°	-0.044280	1.000	-0.576343	0.487783
	60°	.5179300'	0.008	0.089876	0.945984
	90°	.5523850'	0.003	0.131861	0.972909
45°	180°	1.4493050'	0.000	1.069230	1.829380
	60°	.5622100'	0.019	0.057987	1.066433
	90°	.5966650'	0.009	0.098311	1.095019
	180°	1.4935850'	0.000	1.025934	1.961236
60°	90°	0.034455	1.000	-0.344989	0.413899
	180°	.9313750'	0.000	0.600264	1.262486
90°	180°	.8969200'	0.000	0.577026	1.216814
MD_170_30 cm					
0°	15°	-0.265435	0.618	-0.691446	0.160576
	30°	-0.105490	1.000	-0.673085	0.462105
	45°	-0.034120	1.000	-0.512032	0.443792
	60°	.7809050'	0.000	0.285617	1.276193
	90°	1.0966400'	0.000	0.558892	1.634388
	180°	2.4892100'	0.000	2.106253	2.872167
15°	30°	0.159945	1.000	-0.406416	0.726306
	45°	0.231315	0.906	-0.245000	0.707630
	60°	1.0463400'	0.000	0.552565	1.540115
	90°	1.3620750'	0.000	0.825664	1.898486
30°	180°	2.7546450'	0.000	2.373921	3.135369
	45°	0.071370	1.000	-0.530306	0.673046
	60°	.8863950'	0.001	0.272290	1.500500
	90°	1.2021300'	0.000	0.556523	1.847737
45°	180°	2.5947000'	0.000	2.055393	3.134007
	60°	.8150250'	0.000	0.278620	1.351430
	90°	1.1307600'	0.000	0.556283	1.705237
	180°	2.5233300'	0.000	2.082695	2.963965
60°	90°	0.315735	0.819	-0.272041	0.903511
	180°	1.7083050'	0.000	1.248168	2.168442
90°	180°	1.3925700'	0.000	0.885615	1.899525

Tabela III.56 – Rezultati naknadnog testa (Dunett T3) statističke značajnosti razlika između svakog para grupa uzoraka za sve gramature, poprečno savijenih i fotografisanih sa udaljenosti od 30 cm - odnos obima i površine oštećenja

Zavisna promenljiva (I)	Uglovi (J)	Srednja razlika (I-J)	Veličina značajnosti	95% Interval poverenja	
				Donja granica	Gornja granica
CD_90_30 cm					
0°	15°	.6287150'	0.003	0.157453	1.099977
	30°	.7988950'	0.000	0.391697	1.206093
	45°	1.1146400'	0.000	0.770052	1.459228

	60°	1.5177350'	0.000	1.096086	1.939384
	90°	1.7007500'	0.000	1.178465	2.223035
	180°	2.2719900'	0.000	2.061822	2.482158
15°	30°	0.170180	0.999	-0.401552	0.741912
	45°	0.485925	0.107	-0.050635	1.022485
	60°	.890200'	0.000	0.308417	1.469623
	90°	1.0720350'	0.000	0.423103	1.720967
	180°	1.6432750'	0.000	1.161527	2.125023
30°	45°	0.315745	0.545	-0.169303	0.800793
	60°	.7188400'	0.002	0.183333	1.254347
	90°	.9018550'	0.001	0.290479	1.513231
	180°	1.4730950'	0.000	1.053212	1.892978
45°	60°	0.403095	0.213	-0.093251	0.899441
	90°	.5861100'	0.046	0.006308	1.165912
	180°	1.1573500'	0.000	0.796914	1.517786
60°	90°	0.183015	1.000	-0.436394	0.802424
	180°	.7542550'	0.000	0.320490	1.188020
90°	180°	.5712400'	0.028	0.039753	1.102727
CD_115_30 cm					
0°	15°	1.0220700'	0.000	0.642102	1.402038
	30°	1.1069100'	0.000	0.758446	1.455374
	45°	1.6501800'	0.000	1.321384	1.978976
	60°	1.8325700'	0.000	1.481349	2.183791
	90°	2.1496000'	0.000	1.779691	2.519509
	180°	2.7882350'	0.000	2.446929	3.129541
15°	30°	0.084840	1.000	-0.292847	0.462527
	45°	.6281100'	0.000	0.267703	0.988517
	60°	.8105000'	0.000	0.430368	1.190632
	90°	1.1275300'	0.000	0.730697	1.524363
30°	180°	1.7661650'	0.000	1.394800	2.137530
	45°	.5432700'	0.000	0.217316	0.869224
	60°	.7256600'	0.000	0.377010	1.074310
	90°	1.0426900'	0.000	0.675157	1.410223
45°	180°	1.6813250'	0.000	1.342704	2.019946
	60°	0.182390	0.782	-0.146610	0.511390
	90°	.4994200'	0.001	0.149937	0.848903
60°	180°	1.1380550'	0.000	0.820040	1.456070
	90°	0.317030	0.156	-0.053049	0.687109
90°	180°	.9556650'	0.000	0.614167	1.297163
90°	180°	.6386350'	0.000	0.277695	0.999575
CD_130_30 cm					
0°	15°	0.066970	1.000	-0.217862	0.351802
	30°	.3248200'	0.002	0.088054	0.561586
	45°	.5404500'	0.000	0.256232	0.824668
	60°	.8968000'	0.000	0.636153	1.157447
	90°	1.4642800'	0.000	1.142882	1.785678
	180°	3.2861350'	0.000	2.996412	3.575858
15°	30°	0.257850	0.090	-0.020065	0.535765
	45°	.4734800'	0.000	0.156670	0.790290
	60°	.8298300'	0.000	0.532715	1.126945
	90°	1.3973100'	0.000	1.048252	1.746368
30°	180°	3.2191650'	0.000	2.897665	3.540665
	45°	0.215630	0.265	-0.061648	0.492908
	60°	.5719800'	0.000	0.319273	0.824687
	90°	1.1394600'	0.000	0.823812	1.455108
45°	180°	2.9613150'	0.000	2.678330	3.244300
	60°	.3563500'	0.008	0.059810	0.652890
	90°	.9238300'	0.000	0.575223	1.272437
60°	180°	2.7456850'	0.000	2.424696	3.066674
	90°	.5674800'	0.000	0.235748	0.899212
90°	180°	2.3893350'	0.000	2.087624	2.691046
90°	180°	1.8218550'	0.000	1.469177	2.174533
CD_150_30 cm					
0°	15°	-.3872050'	0.000	-0.630342	-0.144068
	30°	-0.272510	0.149	-0.591977	0.046957
	45°	0.070185	1.000	-0.301326	0.441696
	60°	0.449435	0.395	-0.204450	1.103320
	90°	1.0244400'	0.000	0.711918	1.336962
	180°	3.7671700'	0.000	3.548454	3.985886
15°	30°	0.114695	0.999	-0.245939	0.475329
	45°	.4573900'	0.017	0.051882	0.862898
	60°	.8366400'	0.007	0.166064	1.507216
	90°	1.4116450'	0.000	1.056807	1.766483
30°	180°	4.1543750'	0.000	3.871193	4.437557
	45°	0.342695	0.287	-0.103960	0.789350
	60°	.7219450'	0.035	0.030502	1.413388
45°	90°	1.2969500'	0.000	0.893133	1.700767
	180°	4.0396800'	0.000	3.691912	4.387448
	60°	0.379250	0.803	-0.330456	1.088956
60°	90°	.9542550'	0.000	0.511780	1.396730
	180°	3.6969850'	0.000	3.302218	4.091752
90°	180°	0.575005	0.173	-0.114251	1.264261
90°	180°	3.3177350'	0.000	2.652414	3.983056
90°	180°	2.7427300'	0.000	2.401089	3.084371
CD_170_30 cm					

0°	15°	-0.194885	0.940	-0.624850	0.235080
	30°	.5483100'	0.024	0.045052	1.051568
	45°	.8434550'	0.001	0.259560	1.427350
	60°	.7754150'	0.027	0.057268	1.493562
	90°	2.1658900'	0.000	1.726687	2.605093
	180°	4.4013000'	0.000	4.068339	4.734261
15°	30°	.7431950'	0.003	0.179939	1.306451
	45°	1.0383400'	0.000	0.405064	1.671616
	60°	.9703000'	0.004	0.214643	1.725957
	90°	2.3607750'	0.000	1.850242	2.871308
	180°	4.5961850'	0.000	4.164524	5.027846
30°	45°	0.295145	0.961	-0.382179	0.972469
	60°	0.227105	1.000	-0.563011	1.017221
	90°	1.6175800'	0.000	1.048120	2.187040
	180°	3.8529900'	0.000	3.348385	4.357595
45°	60°	-0.068040	1.000	-0.902381	0.766301
	90°	1.3224350'	0.000	0.683943	1.960927
	180°	3.5578450'	0.000	2.972860	4.142830
60°	90°	1.3904750'	0.000	0.630791	2.150159
	180°	3.6258850'	0.000	2.906919	4.344851
90°	180°	2.2354100'	0.000	1.794563	2.676257

Tabela III.57 – Rezultati naknadnog testa (Dunett T3) statističke značajnosti razlika između svakog para grupa uzoraka za sve gramature, paralelno savijenih i fotografisanih sa udaljenosti od 21 cm - odnos obima i površine oštećenja

Zavisna promenljiva (I)	Uglovi (I)	Srednja razlika (I-J)	Veličina značajnosti	95% Interval poverenja	
				Donja granica	Gornja granica
MD_90_21 cm					
0°	15°	1.1688200'	0.000	0.741264	1.596376
	30°	.9586000'	0.000	0.517398	1.399802
	45°	1.1908750'	0.000	0.849090	1.540850
	60°	1.6292650'	0.000	1.291129	1.967401
	90°	1.9358900'	0.000	1.675467	2.196313
	180°	1.2150350'	0.000	0.823904	1.606166
15°	30°	-0.210220	0.981	-0.728537	0.308097
	45°	0.022055	1.000	-0.428969	0.473079
	60°	.4604450'	0.036	0.017406	0.903484
	90°	.7670700'	0.000	0.371290	1.162850
30°	180°	0.046215	1.000	-0.433999	0.526429
	45°	0.232275	0.879	-0.231388	0.695938
	60°	.6706650'	0.001	0.214656	1.126674
	90°	.9772900'	0.000	0.566346	1.388234
45°	180°	0.256435	0.848	-0.235316	0.748186
	60°	.4383900'	0.010	0.067859	0.808921
	90°	.7450150'	0.000	0.439299	1.050731
60°	180°	0.024160	1.000	-0.393527	0.441847
	90°	.3066250'	0.032	0.015531	0.597719
90°	180°	-.4142300'	0.045	-0.822932	-0.005528
90°	180°	-.7208550'	0.000	-1.075328	-0.366382
MD_115_21 cm					
0°	15°	.7455550'	0.002	0.195969	1.295141
	30°	.6475300'	0.000	0.237320	1.057740
	45°	.7588400'	0.001	0.255095	1.262585
	60°	1.0290900'	0.000	0.498388	1.559792
	90°	1.5010200'	0.000	1.081931	1.920109
	180°	1.0955450'	0.000	0.736742	1.454348
15°	30°	-0.098025	1.000	-0.693717	0.497667
	45°	0.013285	1.000	-0.640938	0.667508
	60°	0.283535	0.972	-0.389266	0.956336
	90°	.7554650'	0.005	0.154654	1.356276
30°	180°	0.349990	0.612	-0.218076	0.918056
	45°	0.111310	1.000	-0.444162	0.666782
	60°	0.381560	0.519	-0.197436	0.960556
	90°	.8534900'	0.000	0.368867	1.338113
45°	180°	.4480150'	0.041	0.010050	0.885980
	60°	0.270250	0.971	-0.369535	0.910035
	90°	.7421800'	0.003	0.181031	1.303329
60°	180°	0.336705	0.554	-0.187900	0.861310
	90°	0.471930	0.218	-0.112404	1.056264
90°	180°	0.066455	1.000	-0.483647	0.616557
90°	180°	-0.405475	0.104	-0.851510	0.040560
MD_130_21 cm					
0°	15°	.6894600'	0.004	0.158741	1.220179
	30°	0.488435	0.054	-0.005439	0.982309
	45°	.8304950'	0.000	0.505387	1.155603
	60°	.9954850'	0.000	0.540449	1.450521
	90°	1.1932700'	0.000	0.789511	1.597029
	180°	1.1800600'	0.000	0.925629	1.434491
15°	30°	-0.201025	0.999	-0.855079	0.453029
	45°	0.141035	1.000	-0.418916	0.700986
	60°	0.306025	0.906	-0.323256	0.935306
	90°	0.503810	0.173	-0.095443	1.103063
30°	180°	0.490600	0.091	-0.041658	1.022858
	45°	0.342060	0.531	-0.183982	0.868102
60°	0.507050	0.172	-0.094090	1.108190	

	90°	.7048350'	0.006	0.136009	1.273661
	180°	.6916250'	0.002	0.196053	1.187197
45°	60°	0.164990	0.997	-0.325914	0.655894
	90°	0.362775	0.209	-0.082977	0.808527
	180°	.3495650'	0.029	0.021371	0.677759
60°	90°	0.197785	0.993	-0.340075	0.735645
	180°	0.184575	0.972	-0.272363	0.641513
90°	180°	-0.013210	1.000	-0.419222	0.392802
MD 150 21 cm					
0°	15°	0.404330	0.201	-0.087968	0.896628
	30°	.6210950'	0.005	0.124278	1.117912
	45°	.9756850'	0.000	0.481693	1.469677
	60°	1.5936900'	0.000	1.114349	2.073031
	90°	1.8214150'	0.000	1.396909	2.245921
	180°	2.5404750'	0.000	2.116406	2.964544
15°	30°	0.216765	0.966	-0.286309	0.719839
	45°	.5713550'	0.014	0.071053	1.071657
	60°	1.1893600'	0.000	0.703421	1.675299
	90°	1.4170850'	0.000	0.984687	1.849483
	180°	2.1361450'	0.000	1.704173	2.568117
30°	45°	0.354590	0.423	-0.150124	0.859304
	60°	.9725950'	0.000	0.482048	1.463142
	90°	1.2003200'	0.000	0.762445	1.638195
	180°	1.9193800'	0.000	1.481922	2.356838
45°	60°	.6180050'	0.004	0.130338	1.105672
	90°	.8457300'	0.000	0.411275	1.280185
	180°	1.5647900'	0.000	1.130757	1.998823
60°	90°	0.227725	0.792	-0.188799	0.644249
	180°	.9467850'	0.000	0.530711	1.362859
90°	180°	.7190600'	0.000	0.373966	1.064154
MD 170 21 cm					
0°	15°	-0.509310	0.117	-1.081052	0.062432
	30°	-.4642900'	0.049	-0.927636	-0.000944
	45°	-0.152800	0.999	-0.651677	0.346077
	60°	.5340850'	0.012	0.075700	0.992470
	90°	.8148000'	0.000	0.374167	1.255433
	180°	1.9386650'	0.000	1.625324	2.252006
15°	30°	0.045020	1.000	-0.574206	0.664246
	45°	0.356510	0.781	-0.286343	0.999363
	60°	1.0433950'	0.000	0.427363	1.659427
	90°	1.3241100'	0.000	0.719281	1.928939
	180°	2.4479750'	0.000	1.912587	2.983363
30°	45°	0.311490	0.769	-0.244305	0.867285
	60°	.9983750'	0.000	0.476470	1.520280
	90°	1.2790900'	0.000	0.771664	1.786516
	180°	2.4029550'	0.000	1.990367	2.815543
45°	60°	.6868850'	0.006	0.134851	1.238919
	90°	.9676000'	0.000	0.428834	1.506366
	180°	2.0914650'	0.000	1.637537	2.545393
60°	90°	0.280715	0.775	-0.222391	0.783821
	180°	1.4045800'	0.000	0.997882	1.811278
90°	180°	1.1238650'	0.000	0.738536	1.509194

Tabela III.58 – Rezultati naknadnog testa (Dunett T3) statističke značajnosti razlika između svakog para grupa uzoraka za sve gramature, poprečno savijenih i fotografisanih sa udaljenosti od 21 cm - odnos obima i površine oštećenja

Zavisna promenljiva (I)	Uglovi (J)	Srednja razlika (I-J)	Veličina značajnosti	95% Interval poverenja	
				Donja granica	Gornja granica
CD 90 21 cm					
0°	15°	.7340350'	0.001	0.222186	1.245884
	30°	.8386350'	0.001	0.291155	1.386115
	45°	1.1227600'	0.000	0.768870	1.476650
	60°	1.4155100'	0.000	1.149543	1.681477
	90°	1.8454100'	0.000	1.481313	2.209507
	180°	2.2408850'	0.000	1.893908	2.587862
15°	30°	0.104600	1.000	-0.573178	0.782378
	45°	0.388725	0.418	-0.167282	0.944732
	60°	.6814750'	0.004	0.164347	1.198603
	90°	1.1113750'	0.000	0.550109	1.672641
	180°	1.5068500'	0.000	0.954320	2.059380
30°	45°	0.284125	0.899	-0.303796	0.872046
	60°	.5768750'	0.035	0.024575	1.129175
	90°	1.0067750'	0.000	0.414008	1.599542
	180°	1.4022500'	0.000	0.817529	1.986971
45°	60°	0.292750	0.216	-0.070008	0.655508
	90°	.7226500'	0.000	0.290542	1.154758
	180°	1.1181250'	0.000	0.699094	1.537156
60°	90°	.4299000'	0.013	0.057290	0.802510
	180°	.8253750'	0.000	0.469276	1.181474
90°	180°	0.395475	0.092	-0.031539	0.822489
CD 115 21 cm					
0°	15°	1.1902600'	0.000	0.842186	1.538334
	30°	1.2547950'	0.000	0.891725	1.617865

	45°	1.6762950'	0.000	1.341563	2.011027
	60°	1.9370650'	0.000	1.571585	2.302545
	90°	2.3210800'	0.000	2.069847	2.572313
	180°	2.9066350'	0.000	2.594846	3.218424
15°	30°	0.064535	1.000	-0.369835	0.498905
	45°	.4860350'	0.010	0.072853	0.899217
	60°	.7468050'	0.000	0.310587	1.183023
	90°	1.1308200'	0.000	0.773022	1.488618
30°	180°	1.7163750'	0.000	1.319549	2.113201
	45°	0.421500	0.054	-0.003417	0.846417
	60°	.6822700'	0.000	0.235210	1.129330
	90°	1.0662850'	0.000	0.694056	1.438514
45°	180°	1.6518400'	0.000	1.242570	2.061110
	60°	0.260770	0.648	-0.166057	0.687597
	90°	.6447850'	0.000	0.299774	0.989796
	180°	1.2303400'	0.000	0.844394	1.616286
60°	90°	.3840150'	0.041	0.009462	0.758568
	180°	.9695700'	0.000	0.558281	1.380859
90°	180°	.5855550'	0.000	0.262392	0.908718
CD_130_21 cm					
0°	15°	0.595995	0.132	-0.091973	1.283963
	30°	1.1190500'	0.000	0.578439	1.659661
	45°	1.1897600'	0.000	0.573541	1.805979
	60°	1.4230250'	0.000	0.577282	2.268768
	90°	2.2431600'	0.000	1.723888	2.762432
	180°	3.6311500'	0.000	3.336465	3.925835
15°	30°	0.523055	0.555	-0.286797	1.332907
	45°	0.593765	0.439	-0.260271	1.447801
	60°	0.827030	0.209	-0.187860	1.841920
	90°	1.6471650'	0.000	0.848803	2.445527
30°	180°	3.0351550'	0.000	2.327620	3.742690
	45°	0.070710	1.000	-0.683976	0.825396
	60°	0.303975	0.998	-0.636810	1.244760
	90°	1.1241100'	0.000	0.437841	1.810379
45°	180°	2.5121000'	0.000	1.944844	3.079356
	60°	0.233265	1.000	-0.743255	1.209785
	90°	1.0534000'	0.001	0.311517	1.795283
	180°	2.4413900'	0.000	1.802669	3.080111
60°	90°	0.820135	0.128	-0.111489	1.751759
	180°	2.2081250'	0.000	1.347208	3.069042
90°	180°	1.3879900'	0.000	0.840637	1.935343
CD_150_21 cm					
0°	15°	-0.017395	1.000	-0.306892	0.272102
	30°	-.5306950'	0.006	-0.953532	-0.107858
	45°	0.145295	0.992	-0.263413	0.554003
	60°	.7435150'	0.002	0.221749	1.265281
	90°	1.2062850'	0.000	0.842268	1.570302
	180°	4.1125550'	0.000	3.847176	4.377934
15°	30°	-.5133000'	0.017	-0.968182	-0.058418
	45°	0.162690	0.992	-0.279533	0.604913
	60°	.7609100'	0.002	0.214866	1.306954
	90°	1.2236800'	0.000	0.820654	1.626706
30°	180°	4.1299500'	0.000	3.806697	4.453203
	45°	.6759900'	0.004	0.149294	1.202686
	60°	1.2742100'	0.000	0.663318	1.885102
	90°	1.7369800'	0.000	1.239657	2.234303
45°	180°	4.6432500'	0.000	4.200096	5.086404
	60°	0.598220	0.053	-0.004636	1.201076
	90°	1.0609900'	0.000	0.574695	1.547285
	180°	3.9672600'	0.000	3.537281	4.397239
60°	90°	0.462770	0.229	-0.116406	1.041946
	180°	3.3690400'	0.000	2.831932	3.906148
90°	180°	2.9062700'	0.000	2.517378	3.295162
CD_170_21 cm					
0°	15°	-.4570500'	0.003	-0.794207	-0.119893
	30°	-0.066325	1.000	-0.527517	0.394867
	45°	.6022350'	0.001	0.197905	1.006565
	60°	1.2948700'	0.000	0.740233	1.849507
	90°	1.6421900'	0.000	1.169458	2.114922
	180°	4.1101750'	0.000	3.840578	4.379772
15°	30°	0.390725	0.317	-0.130932	0.912382
	45°	1.0592850'	0.000	0.583956	1.534614
	60°	1.7519200'	0.000	1.149293	2.354547
	90°	2.0992400'	0.000	1.567869	2.630611
30°	180°	4.5672250'	0.000	4.186679	4.947771
	45°	.6685600'	0.009	0.108601	1.228519
	60°	1.3611950'	0.000	0.696095	2.026295
	90°	1.7085150'	0.000	1.103561	2.313469
45°	180°	4.1765000'	0.000	3.686344	4.666656
	60°	.6926350'	0.023	0.058647	1.326623
	90°	1.0399550'	0.000	0.471243	1.608667
	180°	3.5079400'	0.000	3.069250	3.946630
60°	90°	0.347320	0.856	-0.324561	1.019201
	180°	2.8153050'	0.000	2.237832	3.392778
90°	180°	2.4679850'	0.000	1.967203	2.968767

Tabela III.59 – Rezultati naknadnog testa (Dunett T3) statističke značajnosti razlika između svakog para grupa uzoraka za sve gramature, paralelno savijenih i fotografisanih sa udaljenosti od 12 cm - odnos obima i površine oštećenja

Zavisna promenljiva (I)	Uglovi (J)	Srednja razlika (I-J)	Veličina značajnosti	95% Interval poverenja	
				Donja granica	Gornja granica
MD_90_12 cm					
0°	15°	.5173600'	0.007	0.103368	0.931352
	30°	0.237260	0.684	-0.174825	0.649345
	45°	0.351500	0.080	-0.022785	0.725785
	60°	.8735300'	0.000	0.554401	1.192659
	90°	1.0944850'	0.000	0.851121	1.337849
15°	180°	.7835650'	0.000	0.504594	1.062536
	30°	-0.280100	0.831	-0.806959	0.246759
	45°	-0.165860	0.998	-0.667342	0.335622
	60°	0.356170	0.296	-0.111873	0.824213
	90°	.5771250'	0.003	0.146734	1.007516
30°	180°	0.266205	0.669	-0.180592	0.713002
	45°	0.114240	1.000	-0.385807	0.614287
	60°	.6362700'	0.002	0.169820	1.102720
	90°	.8572250'	0.000	0.428638	1.285812
	180°	.5463050'	0.007	0.101216	0.991394
45°	60°	.5220300'	0.009	0.086495	0.957565
	90°	.7429850'	0.000	0.349907	1.136063
	180°	.4320650'	0.033	0.020359	0.843771
60°	90°	0.220955	0.552	-0.121499	0.563409
	180°	-0.089965	1.000	-0.454995	0.275065
90°	180°	-.3109200'	0.045	-0.617823	-0.004017
MD_115_12 cm					
0°	15°	0.390550	0.076	-0.022784	0.803884
	30°	0.327880	0.355	-0.130814	0.786574
	45°	.4828600'	0.002	0.132597	0.833123
	60°	.7681050'	0.000	0.348624	1.187586
	90°	1.0928500'	0.000	0.694309	1.491391
	180°	1.1426150'	0.000	0.792527	1.492703
15°	30°	-0.062670	1.000	-0.621643	0.496303
	45°	0.092310	1.000	-0.392236	0.576856
	60°	0.377555	0.402	-0.152881	0.907991
	90°	.7023000'	0.002	0.186399	1.218201
30°	180°	.7520650'	0.000	0.267627	1.236503
	45°	0.154980	0.999	-0.366390	0.676350
	60°	0.440225	0.262	-0.122696	1.003146
	90°	.7649700'	0.001	0.215300	1.314640
	180°	.8147350'	0.000	0.293461	1.336009
45°	60°	0.285245	0.715	-0.204185	0.774675
	90°	.6099900'	0.004	0.137047	1.082933
	180°	.6597550'	0.000	0.223122	1.096388
60°	90°	0.324745	0.616	-0.195605	0.845095
	180°	0.374510	0.290	-0.114815	0.863835
90°	180°	0.049765	1.000	-0.423066	0.522596
MD_130_12 cm					
0°	15°	.8364550'	0.000	0.464775	1.208135
	30°	.8078600'	0.000	0.423477	1.192243
	45°	.9675200'	0.000	0.600696	1.334344
	60°	1.2294850'	0.000	0.834149	1.624821
	90°	1.5440300'	0.000	1.161746	1.926314
	180°	1.4792800'	0.000	1.078148	1.880412
15°	30°	-0.028595	1.000	-0.373038	0.315848
	45°	0.131065	0.981	-0.192420	0.454550
	60°	.3930300'	0.021	0.035748	0.750312
	90°	.7075750'	0.000	0.365612	1.049538
30°	180°	.6428250'	0.000	0.278813	1.006837
	45°	0.159660	0.927	-0.179326	0.498646
	60°	.4216250'	0.015	0.050896	0.792354
	90°	.7361700'	0.000	0.379887	1.092453
45°	180°	.6714200'	0.000	0.294318	1.048522
	60°	0.261965	0.331	-0.090159	0.614089
	90°	.5765100'	0.000	0.240064	0.912956
60°	180°	.5117600'	0.001	0.152761	0.870759
	90°	0.314545	0.160	-0.053967	0.683057
90°	180°	0.249795	0.567	-0.138570	0.638160
90°	180°	-0.064750	1.000	-0.439691	0.310191
MD_150_12 cm					
0°	15°	.9743100'	0.000	0.592277	1.356343
	30°	1.0899800'	0.000	0.657123	1.522837
	45°	1.4291750'	0.000	1.086449	1.771901
	60°	1.7167550'	0.000	1.357265	2.076245
	90°	1.9317300'	0.000	1.539713	2.323747
	180°	2.3987100'	0.000	2.050247	2.747173
15°	30°	0.115670	1.000	-0.278193	0.509533
	45°	.4548650'	0.000	0.171216	0.738514
	60°	.7424450'	0.000	0.437046	1.047844
	90°	.9574200'	0.000	0.611684	1.303156
30°	180°	1.4244000'	0.000	1.133226	1.715574
30°	45°	0.339195	0.073	-0.017326	0.695716

	60°	.6267750'	0.000	0.254379	0.999171
	90°	.8417500'	0.000	0.438337	1.245163
	180°	1.3087300'	0.000	0.946784	1.670676
45°	60°	.2875800'	0.011	0.041262	0.533898
	90°	.5025550'	0.000	0.203606	0.801504
	180°	.9695350'	0.000	0.743424	1.195646
60°	90°	0.214975	0.486	-0.104215	0.534165
	180°	.6819550'	0.000	0.426416	0.937494
90°	180°	.4669800'	0.000	0.161054	0.772906
MD_170_12 cm					
0°	15°	0.174425	0.928	-0.200743	0.549593
	30°	0.341285	0.063	-0.009528	0.692098
	45°	.4111750'	0.008	0.068805	0.753545
	60°	.9487250'	0.000	0.607458	1.289992
	90°	1.3047300'	0.000	0.961099	1.648361
	180°	1.9454450'	0.000	1.670108	2.220782
15°	30°	0.166860	0.981	-0.246777	0.580497
	45°	0.236750	0.720	-0.170340	0.643840
	60°	.7743000'	0.000	0.368059	1.180541
	90°	1.1303050'	0.000	0.722242	1.538368
30°	180°	1.7710200'	0.000	1.412538	2.129502
	45°	0.069890	1.000	-0.315864	0.455644
	60°	.6074400'	0.000	0.222607	0.992273
	90°	.9634450'	0.000	0.576636	1.350254
45°	180°	1.6041600'	0.000	1.271901	1.936419
	60°	.5375500'	0.001	0.160034	0.915066
	90°	.8935550'	0.000	0.514005	1.273105
60°	180°	1.5342700'	0.000	1.211193	1.857347
	90°	0.356005	0.082	-0.022601	0.734611
90°	180°	.9967200'	0.000	0.674846	1.318594
	180°	.6407150'	0.000	0.316263	0.965167

Tabela III.60 – Rezultati naknadnog testa (Dunett T3) statističke značajnosti razlika između para grupa uzoraka za sve gramature, poprečno savijenih i fotografisanih sa udaljenosti od 12 cm - odnos obima i površine oštećenja

Zavisna promenljiva (I)	Uglovi (J)	Srednja razlika (I-J)	Veličina značajnosti	95% Interval poverenja	
				Donja granica	Gornja granica
CD_90_12 cm					
0°	15°	0.047085	1.000	-0.273750	0.367920
	30°	0.163535	0.976	-0.242269	0.569339
	45°	0.337385	0.111	-0.037676	0.712446
	60°	.6007600'	0.000	0.294671	0.906849
	90°	.6727200'	0.000	0.401632	0.943808
	180°	1.7707950'	0.000	1.425642	2.115948
15°	30°	0.116450	1.000	-0.318066	0.550966
	45°	0.290300	0.395	-0.116709	0.697309
	60°	.5536750'	0.000	0.205808	0.901542
	90°	.6256350'	0.000	0.305884	0.945386
30°	180°	1.7237100'	0.000	1.342850	2.104570
	45°	0.173850	0.993	-0.297181	0.644881
	60°	.4372250'	0.040	0.011879	0.862571
	90°	.5091850'	0.006	0.104145	0.914225
45°	180°	1.6072600'	0.000	1.156884	2.057636
	60°	0.263375	0.509	-0.133492	0.660242
	90°	0.335335	0.113	-0.038868	0.709538
60°	180°	1.4334100'	0.000	1.008985	1.857835
	90°	0.071960	1.000	-0.232966	0.376886
90°	180°	1.1700350'	0.000	0.800421	1.539649
		1.0980750'	0.000	0.753893	1.442257
CD_115_12 cm					
0°	15°	0.158070	0.970	-0.238167	0.554307
	30°	0.140675	0.916	-0.163407	0.444757
	45°	.3460400'	0.001	0.106902	0.585178
	60°	.9868200'	0.000	0.768549	1.205091
	90°	1.1679050'	0.000	0.936506	1.399304
	180°	1.9964300'	0.000	1.696693	2.296167
15°	30°	-0.017395	1.000	-0.469943	0.435153
	45°	0.187970	0.942	-0.232604	0.608544
	60°	.8287500'	0.000	0.416720	1.240780
	90°	1.0098350'	0.000	0.592531	1.427139
30°	180°	1.8383600'	0.000	1.388193	2.288527
	45°	0.205365	0.652	-0.133103	0.543833
	60°	.8461450'	0.000	0.519573	1.172717
	90°	1.0272300'	0.000	0.693289	1.361171
45°	180°	1.8557550'	0.000	1.477687	2.233823
	60°	.6407800'	0.000	0.370783	0.910777
	90°	.8218650'	0.000	0.542161	1.101569
60°	180°	1.6503900'	0.000	1.315625	1.985155
	90°	0.181085	0.459	-0.082501	0.444671
90°	180°	1.0096100'	0.000	0.686947	1.332273
		.8285250'	0.000	0.498363	1.158687
CD_130_12 cm					
0°	15°	-.5972850'	0.003	-1.050642	-0.143928
	30°	-.4280650'	0.040	-0.845071	-0.011059
	45°	-0.283425	0.566	-0.735242	0.168392

	60°	-0.206100	0.910	-0.647719	0.235519
	90°	.4163200'	0.003	0.098782	0.733858
	180°	1.9447550'	0.000	1.644058	2.245452
15°	30°	0.169220	0.999	-0.375958	0.714398
	45°	0.313860	0.790	-0.255339	0.883059
	60°	0.391185	0.438	-0.170837	0.953207
	90°	1.0136050'	0.000	0.528417	1.498793
	180°	2.5420400'	0.000	2.065535	3.018545
	30°	45°	0.144640	1.000	-0.399368
60°		0.221965	0.976	-0.314350	0.758280
90°		.8443850'	0.000	0.391793	1.296977
180°		2.3728200'	0.000	1.929880	2.815760
45°	60°	0.077325	1.000	-0.483580	0.638230
	90°	.6997450'	0.001	0.215951	1.183539
	180°	2.2281800'	0.000	1.753107	2.703253
60°	90°	.6224200'	0.003	0.147834	1.097006
	180°	2.1508550'	0.000	1.685247	2.616463
90°	180°	1.5284350'	0.000	1.173538	1.883332
CD_150_12 cm					
0°	15°	0.110785	1.000	-0.316704	0.538274
	30°	0.135245	0.988	-0.217900	0.488390
	45°	0.149365	0.996	-0.280606	0.579336
	60°	.5550800'	0.003	0.134817	0.975343
	90°	1.2498800'	0.000	0.852402	1.647358
	180°	3.3883350'	0.000	2.996078	3.780592
15°	30°	0.024460	1.000	-0.360283	0.409203
	45°	0.038580	1.000	-0.415473	0.492633
	60°	0.444295	0.051	-0.000836	0.889426
	90°	1.1390950'	0.000	0.714737	1.563453
	180°	3.2775500'	0.000	2.857915	3.697185
30°	45°	0.014120	1.000	-0.373525	0.401765
	60°	.4198350'	0.019	0.043589	0.796081
	90°	1.1146350'	0.000	0.765679	1.463591
	180°	3.2530900'	0.000	2.910510	3.595670
45°	60°	0.405715	0.107	-0.041752	0.853182
	90°	1.1005150'	0.000	0.673648	1.527382
	180°	3.2389700'	0.000	2.816784	3.661156
60°	90°	.6948000'	0.000	0.277750	1.111850
	180°	2.8332550'	0.000	2.421056	3.245454
90°	180°	2.1384550'	0.000	1.749767	2.527143
CD_170_12 cm					
0°	15°	.4670900'	0.011	0.070294	0.863886
	30°	.4814700'	0.040	0.013456	0.949484
	45°	.9499900'	0.000	0.393575	1.506405
	60°	1.3598550'	0.000	0.872823	1.846887
	90°	2.2560900'	0.000	1.899757	2.612423
	180°	3.7963850'	0.000	3.479624	4.113146
15°	30°	0.014380	1.000	-0.513566	0.542326
	45°	0.482900	0.229	-0.121388	1.087188
	60°	.8927650'	0.000	0.348789	1.436741
	90°	1.7890000'	0.000	1.348981	2.229019
	180°	3.3292950'	0.000	2.917020	3.741570
30°	45°	0.468520	0.368	-0.176799	1.113839
	60°	.8783850'	0.001	0.287026	1.469744
	90°	1.7746200'	0.000	1.271930	2.277310
	180°	3.3149150'	0.000	2.834650	3.795180
45°	60°	0.409865	0.615	-0.247406	1.067136
	90°	1.3061000'	0.000	0.722247	1.889953
	180°	2.8463950'	0.000	2.280358	3.412432
60°	90°	.8962350'	0.000	0.376343	1.416127
	180°	2.4365300'	0.000	1.937915	2.935145
90°	180°	1.5402950'	0.000	1.165938	1.914652

Distribucija oštećenja

Tabela III.61 - Test homogenosti varijanse podgrupa s obzirom na udaljenost slikanja - paralelno (MD) i poprečno (CD) savijeni uzorci – distribucija oštećenja

Uzorci	Leveneova statistika	df1	df2	Veličina značajnosti	Uzorci	Leveneova statistika	df1	df2	Veličina značajnosti
MD_90_0	.176	2	57	0.839*	CD_90_0	0.474	2	57	0.625*
MD_115_0	1.973	2	57	0.148*	CD_115_0	0.411	2	57	0.665*
MD_130_0	1.849	2	57	0.167*	CD_130_0	1.538	2	57	0.224*
MD_150_0	.272	2	57	0.763*	CD_150_0	1.075	2	57	0.348*
MD_170_0	.377	2	57	0.688*	CD_170_0	0.153	2	57	0.858*
MD_90_15	.621	2	57	0.541*	CD_90_15	9.755	2	57	0.000
MD_115_15	3.871	2	57	0.027	CD_115_15	5.456	2	57	0.007
MD_130_15	1.138	2	57	0.328*	CD_130_15	6.213	2	57	0.004
MD_150_15	.419	2	57	0.660*	CD_150_15	0.450	2	57	0.640*
MD_170_15	.881	2	57	0.420*	CD_170_15	1.131	2	57	0.330*
MD_90_30	.680	2	57	0.511*	CD_90_30	4.849	2	57	0.011
MD_115_30	1.120	2	57	0.333*	CD_115_30	3.110	2	57	0.052*
MD_130_30	.963	2	57	0.388*	CD_130_30	5.343	2	57	0.007

MD_150_30	1.660	2	57	0.199*	CD_150_30	0.233	2	57	0.793*
MD_170_30	.010	2	57	0.990*	CD_170_30	0.352	2	57	0.705*
MD_90_45	3.416	2	57	0.040	CD_90_45	1.957	2	57	0.151*
MD_115_45	1.223	2	57	0.302*	CD_115_45	1.790	2	57	0.176*
MD_130_45	.426	2	57	0.655*	CD_130_45	4.784	2	57	0.012
MD_150_45	.365	2	57	0.696*	CD_150_45	0.421	2	57	0.658*
MD_170_45	1.098	2	57	0.340*	CD_170_45	0.178	2	57	0.837*
MD_90_60	4.795	2	57	0.012	CD_90_60	9.813	2	57	0.000
MD_115_60	4.452	2	57	0.016	CD_115_60	1.769	2	57	0.180*
MD_130_60	1.795	2	57	0.175*	CD_130_60	19.986	2	57	0.000
MD_150_60	.440	2	57	0.646*	CD_150_60	0.761	2	57	0.472*
MD_170_60	.624	2	57	0.540*	CD_170_60	0.679	2	57	0.511*
MD_90_90	4.051	2	57	0.023	CD_90_90	17.849	2	57	0.000
MD_115_90	1.021	2	57	0.367*	CD_115_90	2.779	2	57	0.071*
MD_130_90	.053	2	57	0.949*	CD_130_90	4.140	2	57	0.021
MD_150_90	1.929	2	57	0.155*	CD_150_90	2.154	2	57	0.125*
MD_170_90	5.013	2	57	0.010	CD_170_90	2.258	2	57	0.114*
MD_90_180	2.158	2	57	0.125*	CD_90_180	3.018	2	57	0.057*
MD_115_180	.096	2	57	0.909*	CD_115_180	0.258	2	57	0.773*
MD_130_180	3.401	2	57	0.040	CD_130_180	0.357	2	57	0.701*
MD_150_180	6.201	2	57	0.004	CD_150_180	0.533	2	57	0.590*
MD_170_180	.223	2	57	0.801*	CD_170_180	0.406	2	57	0.668*

*Potvrđena homogenost varijanse grupe

Tabela III.62 – ANOVA - podgrupe po udaljenosti fotografisanja - paralelno (MD) i poprečno (CD) savijeni uzorci – distribucija oštećenja

Uzorci	Suma kvadrata			Stepen slobode			F vrednost	Veličina značajnosti	Eta kvadrat
	Između grupa	Unutar grupa	Ukupno	Između grupa	Unutar grupa	Ukupno			
MD_90_0	11.233	699.100	710.333	2	57	59	0.458	0.635	0.01581
MD_115_0	6.300	511.700	518.000	2	57	59	0.351	0.706	0.01216
MD_130_0	17.433	573.500	590.933	2	57	59	0.866	0.426	0.02950
MD_150_0	1.733	529.000	530.733	2	57	59	0.093	0.911	0.00327
MD_170_0	27.300	507.100	534.400	2	57	59	1.534	0.224	0.05109
MD_90_15	1703.597	9339.490	11043.087	2	57	59	5.199	0.008*	0.15427
MD_115_15	2804.452	4449.968	7254.420	2	57	59	17.961	0.000*	0.38659
MD_130_15	1282.978	5257.133	6540.110	2	57	59	6.955	0.002*	0.19617
MD_150_15	342.713	1944.807	2287.520	2	57	59	5.022	0.010*	0.14982
MD_170_15	181.832	2283.189	2465.021	2	57	59	2.270	0.113	0.07376
MD_90_30	2860.199	7256.612	10116.811	2	57	59	11.233	0.000*	0.28272
MD_115_30	2236.481	3569.130	5805.611	2	57	59	17.859	0.000*	0.38523
MD_130_30	609.279	3057.970	3667.249	2	57	59	5.678	0.006*	0.16614
MD_150_30	109.268	3557.251	3666.519	2	57	59	0.875	0.422	0.02980
MD_170_30	305.743	2415.210	2720.952	2	57	59	3.608	0.033*	0.11237
MD_90_45	1966.586	6333.917	8300.503	2	57	59	8.849	0.000*	0.23692
MD_115_45	1837.836	4205.797	6043.633	2	57	59	12.454	0.000*	0.30409
MD_130_45	1302.736	2133.862	3436.598	2	57	59	17.399	0.000*	0.37908
MD_150_45	75.852	2854.665	2930.518	2	57	59	0.757	0.474	0.02588
MD_170_45	141.346	1330.660	1472.006	2	57	59	3.027	0.056	0.09602
MD_90_60	1287.379	7196.649	8484.027	2	57	59	5.098	0.009*	0.15174
MD_115_60	1740.123	4186.535	5926.658	2	57	59	11.846	0.000*	0.29361
MD_130_60	2269.041	3071.830	5340.871	2	57	59	21.052	0.000*	0.42484
MD_150_60	866.116	2343.620	3209.736	2	57	59	10.533	0.000*	0.26984
MD_170_60	43.088	2996.148	3039.236	2	57	59	0.410	0.666	0.01418
MD_90_90	1797.462	3597.014	5394.476	2	57	59	14.242	0.000*	0.33320
MD_115_90	1336.785	4261.821	5598.606	2	57	59	8.939	0.000*	0.23877
MD_130_90	1764.339	3329.084	5093.424	2	57	59	15.104	0.000*	0.34640
MD_150_90	1157.031	2998.254	4155.285	2	57	59	10.998	0.000*	0.27845
MD_170_90	118.360	3599.560	3717.919	2	57	59	0.937	0.398	0.03183
MD_90_180	629.702	3511.462	4141.164	2	57	59	5.111	0.009*	0.15206
MD_115_180	281.627	5094.272	5375.899	2	57	59	1.576	0.216	0.05239
MD_130_180	406.044	3431.773	3837.816	2	57	59	3.372	0.041*	0.10580
MD_150_180	141.088	1837.830	1978.918	2	57	59	2.188	0.121	0.07130
MD_170_180	171.417	1602.876	1774.294	2	57	59	3.048	0.055	0.09661
CD_90_0	90.169	1569.824	1659.993	2	57	59	1.637	0.204	0.05432
CD_115_0	20.101	1210.205	1230.306	2	57	59	0.473	0.625	0.01634
CD_130_0	44.189	1163.940	1208.130	2	57	59	1.082	0.346	0.03658
CD_150_0	15.951	1146.606	1162.557	2	57	59	0.396	0.675	0.01372
CD_170_0	17.822	1453.979	1471.802	2	57	59	0.349	0.707	0.01211
CD_90_15	265.614	3651.010	3916.624	2	57	59	2.073	0.135	0.06782
CD_115_15	53.957	1796.945	1850.902	2	57	59	0.856	0.430	0.02915
CD_130_15	338.962	2785.954	3124.916	2	57	59	3.468	0.038*	0.10847
CD_150_15	410.033	1113.772	1523.805	2	57	59	10.492	0.000*	0.26908
CD_170_15	514.405	1521.592	2035.997	2	57	59	9.635	0.000*	0.25265
CD_90_30	533.047	3557.776	4090.823	2	57	59	4.270	0.019*	0.13030
CD_115_30	478.669	1874.477	2353.146	2	57	59	7.278	0.002*	0.20342
CD_130_30	929.191	2409.342	3338.532	2	57	59	10.991	0.000*	0.27832
CD_150_30	280.218	868.554	1148.772	2	57	59	9.195	0.000*	0.24393
CD_170_30	759.733	1555.768	2315.502	2	57	59	13.917	0.000*	0.32811
CD_90_45	1123.946	3735.551	4859.497	2	57	59	8.575	0.001*	0.23129
CD_115_45	357.883	1985.290	2343.173	2	57	59	5.138	0.009*	0.15273
CD_130_45	595.580	2339.202	2934.782	2	57	59	7.256	0.002*	0.20294
CD_150_45	115.094	1534.275	1649.369	2	57	59	2.138	0.127	0.06978
CD_170_45	263.059	1933.745	2196.804	2	57	59	3.877	0.026*	0.11975
CD_90_60	1559.365	3002.196	4561.561	2	57	59	14.803	0.000*	0.34185

CD_115_60	333.125	2106.605	2439.730	2	57	59	4.507	0.015*	0.13654
CD_130_60	2345.387	5544.249	7889.637	2	57	59	12.056	0.000*	0.29727
CD_150_60	301.816	1719.306	2021.122	2	57	59	5.003	0.010*	0.14933
CD_170_60	252.941	1660.871	1913.812	2	57	59	4.340	0.018*	0.13217
CD_90_90	2591.797	7650.712	10242.509	2	57	59	9.655	0.000*	0.25304
CD_115_90	409.884	1593.244	2003.128	2	57	59	7.332	0.001*	0.20462
CD_130_90	3214.065	3752.088	6966.153	2	57	59	24.413	0.000*	0.46138
CD_150_90	221.775	1222.018	1443.793	2	57	59	5.172	0.009*	0.15361
CD_170_90	311.102	1303.398	1614.500	2	57	59	6.803	0.002*	0.19269
CD_90_180	298.556	8499.047	8797.604	2	57	59	1.001	0.374	0.03394
CD_115_180	507.744	4774.064	5281.809	2	57	59	3.031	0.056	0.09613
CD_130_180	1826.097	2943.031	4769.128	2	57	59	17.684	0.000*	0.38290
CD_150_180	228.998	3627.828	3856.826	2	57	59	1.799	0.175	0.05937
CD_170_180	481.509	2225.098	2706.607	2	57	59	6.167	0.004*	0.17790

*Potvrđena statistička značajna razlika pri $p < 0.05$

Tabela III.63 – Brown-Forsythe test - podgrupe po rezoluciji skeniranja - paralelno (MD) i poprečno (CD) savijeni uzorci – distribucija oštećenja

Brown-Forsythe									
Uzorci	Statistika ^a	df1	df2	Veličina značajnosti	Uzorci	Statistika ^a	df1	df2	Veličina značajnosti
MD_90_0	.458	2	56.025	.635	CD_90_0	1.637	2	54.513	.204
MD_115_0	.351	2	48.398	.706	CD_115_0	.473	2	54.103	.625
MD_130_0	.866	2	53.393	.426	CD_130_0	1.082	2	53.295	.346
MD_150_0	.093	2	56.794	.911	CD_150_0	.396	2	54.282	.675
MD_170_0	1.534	2	55.072	.225	CD_170_0	.349	2	56.374	.707
MD_90_15	5.199	2	53.819	.009	CD_90_15	2.073	2	43.268	.138
MD_115_15	17.961	2	46.811	.000	CD_115_15	.856	2	45.071	.432
MD_130_15	6.955	2	49.032	.002	CD_130_15	3.468	2	36.366	.042
MD_150_15	5.022	2	55.286	.010	CD_150_15	10.492	2	56.149	.000
MD_170_15	2.270	2	54.698	.113	CD_170_15	9.635	2	54.216	.000
MD_90_30	11.233	2	56.405	.000	CD_90_30	4.270	2	48.768	.020
MD_115_30	17.859	2	51.079	.000	CD_115_30	7.278	2	52.584	.002
MD_130_30	5.678	2	52.789	.006	CD_130_30	10.991	2	36.236	.000
MD_150_30	.875	2	51.201	.423	CD_150_30	9.195	2	55.257	.000
MD_170_30	3.608	2	56.559	.034	CD_170_30	13.917	2	53.013	.000
MD_90_45	8.849	2	50.294	.001	CD_90_45	8.575	2	51.865	.001
MD_115_45	12.454	2	53.250	.000	CD_115_45	5.138	2	50.670	.009
MD_130_45	17.399	2	55.940	.000	CD_130_45	7.256	2	45.681	.002
MD_150_45	.757	2	54.692	.474	CD_150_45	2.138	2	55.678	.127
MD_170_45	3.027	2	52.708	.057	CD_170_45	3.877	2	56.936	.026
MD_90_60	5.098	2	45.173	.010	CD_90_60	14.803	2	35.378	.000
MD_115_60	11.846	2	42.896	.000	CD_115_60	4.507	2	50.757	.016
MD_130_60	21.052	2	51.376	.000	CD_130_60	12.056	2	29.408	.000
MD_150_60	10.533	2	55.756	.000	CD_150_60	5.003	2	52.974	.010
MD_170_60	.410	2	53.637	.666	CD_170_60	4.340	2	56.248	.018
MD_90_90	14.242	2	43.849	.000	CD_90_90	9.655	2	37.728	.000
MD_115_90	8.939	2	54.475	.000	CD_115_90	7.332	2	49.136	.002
MD_130_90	15.104	2	55.526	.000	CD_130_90	24.413	2	41.639	.000
MD_150_90	10.998	2	48.219	.000	CD_150_90	5.172	2	46.394	.009
MD_170_90	.937	2	44.333	.399	CD_170_90	6.803	2	53.043	.002
MD_90_180	5.111	2	50.704	.010	CD_90_180	1.001	2	51.948	.374
MD_115_180	1.576	2	56.028	.216	CD_115_180	3.031	2	56.354	.056
MD_130_180	3.372	2	51.222	.042	CD_130_180	17.684	2	53.954	.000
MD_150_180	2.188	2	41.178	.125	CD_150_180	1.799	2	54.982	.175
MD_170_180	3.048	2	54.735	.056	CD_170_180	6.167	2	55.375	.004

Tabela III.64 - Rezultati naknadnog testa (Dunett's T3) statističke značajnosti razlika između svakog para grupa uzoraka za sve gramature, paralelno savijenih i fotografisanih sa različitim unutrašnjim uglovima postavljanja – distribucija oštećenja

Zavisna promenljiva (I)	Uglovi (J)	Srednja razlika (I-J)	Veličina značajnosti	95% Interval poverenja	
				Donja granica	Gornja granica
MD_90_0					
30 cm	21 cm	1.050000	0.742	-1.825485	3.925485
	12 cm	0.650000	0.912	-2.103701	3.403701
21 cm	12 cm	-0.400000	0.974	-3.054062	2.254062
MD_115_0					
30 cm	21 cm	0.600000	0.841	-1.428403	2.628403
	12 cm	0.750000	0.858	-1.893282	3.393282
21 cm	12 cm	0.150000	0.998	-2.265033	2.565033
MD_130_0					
30 cm	21 cm	0.850000	0.731	-1.435146	3.135146
	12 cm	-0.450000	0.965	-3.134872	2.234872
21 cm	12 cm	-1.300000	0.495	-3.832165	1.232165
MD_150_0					
30 cm	21 cm	-0.300000	0.985	-2.720957	2.120957
	12 cm	-0.400000	0.967	-2.833617	2.033617
21 cm	12 cm	-0.100000	0.999	-2.450552	2.250552
MD_170_0					
30 cm	21 cm	1.500000	0.271	-0.732116	3.732116
	12 cm	1.350000	0.453	-1.144053	3.844053
21 cm	12 cm	-0.150000	0.998	-2.479197	2.179197
MD_90_15					
30 cm	21 cm	1.845785	0.956	-8.293926	11.985496

	12 cm	-10.267040	0.067	-21.087555	0.553475
21 cm	12 cm	-12,1128250	0.007	-21.429930	-2.795720
MD_115_15					
30 cm	21 cm	16,3919450	0.000	10.523360	22.260530
	12 cm	5,227465	0.204	-1.924231	12.379161
21 cm	12 cm	-11,1644800	0.003	-19.042434	-3.286526
MD_130_15					
30 cm	21 cm	9,3501250	0.003	2.751986	15.948264
	12 cm	-0,861605	0.989	-8.519086	6.795876
21 cm	12 cm	-10,2117300	0.014	-18.678444	-1.745016
MD_150_15					
30 cm	21 cm	-0.624300	0.983	-5.409988	4.161388
	12 cm	4,7287950	0.049	0.012870	9.444720
21 cm	12 cm	5,3530950	0.011	1.040530	9.665660
MD_170_15					
30 cm	21 cm	-0.110800	1.000	-5.418426	5.196826
	12 cm	3,636240	0.208	-1.340559	8.613039
21 cm	12 cm	3,747040	0.149	-0.938998	8.433078
MD_90_30					
30 cm	21 cm	-5,653425	0.346	-14.865964	3.559114
	12 cm	-16,6304800	0.000	-25.374460	-7.886500
21 cm	12 cm	-10,9770550	0.010	-19.707444	-2.246666
MD_115_30					
30 cm	21 cm	13,9965850	0.000	7.237632	20.755538
	12 cm	2,436735	0.609	-3.028515	7.901985
21 cm	12 cm	-11,5598500	0.000	-18.042528	-5.077172
MD_130_30					
30 cm	21 cm	6,6174950	0.034	0.404130	12.830860
	12 cm	-0,276285	0.999	-5.487819	4.935249
21 cm	12 cm	-6,8937800	0.018	-12.790510	-0.997050
MD_150_30					
30 cm	21 cm	-3.136635	0.597	-10.053958	3.780688
	12 cm	-2,471785	0.633	-8.220654	3.277084
21 cm	12 cm	0,664850	0.989	-5.371364	6.701064
MD_170_30					
30 cm	21 cm	-0.001445	1.000	-5.172664	5.169774
	12 cm	4,787880	0.083	-0.460179	10.035939
21 cm	12 cm	4,789325	0.062	-0.186817	9.765467
MD_90_45					
30 cm	21 cm	-3,655130	0.684	-12.782986	5.472726
	12 cm	-13,5524950	0.001	-22.096825	-5.008165
21 cm	12 cm	-9,8973650	0.005	-17.151194	-2.643536
MD_115_45					
30 cm	21 cm	11,6196000	0.001	4.349417	18.889783
	12 cm	-0,238040	1.000	-6.403147	5.927067
21 cm	12 cm	-11,8576400	0.000	-18.737813	-4.977467
MD_130_45					
30 cm	21 cm	9,9933150	0.000	4.944374	15.042256
	12 cm	0,221155	0.999	-4.531294	4.973604
21 cm	12 cm	-9,7721600	0.000	-14.442872	-5.101448
MD_150_45					
30 cm	21 cm	1,606875	0.863	-4.149721	7.363471
	12 cm	2,740545	0.566	-3.078130	8.559220
21 cm	12 cm	1,133670	0.927	-4.026579	6.293919
MD_170_45					
30 cm	21 cm	1,510520	0.746	-2.651451	5.672491
	12 cm	3,7368250	0.035	0.207340	7.266310
21 cm	12 cm	2,226305	0.369	-1.515398	5.968008
MD_90_60					
30 cm	21 cm	1,940065	0.938	-7.545460	11.425590
	12 cm	-8,711420	0.099	-18.625705	1.202865
21 cm	12 cm	-10,6514850	0.002	-17.774261	-3.528709
MD_115_60					
30 cm	21 cm	12,0295000	0.001	4.540077	19.518923
	12 cm	1,326725	0.893	-3.882947	6.536397
21 cm	12 cm	-10,7027750	0.003	-18.199865	-3.205685
MD_130_60					
30 cm	21 cm	14,0620200	0.000	7.973971	20.150069
	12 cm	2,354175	0.579	-2.716009	7.424359
21 cm	12 cm	-11,7078450	0.000	-17.901980	-5.513710
MD_150_60					
30 cm	21 cm	8,1386100	0.001	3.100221	13.176999
	12 cm	0,160220	1.000	-4.674694	4.995134
21 cm	12 cm	-7,9783900	0.002	-13.271461	-2.685319
MD_170_60					
30 cm	21 cm	-0,757140	0.985	-6.830330	5.316050
	12 cm	1,295250	0.899	-3.911098	6.501598
21 cm	12 cm	2,052390	0.764	-3.812917	7.917697
MD_90_90					
30 cm	21 cm	7,4028300	0.013	1.389934	13.415726
	12 cm	-5,978885	0.140	-13.336020	1.378250
21 cm	12 cm	-13,3817150	0.000	-18.880981	-7.882449
MD_115_90					
30 cm	21 cm	10,4693150	0.001	4.192150	16.746480
	12 cm	0,985665	0.980	-6.117039	8.088369

21 cm	12 cm	-9,4836500	0.006	-16.551587	-2.415713
MD_130_90					
30 cm	21 cm	12,5090400	0.000	6.170929	18.847151
	12 cm	2.385620	0.688	-3.606481	8.377721
21 cm	12 cm	-10,1234200	0.000	-15.869557	-4.377283
MD_150_90					
30 cm	21 cm	10,6214150	0.001	4.140187	17.102643
	12 cm	3.838815	0.257	-1.807502	9.485132
21 cm	12 cm	-6,7826000	0.006	-11.831738	-1.733462
MD_170_90					
30 cm	21 cm	-2.540510	0.768	-9.835513	4.754493
	12 cm	-3.279320	0.461	-9.489306	2.930666
21 cm	12 cm	-0.738810	0.979	-6.077959	4.600339
MD_90_180					
30 cm	21 cm	-6.753210	0.057	-13.667891	0.161471
	12 cm	-6,9853800	0.014	-12.775389	-1.195371
21 cm	12 cm	-0.232170	0.999	-6.114867	5.650527
MD_115_180					
30 cm	21 cm	2.699305	0.726	-4.499884	9.898494
	12 cm	5.306590	0.260	-2.471873	13.085053
21 cm	12 cm	2.607285	0.760	-4.775530	9.990100
MD_130_180					
30 cm	21 cm	-3.255310	0.536	-9.909690	3.399070
	12 cm	-6,3716500	0.047	-12.672909	-0.070391
21 cm	12 cm	-3.116340	0.396	-8.507382	2.274702
MD_150_180					
30 cm	21 cm	-1.438755	0.852	-6.475643	3.598133
	12 cm	-3.724225	0.188	-8.698654	1.250204
21 cm	12 cm	-2.285470	0.262	-5.642494	1.071554
MD_170_180					
30 cm	21 cm	1.226205	0.870	-3.244411	5.696821
	12 cm	-2.811605	0.247	-6.867436	1.244226
21 cm	12 cm	-4,0378100	0.049	-8.056562	-0.019058

Tabela III.65 - Rezultati naknadnog testa (Dunett T3) statističke značajnosti razlika između svakog para grupa uzoraka za sve gramature, porpčno savijenih i fotografisanih sa različitim unutrašnjim uglovima postavljanja – distribucija oštećenja

Zavisna promenljiva (I)	Uglovi (J)	Srednja razlika (I-J)	Veličina značajnosti	95% Interval poverenja	
				Donja granica	Gornja granica
CD_90_0					
30 cm	21 cm	-2.968750	0.234	-7.180315	1.242815
	12 cm	-1.093750	0.897	-5.462741	3.275241
21 cm	12 cm	1.875000	0.536	-1.955747	5.705747
CD_115_0					
30 cm	21 cm	-1.328125	0.778	-5.211530	2.555280
	12 cm	-0.234375	0.998	-3.881330	3.412580
21 cm	12 cm	1.093750	0.803	-2.274798	4.462298
CD_130_0					
30 cm	21 cm	-0.546875	0.965	-3.787581	2.693831
	12 cm	1.484375	0.704	-2.333079	5.301829
21 cm	12 cm	2.031250	0.422	-1.597511	5.660011
CD_150_0					
30 cm	21 cm	0.000000	1.000	-3.246419	3.246419
	12 cm	1.093750	0.843	-2.612032	4.799532
21 cm	12 cm	1.093750	0.837	-2.560088	4.747588
CD_170_0					
30 cm	21 cm	-0.546875	0.981	-4.550008	3.456258
	12 cm	-1.328125	0.772	-5.171090	2.514840
21 cm	12 cm	-0.781250	0.951	-4.880415	3.317915
CD_90_15					
30 cm	21 cm	-2.391440	0.809	-9.851997	5.069117
	12 cm	-5.149430	0.095	-10.983195	0.684335
21 cm	12 cm	-2.757990	0.536	-8.496969	2.980989
CD_115_15					
30 cm	21 cm	1.541430	0.800	-3.230303	6.313163
	12 cm	-0.734200	0.938	-4.278142	2.809742
21 cm	12 cm	-2.275630	0.579	-7.209570	2.658310
CD_130_15					
30 cm	21 cm	5.741680	0.087	-0.638048	12.121408
	12 cm	2.036005	0.456	-1.741548	5.813558
21 cm	12 cm	-3.705675	0.363	-9.944866	2.533516
CD_150_15					
30 cm	21 cm	-0.767620	0.920	-4.132966	2.597726
	12 cm	5,1216900	0.002	1.655474	8.587906
21 cm	12 cm	5,8893100	0.001	2.265730	9.512890
CD_170_15					
30 cm	21 cm	-7,1472650	0.001	-11.474318	-2.820212
	12 cm	-3.056135	0.199	-7.187743	1.075473
21 cm	12 cm	4,0911300	0.029	0.330257	7.852003
CD_90_30					
30 cm	21 cm	-4.963525	0.235	-12.003839	2.076789
	12 cm	-7,1186900	0.009	-12.675956	-1.561424
21 cm	12 cm	-2.155165	0.756	-8.268896	3.958566
CD_115_30					
30 cm	21 cm	-2.030165	0.663	-6.941125	2.880795

	12 cm	-6,7429950"	0.001	-10.852144	-2.633846
21 cm	12 cm	-4,7128300"	0.040	-9.257954	-0.167706
CD_130_30					
30 cm	21 cm	9,3749050"	0.001	3.458486	15.291324
	12 cm	2,745115	0.161	-0.753052	6.243282
21 cm	12 cm	-6,6297900"	0.022	-12.458351	-0.801229
CD_150_30					
30 cm	21 cm	-1.849735	0.406	-5.084954	1.385484
	12 cm	3,3705000"	0.029	0.273031	6.467969
21 cm	12 cm	5,2202350"	0.000	2.320346	8.120124
CD_170_30					
30 cm	21 cm	-6,8712450"	0.001	-11.158923	-2.583567
	12 cm	1.208675	0.866	-3.154536	5.571886
21 cm	12 cm	8,0799200"	0.000	4.378362	11.781478
CD_90_45					
30 cm	21 cm	-6.661945	0.067	-13.680820	0.356930
	12 cm	-10,4730900"	0.000	-16.302011	-4.644169
21 cm	12 cm	-3.811145	0.356	-10.120401	2.498111
CD_115_45					
30 cm	21 cm	-0.124705	1.000	-4.976118	4.726708
	12 cm	-5,2420750"	0.008	-9.291664	-1.192486
21 cm	12 cm	-5,1173700"	0.046	-10.166934	-0.067806
CD_130_45					
30 cm	21 cm	7,0658400"	0.011	1.363757	12.767923
	12 cm	0.845185	0.940	-3.291739	4.982109
21 cm	12 cm	-6,2206550"	0.018	-11.518088	-0.923222
CD_150_45					
30 cm	21 cm	-2.726330	0.306	-6.963662	1.511002
	12 cm	0.385370	0.994	-3.781924	4.552664
21 cm	12 cm	3.111700	0.146	-0.753863	6.977263
CD_170_45					
30 cm	21 cm	-1.807900	0.698	-6.409350	2.793550
	12 cm	3.252740	0.223	-1.287794	7.793274
21 cm	12 cm	5,0606400"	0.029	0.426931	9.694349
CD_90_60					
30 cm	21 cm	-5.304380	0.135	-11.822412	1.213652
	12 cm	-12,4424950"	0.000	-19.090944	-5.794046
21 cm	12 cm	-7,1381150"	0.000	-10.972533	-3.303697
CD_115_60					
30 cm	21 cm	3.766475	0.235	-1.578338	9.111288
	12 cm	-1.904195	0.629	-6.315603	2.507213
21 cm	12 cm	-5,6706700"	0.013	-10.308742	-1.032598
CD_130_60					
30 cm	21 cm	14,0455050"	0.002	4.880099	23.210911
	12 cm	1.736270	0.691	-2.640584	6.113124
21 cm	12 cm	-12,3092350"	0.007	-21.628618	-2.989852
CD_150_60					
30 cm	21 cm	-5,3208650"	0.023	-10.045723	-0.596007
	12 cm	-1.476160	0.764	-5.697723	2.745403
21 cm	12 cm	3.844705	0.067	-0.205285	7.894695
CD_170_60					
30 cm	21 cm	2.865595	0.282	-1.456671	7.187861
	12 cm	5,0121650"	0.020	0.647702	9.376628
21 cm	12 cm	2.146570	0.477	-1.933337	6.226477
CD_90_90					
30 cm	21 cm	-4.398775	0.693	-15.524776	6.727226
	12 cm	-15,6110550"	0.001	-24.626962	-6.595148
21 cm	12 cm	-11,2122800"	0.003	-18.695615	-3.728945
CD_115_90					
30 cm	21 cm	1.031095	0.928	-3.687104	5.749294
	12 cm	-4,9565550"	0.008	-8.797993	-1.115117
21 cm	12 cm	-5,9876500"	0.002	-9.955162	-2.020138
CD_130_90					
30 cm	21 cm	16,1488400"	0.000	8.896360	23.401320
	12 cm	1.331565	0.869	-3.521037	6.184167
21 cm	12 cm	-14,8172750"	0.000	-21.826403	-7.808147
CD_150_90					
30 cm	21 cm	-1.411755	0.755	-5.399009	2.575499
	12 cm	3,1849200"	0.032	0.214962	6.154878
21 cm	12 cm	4,5966750"	0.019	0.625078	8.568272
CD_170_90					
30 cm	21 cm	-3,6683800"	0.031	-7.071983	-0.264777
	12 cm	1.804475	0.605	-2.225552	5.834502
21 cm	12 cm	5,4728550"	0.004	1.598774	9.346936
CD_90_180					
30 cm	21 cm	4.463675	0.568	-5.070276	13.997626
	12 cm	-0.497345	0.999	-9.284268	8.289578
21 cm	12 cm	-4.961020	0.570	-15.534786	5.612746
CD_115_180					
30 cm	21 cm	-3.532125	0.546	-10.838002	3.773752
	12 cm	-7.125530	0.062	-14.522122	0.271062
21 cm	12 cm	-3.593405	0.491	-10.535818	3.349008
CD_130_180					
30 cm	21 cm	-8,9812450"	0.002	-15.038726	-2.923764
	12 cm	-13,2347750"	0.000	-18.941888	-7.527662

21 cm	12 cm	-4.253530	0.140	-9.484564	0.977504
CD_150_180					
30 cm	21 cm	-4.272345	0.306	-10.908251	2.363561
	12 cm	-4.003030	0.264	-9.899352	1.893292
21 cm	12 cm	0.269315	0.999	-6.067417	6.606047
CD_170_180					
30 cm	21 cm	-6.9312900	0.002	-11.564555	-2.298025
	12 cm	-3.750355	0.190	-8.749544	1.248834
21 cm	12 cm	3.180935	0.339	-1.963339	8.325209

Tabela III.66 - Test homogenosti varijanse podgrupa s obzirom na uglove postavljanja uzoraka pri fotografisanju - paralelno (MD) i poprečno (CD) savijeni uzorci - distribucija oštećenja

Uzorci	Leveneova statistika	df1	df2	Veličina značajnosti	Uzorci	Leveneova statistika	df1	df2	Veličina značajnosti
MD_90_30 cm	4.696	6	133	.000	CD_90_30 cm	7.574	6	133	.000
MD_115_30 cm	3.622	6	133	.002	CD_115_30 cm	1.397	6	133	.220*
MD_130_30 cm	3.613	6	133	.002	CD_130_30 cm	5.741	6	133	.000
MD_150_30 cm	2.318	6	133	.037	CD_150_30 cm	2.697	6	133	.017
MD_170_30 cm	3.624	6	133	.002	CD_170_30 cm	.763	6	133	.600*
MD_90_21 cm	6.077	6	133	.000	CD_90_21 cm	10.189	6	133	.000
MD_115_21 cm	5.046	6	133	.000	CD_115_21 cm	3.759	6	133	.002
MD_130_21 cm	3.356	6	133	.004	CD_130_21 cm	2.707	6	133	.016
MD_150_21 cm	3.137	6	133	.007	CD_150_21 cm	2.059	6	133	.062*
MD_170_21 cm	3.503	6	133	.003	CD_170_21 cm	1.166	6	133	.329*
MD_90_12 cm	6.641	6	133	.000	CD_90_12 cm	4.095	6	133	.001
MD_115_12 cm	4.020	6	133	.001	CD_115_12 cm	3.523	6	133	.003
MD_130_12 cm	2.892	6	133	.011	CD_130_12 cm	2.156	6	133	.051*
MD_150_12 cm	2.972	6	133	.009	CD_150_12 cm	4.047	6	133	.001
MD_170_12 cm	2.638	6	133	.019	CD_170_12 cm	.451	6	133	.843*

*Potvrđena homogenost varijanse grupe

Tabela III.67 – ANOVA - podgrupa s obzirom na uglove postavljanja uzoraka pri fotografisanju - paralelno (MD) i poprečno (CD) savijeni uzorci – distribucija oštećenja

Uzorci	Suma kvadrata			Stepen slobode			F vrednost	Veličina značajnosti	Eta kvadrat
	Između grupa	Unutar grupa	Ukupno	Između grupa	Unutar grupa	Ukupno			
MD_90_30 cm	0.450	1.740	2.190	6	133	139	5.736	0.000*	0.20558
MD_115_30 cm	0.284	0.772	1.055	6	133	139	8.151	0.000*	0.26886
MD_130_30 cm	0.100	0.654	0.754	6	133	139	3.388	0.004*	0.13258
MD_150_30 cm	0.532	0.684	1.215	6	133	139	17.244	0.000*	0.43755
MD_170_30 cm	0.544	0.594	1.138	6	133	139	20.301	0.000*	0.47804
MD_90_21 cm	1.269	1.017	2.286	6	133	139	27.677	0.000*	0.55527
MD_115_21 cm	0.586	1.267	1.852	6	133	139	10.253	0.000*	0.31625
MD_130_21 cm	0.498	0.768	1.266	6	133	139	14.358	0.000*	0.39310
MD_150_21 cm	0.611	0.572	1.183	6	133	139	23.644	0.000*	0.51613
MD_170_21 cm	0.607	0.549	1.156	6	133	139	24.498	0.000*	0.52498
MD_90_12 cm	0.466	1.053	1.519	6	133	139	9.812	0.000*	0.30683
MD_115_12 cm	0.248	0.902	1.150	6	133	139	6.100	0.000*	0.21581
MD_130_12 cm	0.122	0.660	0.782	6	133	139	4.117	0.001*	0.15663
MD_150_12 cm	0.308	0.374	0.683	6	133	139	18.272	0.000*	0.45185
MD_170_12 cm	0.285	0.330	0.615	6	133	139	19.140	0.000*	0.46336
CD_90_30 cm	2.216	1.332	3.548	6	133	139	36.863	0.000*	0.62448
CD_115_30 cm	2.057	0.520	2.577	6	133	139	87.625	0.000*	0.79810
CD_130_30 cm	2.399	0.453	2.852	6	133	139	117.295	0.000*	0.84106
CD_150_30 cm	2.188	0.380	2.568	6	133	139	127.521	0.000*	0.85191
CD_170_30 cm	1.873	0.407	2.280	6	133	139	102.036	0.000*	0.82153
CD_90_21 cm	2.741	1.271	4.012	6	133	139	47.796	0.000*	0.68316
CD_115_21 cm	1.990	0.634	2.624	6	133	139	69.632	0.000*	0.75853
CD_130_21 cm	1.653	1.305	2.958	6	133	139	28.095	0.000*	0.55897
CD_150_21 cm	1.833	0.428	2.261	6	133	139	94.971	0.000*	0.81076
CD_170_21 cm	1.515	0.362	1.877	6	133	139	92.748	0.000*	0.80710
CD_90_12 cm	1.837	0.563	2.400	6	133	139	72.336	0.000*	0.76544
CD_115_12 cm	1.504	0.380	1.884	6	133	139	87.657	0.000*	0.79816
CD_130_12 cm	0.832	0.388	1.220	6	133	139	47.530	0.000*	0.68195
CD_150_12 cm	1.533	0.315	1.848	6	133	139	107.869	0.000*	0.82953
CD_170_12 cm	1.563	0.396	1.959	6	133	139	87.437	0.000*	0.79776

*Potvrđena statistička značajna razlika pri $p < 0.05$

Tabela III.68 – Brown-Forsythe test - obzirom na uglove postavljanja uzoraka pri fotografisanju - paralelno (MD) i poprečno (CD) savijeni uzorci – distribucija oštećenja

Brown-Forsythe									
Uzorci	Statistika ^a	df1	df2	Veličina značajnosti	Uzorci	Statistika ^a	df1	df2	Veličina značajnosti
MD_90_30 cm	5.736	6	104.207	.000	CD_90_30 cm	47.796	6	93.849	.000
MD_115_30 cm	8.151	6	97.782	.000	CD_115_30 cm	69.632	6	120.510	.000
MD_130_30 cm	3.388	6	109.884	.004	CD_130_30 cm	28.095	6	94.674	.000
MD_150_30 cm	17.244	6	112.080	.000	CD_150_30 cm	94.971	6	94.279	.000
MD_170_30 cm	20.301	6	98.399	.000	CD_170_30 cm	92.748	6	125.189	.000
MD_90_21 cm	27.677	6	101.466	.000	CD_90_21 cm	72.336	6	57.466	.000
MD_115_21 cm	10.253	6	111.683	.000	CD_115_21 cm	87.657	6	84.892	.000
MD_130_21 cm	14.358	6	107.811	.000	CD_130_21 cm	47.530	6	115.387	.000
MD_150_21 cm	23.644	6	106.534	.000	CD_150_21 cm	107.869	6	107.623	.000

MD_170_21 cm	24.498	6	105.397	.000	CD_170_21 cm	87.437	6	122.725	.000
MD_90_12 cm	9.812	6	98.313	.000	CD_90_12 cm	36.863	6	98.356	.000
MD_115_12 cm	6.100	6	102.273	.000	CD_115_12 cm	87.625	6	95.482	.000
MD_130_12 cm	4.117	6	84.749	.001	CD_130_12 cm	117.295	6	109.918	.000
MD_150_12 cm	18.272	6	112.852	.000	CD_150_12 cm	127.521	6	100.989	.000
MD_170_12 cm	19.140	6	110.662	.000	CD_170_12 cm	102.036	6	128.127	.000

Tabela III.69 – Rezultati naknadnog testa (Dunett T3) statističke značajnosti razlika između svakog para grupa uzoraka za sve gramature, paralelno savijenih i fotografisanih sa 30 cm - distribucija oštećenja

Zavisna promenljiva (I)	Uglovi (J)	Srednja razlika (I-J)	Veličina značajnosti	95% Interval poverenja	
				Donja granica	Gornja granica
MD_90_30 cm					
0°	15°	9.658070	0.153	-1.766040	21.082180
	30°	8.900005	0.067	-0.356254	18.156264
	45°	13.1526950	0.004	3.050871	23.254519
	60°	16.4914000	0.002	4.988530	27.994270
	90°	16.8838700	0.000	9.041600	24.726140
15°	180°	17.0917000	0.000	11.736863	22.446537
	30°	-0.758065	1.000	-14.308268	12.792138
	45°	3.494625	1.000	-10.555610	17.544860
	60°	6.833330	0.943	-8.125202	21.791862
	90°	7.225800	0.749	-5.581343	20.032943
30°	180°	7.433630	0.561	-4.386608	19.253868
	45°	4.252690	0.997	-8.298033	16.803413
	60°	7.591395	0.772	-6.020479	21.203269
	90°	7.983865	0.375	-3.056404	19.024134
	180°	8.191695	0.171	-1.584690	17.968080
45°	60°	3.338705	1.000	-10.769946	17.447356
	90°	3.731175	0.999	-7.978075	15.440425
	180°	3.939005	0.988	-6.626946	14.504956
60°	90°	0.392470	1.000	-12.481739	13.266679
	180°	0.600300	1.000	-11.295241	12.495841
90°	180°	0.207830	1.000	-8.280710	8.696370
MD_115_30 cm					
0°	15°	-7.6091400	0.000	-12.526535	-2.691745
	30°	-7.0768750	0.010	-12.997883	-1.155867
	45°	-3.759685	0.708	-10.429941	2.910571
	60°	1.530645	0.999	-3.829854	6.891144
	90°	3.691935	0.678	-2.702702	10.086572
	180°	8.9614000	0.002	2.427943	15.494857
15°	30°	0.532265	1.000	-6.334903	7.399433
	45°	3.849455	0.855	-3.636834	11.335744
	60°	9.1397850	0.001	2.712588	15.566982
	90°	11.3010750	0.000	4.046134	18.556016
30°	180°	16.5705400	0.000	9.199560	23.941520
	45°	3.317190	0.978	-4.754520	11.388900
	60°	8.6075200	0.008	1.461503	15.753537
	90°	10.7688100	0.002	2.902853	18.634767
45°	180°	16.0382750	0.000	8.069336	24.007214
	60°	5.290330	0.462	-2.442303	13.022963
	90°	7.451620	0.122	-0.928217	15.831457
60°	180°	12.7210850	0.000	4.247503	21.194667
	90°	2.161290	1.000	-5.351369	9.673949
	180°	7.430755	0.062	-0.192131	15.053641
90°	180°	5.269465	0.585	-3.013328	13.552258
MD_130_30 cm					
0°	15°	-4.270965	0.272	-9.852210	1.310280
	30°	-3.631175	0.556	-9.382099	2.119749
	45°	-4.029025	0.291	-9.365392	1.307342
	60°	-1.921505	0.988	-7.086044	3.243034
	90°	1.503220	1.000	-5.145084	8.151524
	180°	9.8290000	0.001	3.452358	16.205642
15°	30°	0.639790	1.000	-6.471941	7.751521
	45°	0.241940	1.000	-6.574620	7.058500
	60°	2.349460	0.996	-4.349243	9.048163
	90°	5.774185	0.338	-2.021452	13.569822
30°	180°	14.099650	0.000	6.517155	21.682775
	45°	-0.397850	1.000	-7.341599	6.545899
	60°	1.709670	1.000	-5.119528	8.538868
	90°	5.134395	0.548	-2.765554	13.034344
45°	180°	13.4601750	0.000	5.768692	21.151658
	60°	2.107520	0.998	-4.406796	8.621836
	90°	5.532245	0.373	-2.117642	13.182132
60°	180°	13.8580250	0.000	6.427316	21.288734
	90°	3.424725	0.943	-4.126403	10.975853
90°	180°	11.7505050	0.000	4.423036	19.077974
		8.3257800	0.049	0.019378	16.632182
MD_150_30 cm					
0°	15°	-16.8161400	0.000	-22.181458	-11.450822
	30°	-12.4666600	0.000	-19.241007	-5.692313
	45°	-12.2731200	0.000	-18.726825	-5.819415
	60°	-11.1494650	0.000	-15.989004	-6.309926
	90°	-11.8698850	0.000	-18.870351	-4.869419

	180°	0.404295	1.000	-5.861191	6.669781
15°	30°	4.349480	0.763	-3.405147	12.104107
	45°	4.543020	0.657	-2.951209	12.037249
	60°	5.666675	0.112	-0.625585	11.958935
	90°	4.946255	0.611	-2.995323	12.887833
	180°	17.2204350	0.000	9.876260	24.564610
30°	45°	0.193540	1.000	-8.242223	8.629303
	60°	1.317195	1.000	-6.148517	8.782907
	90°	0.596775	1.000	-8.217434	9.410984
	180°	12.8709550	0.000	4.560243	21.181667
45°	60°	1.123655	1.000	-6.065704	8.313014
	90°	0.403235	1.000	-8.197797	9.004267
	180°	12.6774150	0.000	4.600346	20.754484
60°	90°	-0.720420	1.000	-8.383650	6.942810
	180°	11.5537600	0.000	4.524373	18.583147
90°	180°	12.2741800	0.001	3.794530	20.753830
MD_170_30 cm					
0°	15°	-16.2510800	0.000	-21.964769	-10.537391
	30°	-15.8962400	0.000	-21.495283	-10.297197
	45°	-14.0683000	0.000	-18.387508	-9.749092
	60°	-8.1381750	0.001	-13.754017	-2.522333
	90°	-6.579045	0.168	-14.481205	1.323115
	180°	-1.337100	1.000	-6.106749	3.432549
15°	30°	0.354840	1.000	-6.762858	7.472538
	45°	2.182780	0.996	-4.119660	8.485220
	60°	8.1129050	0.015	0.983443	15.242367
	90°	9.6720350	0.024	0.759944	18.584126
30°	180°	14.9139800	0.000	8.344282	21.483678
	45°	1.827940	0.999	-4.375515	8.031395
	60°	7.7580650	0.021	0.710569	14.805561
	90°	9.3171950	0.032	0.463502	18.170888
45°	180°	14.5591400	0.000	8.082338	21.035942
	60°	5.930125	0.073	-0.287791	12.148041
	90°	7.489255	0.106	-0.798109	15.776619
60°	180°	12.7312000	0.000	7.220391	18.242009
	90°	1.559130	1.000	-7.303044	10.421304
90°	180°	6.8010750	0.033	0.310716	13.291434
	180°	5.241945	0.604	-3.226373	13.710263

Tabela III.70 – Rezultati naknadnog testa (Dunett T3) statističke značajnosti razlika između svakog para grupa uzoraka za sve gramature, porpene savijeni i fotografisanih sa 30 cm - distribucija oštećenja

Zavisna promenljiva (I)	Uglovi (J)	Srednja razlika (I-J)	Veličina značajnosti	95% Interval poverenja	
				Donja granica	Gornja granica
CD_90_30 cm					
0°	15°	-0.423120	1.000	-8.237339	7.391099
	30°	1.700520	1.000	-5.277902	8.678942
	45°	5.420965	0.261	-1.574628	12.416558
	60°	12.9854850	0.001	4.471421	21.499549
	90°	17.6306400	0.001	5.547929	29.713351
	180°	21.7973100	0.000	14.103220	29.491400
15°	30°	2.123640	1.000	-7.051378	11.298658
	45°	5.844085	0.584	-3.342339	15.030509
	60°	13.4086050	0.003	3.138254	23.678956
	90°	18.0537600	0.002	4.830141	31.277379
30°	180°	22.2204300	0.000	12.552937	31.887923
	45°	3.720445	0.962	-4.827959	12.268849
	60°	11.2849650	0.012	1.546623	21.023307
	90°	15.9301200	0.007	3.064816	28.795424
45°	180°	20.0967900	0.000	11.016071	29.177509
	60°	7.564520	0.270	-2.184252	17.313292
	90°	12.209675	0.075	-0.662534	25.081884
	180°	16.3763450	0.000	7.284042	25.468648
60°	90°	4.645155	0.996	-8.912646	18.202956
	180°	8.811825	0.147	-1.379121	19.002771
90°	180°	4.166670	0.998	-9.002678	17.336018
CD_115_30 cm					
0°	15°	-1.988795	0.914	-6.119520	2.141930
	30°	0.414430	1.000	-4.644876	5.473736
	45°	2.989695	0.504	-1.491470	7.470860
	60°	4.527315	0.209	-1.059617	10.114247
	90°	10.6025900	0.000	5.465178	15.740002
	180°	24.2531300	0.000	16.367727	32.138533
15°	30°	2.403225	0.928	-2.748716	7.555166
	45°	4.9784900	0.024	0.386729	9.570251
	60°	6.5161100	0.014	0.849003	12.183217
	90°	12.5913850	0.000	7.363387	17.819383
30°	180°	26.2419250	0.000	18.307330	34.176520
	45°	2.575265	0.919	-2.834433	7.984963
	60°	4.112885	0.540	-2.179609	10.405379
	90°	10.1881600	0.000	4.265551	16.110769
45°	180°	23.8387000	0.000	15.506373	32.171027
	60°	1.537620	1.000	-4.354694	7.429934
	90°	7.6128950	0.001	2.132422	13.093368

	180°	21.2634350	0.000	13.188671	29.338199
60°	90°	6.075275	0.072	-0.273751	12.424301
	180°	19.7258150	0.000	11.130136	28.321494
90°	180°	13.6505400	0.000	5.280906	22.020174
CD_130_30 cm					
0°	15°	-11.8553850	0.000	-16.303723	-7.407047
	30°	-11.4091350	0.000	-15.552957	-7.265313
	45°	-11.3069950	0.000	-16.297391	-6.316599
	60°	-9.1403150	0.000	-13.507151	-4.773479
	90°	-5.000545	0.099	-10.481582	0.480492
15°	180°	24.0209700	0.000	17.434165	30.607775
	30°	0.446250	1.000	-4.556283	5.448783
	45°	0.548390	1.000	-5.124637	6.221417
	60°	2.715070	0.844	-2.457942	7.888082
	90°	6.8548400	0.017	0.768753	12.940927
30°	180°	35.8763550	0.000	28.814373	42.938337
	45°	0.102140	1.000	-5.364814	5.569094
	60°	2.268820	0.940	-2.665613	7.203253
	90°	6.4085900	0.024	0.507108	12.310072
45°	180°	35.4301050	0.000	28.515081	42.345129
	60°	2.166680	0.988	-3.450165	7.783525
	90°	6.306450	0.060	-0.134130	12.747030
60°	180°	35.3279650	0.000	27.978576	42.677354
	90°	4.139770	0.456	-1.895826	10.175366
90°	180°	33.1612850	0.000	26.139683	40.182887
90°	180°	29.0215150	0.000	21.385353	36.657677
CD_150_30 cm					
0°	15°	-15.8628450	0.000	-19.579501	-12.146189
	30°	-15.5832700	0.000	-19.467637	-11.698903
	45°	-12.0080000	0.000	-16.806926	-7.209074
	60°	-7.1908000	0.001	-12.304715	-2.076885
	90°	-7.6262700	0.000	-11.195335	-4.057205
15°	180°	20.5726350	0.000	14.226052	26.919218
	30°	0.279575	1.000	-3.998097	4.557247
	45°	3.854845	0.302	-1.239260	8.948950
	60°	8.6720450	0.000	3.287671	14.056419
30°	90°	8.2365750	0.000	4.227742	12.245408
	180°	36.4354800	0.000	29.887788	42.983172
	45°	3.575270	0.452	-1.625106	8.775646
	60°	8.3924700	0.000	2.910071	13.874869
45°	90°	7.9570000	0.000	3.797653	12.116347
	180°	36.1559050	0.000	29.534327	42.777483
	60°	4.817200	0.244	-1.260813	10.895213
60°	90°	4.381730	0.133	-0.622009	9.385469
	180°	32.5806350	0.000	25.496979	39.664291
	90°	-0.435470	1.000	-5.736764	4.865824
90°	180°	27.7634350	0.000	20.498826	35.028044
90°	180°	28.1989050	0.000	21.713384	34.684426
CD_170_30 cm					
0°	15°	-11.5841050	0.000	-16.618671	-6.549539
	30°	-11.8798000	0.000	-17.091310	-6.668290
	45°	-13.0249650	0.000	-17.948627	-8.101303
	60°	-11.8959350	0.000	-16.886419	-6.905451
	90°	-3.949705	0.080	-8.136441	0.237031
15°	180°	18.9158950	0.000	14.027404	23.804386
	30°	-0.295695	1.000	-6.443396	5.852006
	45°	-1.440860	1.000	-7.367133	4.485413
	60°	-0.311830	1.000	-6.288890	5.665230
30°	90°	7.6344000	0.001	2.239944	13.028856
	180°	30.5000000	0.000	24.600303	36.399697
	45°	-1.145165	1.000	-7.211236	4.920906
	60°	-0.016135	1.000	-6.131257	6.098987
45°	90°	7.9300950	0.001	2.375330	13.484860
	180°	30.7956950	0.000	24.755277	36.836113
	60°	1.129030	1.000	-4.762797	7.020857
60°	90°	9.0752600	0.000	3.780591	14.369929
	180°	31.9408600	0.000	26.128118	37.753602
	90°	7.9462300	0.001	2.591503	13.300957
90°	180°	30.8118300	0.000	24.946814	36.676846
90°	180°	22.8656000	0.000	17.602458	28.128742

Tabela III.71 – Rezultati naknadnog testa (Dunett T3) statističke značajnosti razlika između svakog para grupa uzoraka za sve gramature, paralelno savijenih i fotografisanih sa 21 cm - distribucija oštećenja

Zavisna promenljiva (I)	Uglovi (I)	Srednja razlika (I-J)	Veličina značajnosti	95% Interval poverenja	
				Donja granica	Gornja granica
MD_90_21 cm					
0°	15°	10.4538550	0.008	1.946483	18.961227
	30°	2.196580	1.000	-7.003207	11.396367
	45°	8.4475650	0.033	0.411207	16.483923
	60°	17.3814650	0.000	10.769678	23.993252
	90°	23.2367000	0.000	19.429680	27.043720
15°	180°	11.1624500	0.000	5.784977	16.539923
15°	30°	-8.257275	0.382	-19.717449	3.202899

	45°	-2.006290	1.000	-12.660270	8.647690
	60°	6.927610	0.405	-2.857870	16.713090
	90°	12.7828450	0.001	4.214714	21.350976
	180°	0.708595	1.000	-8.453778	9.870968
30°	45°	6.250985	0.770	-4.912988	17.414958
	60°	15.1848850	0.001	4.824517	25.545253
	90°	21.0401200	0.000	11.785464	30.294776
	180°	8.965870	0.097	-0.825797	18.757537
45°	60°	8.933900	0.076	-0.472070	18.339870
	90°	14.7891350	0.000	6.687255	22.891015
	180°	2.714885	0.999	-6.026567	11.456337
60°	90°	5.855235	0.131	-0.842049	12.552519
	180°	-6.219015	0.191	-13.735550	1.297520
90°	180°	-12.0742500	0.000	-17.566202	-6.582298
MD_115_21 cm					
0°	15°	8.1828050	0.009	1.456515	14.909095
	30°	6.319710	0.151	-1.150153	13.789573
	45°	7.259915	0.080	-0.498039	15.017869
	60°	12.9601450	0.002	4.009202	21.911088
	90°	13.5612500	0.000	7.357639	19.764861
	180°	10.6559000	0.000	4.921674	16.390126
15°	30°	-1.863095	1.000	-11.172691	7.446501
	45°	-0.922890	1.000	-10.444298	8.598518
	60°	4.777340	0.939	-5.668523	15.223203
	90°	5.378445	0.583	-3.066376	13.823266
30°	180°	2.473095	0.999	-5.683250	10.629440
	45°	0.940205	1.000	-9.047328	10.927738
	60°	6.640435	0.644	-4.213859	17.494729
	90°	7.241540	0.224	-1.755110	16.238190
45°	180°	4.336190	0.888	-4.399204	13.071584
	60°	5.700230	0.857	-5.323035	16.723495
	90°	6.301335	0.463	-2.917978	15.520648
60°	180°	3.395985	0.989	-5.571819	12.363789
	90°	0.601105	1.000	-9.583186	10.785396
90°	180°	-2.304245	1.000	-12.272758	7.664268
	180°	-2.905350	0.992	-10.675693	4.864993
MD_130_21 cm					
0°	15°	4.229160	0.702	-3.300295	11.758615
	30°	2.136320	0.997	-4.640244	8.912884
	45°	5.1142900	0.049	0.015545	10.213035
	60°	11.2905150	0.000	4.289034	18.291996
	90°	13.1622600	0.000	7.006426	19.318094
	180°	6.2120500	0.008	1.137922	11.286178
15°	30°	-2.092840	1.000	-11.397326	7.211646
	45°	0.885130	1.000	-7.489131	9.259391
	60°	7.061355	0.326	-2.385778	16.508488
	90°	8.9331000	0.050	0.001610	17.864590
30°	180°	1.982890	1.000	-6.379667	10.345447
	45°	2.977970	0.987	-4.761163	10.717103
	60°	9.1541950	0.040	0.228560	18.079830
	90°	11.0259400	0.003	2.665826	19.386054
45°	180°	4.075730	0.832	-3.650235	11.801695
	60°	6.176225	0.262	-1.749896	14.102346
	90°	8.0479700	0.019	0.810554	15.285386
60°	180°	1.097760	1.000	-5.329030	7.524550
	90°	1.871745	1.000	-6.655407	10.398897
90°	180°	-5.078465	0.561	-12.991881	2.834951
	180°	-6.950210	0.068	-14.173061	0.272641
MD_150_21 cm					
0°	15°	-17.1404400	0.000	-21.788705	-12.492175
	30°	-15.3032950	0.000	-22.478958	-8.127632
	45°	-10.3662450	0.000	-15.634874	-5.097616
	60°	-2.710855	0.884	-8.331646	2.909936
	90°	-0.948470	1.000	-7.049206	5.152266
	180°	-0.734460	1.000	-4.594709	3.125789
15°	30°	1.837145	1.000	-5.945332	9.619622
	45°	6.7741950	0.021	0.609182	12.939208
	60°	14.4295850	0.000	7.981108	20.878062
	90°	16.1919700	0.000	9.344432	23.039508
30°	180°	16.4059800	0.000	11.265853	21.546107
	45°	4.937050	0.640	-3.152448	13.026548
	60°	12.5924400	0.000	4.311460	20.873420
	90°	14.3548250	0.000	5.794267	22.915383
45°	180°	14.5688350	0.000	7.117029	22.020641
	60°	7.6553900	0.018	0.806735	14.504045
	90°	9.4177750	0.003	2.202361	16.633189
60°	180°	9.6317850	0.000	3.946401	15.317169
	90°	1.762385	1.000	-5.679105	9.203875
90°	180°	1.976395	0.998	-4.026676	7.979466
	180°	0.214010	1.000	-6.229344	6.657364
MD_170_21 cm					
0°	15°	-17.8618800	0.000	-23.010476	-12.713284
	30°	-17.3976850	0.000	-22.409031	-12.386339
	45°	-14.0577800	0.000	-18.560032	-9.555528

	60°	-10.3953150°	0.000	-17.022694	-3.767936
	90°	-10.6195550°	0.000	-17.240351	-3.998759
	180°	-1.610895	0.993	-6.207044	2.985254
15°	30°	0.464195	1.000	-5.973647	6.902037
	45°	3.804100	0.615	-2.296316	9.904516
	60°	7.466565	0.062	-0.192648	15.125778
	90°	7.242325	0.078	-0.411549	14.896199
	180°	16.2509850°	0.000	10.090439	22.411531
30°	45°	3.339905	0.776	-2.654398	9.334208
	60°	7.002370	0.093	-0.581938	14.586678
	90°	6.778130	0.116	-0.800760	14.357020
	180°	15.7867900°	0.000	9.730767	21.842813
45°	60°	3.662465	0.876	-3.661618	10.986548
	90°	3.438225	0.921	-3.880150	10.756600
	180°	12.4468850°	0.000	6.763477	18.130293
60°	90°	-0.224240	1.000	-8.798501	8.350021
	180°	8.7844200°	0.009	1.414487	16.154353
90°	180°	9.0086600°	0.007	1.644382	16.372938

Tabela III.72 – Rezultati naknadnog testa (Dunett T3) statističke značajnosti razlika između svakog para grupa uzoraka za sve gramature, prosečno savijenih i fotografsanih sa 21 cm - distribucija oštećenja

Zavisna promenljiva (I)	Uglovi (J)	Srednja razlika (I-J)	Veličina značajnosti	95% Interval poverenja	
				Donja granica	Gornja granica
CD_90_21 cm					
0°	15°	-0.587985	1.000	-8.076527	6.900557
	30°	-1.036430	1.000	-8.584709	6.511849
	45°	0.985595	1.000	-6.509964	8.481154
	60°	9.9076800°	0.000	5.783462	14.031898
	90°	15.4584400°	0.001	5.493488	25.423392
	180°	28.4875600°	0.000	17.418134	39.556986
15°	30°	-0.448445	1.000	-10.067940	9.171050
	45°	1.573580	1.000	-8.009172	11.156332
	60°	10.4956650°	0.002	2.792806	18.198524
	90°	16.0464250°	0.001	4.581148	27.511702
30°	180°	29.0755450°	0.000	16.686822	41.464268
	45°	2.022025	1.000	-7.602315	11.646365
	60°	10.9441100°	0.001	3.183794	18.704426
	90°	16.4948700°	0.001	4.997802	27.991938
45°	180°	29.5239900°	0.000	17.106936	41.941044
	60°	8.9220850°	0.014	1.212480	16.631690
	90°	14.4728450°	0.005	3.003847	25.941843
60°	180°	27.5019650°	0.000	15.109926	39.894004
	90°	5.550760	0.743	-4.561507	15.663027
90°	180°	18.5798800°	0.000	7.381385	29.778375
90°	180°	13.029120	0.077	-0.722270	26.780510
CD_115_21 cm					
0°	15°	0.548720	1.000	-5.479930	6.577370
	30°	-0.619650	1.000	-6.163069	4.923769
	45°	3.861075	0.508	-2.049044	9.771194
	60°	9.2898750°	0.000	3.515406	15.064344
	90°	12.6297700°	0.000	7.476476	17.783064
	180°	21.7170900°	0.000	14.740236	28.693944
15°	30°	-1.168370	1.000	-8.351013	6.014273
	45°	3.312355	0.954	-4.124934	10.749644
	60°	8.7411550°	0.009	1.399389	16.082921
	90°	12.0810500°	0.000	5.156099	19.006001
30°	180°	21.1683700°	0.000	12.932647	29.404093
	45°	4.480725	0.596	-2.611035	11.572485
	60°	9.9095250°	0.001	2.920519	16.898531
	90°	13.2494200°	0.000	6.712069	19.786771
45°	180°	22.3367400°	0.000	14.394926	30.278554
	60°	5.428800	0.324	-1.825081	12.682681
	90°	8.7686950°	0.004	1.939856	15.597534
60°	180°	17.8560150°	0.000	9.694036	26.017994
	90°	3.339895	0.891	-3.380051	10.059841
90°	180°	12.4272150°	0.000	4.348109	20.506321
90°	180°	9.0873200°	0.011	1.365739	16.808901
CD_130_21 cm					
0°	15°	-5.703555	0.333	-13.595130	2.188020
	30°	-1.624080	1.000	-9.000728	5.752568
	45°	-3.831005	0.661	-10.405039	2.743029
	60°	5.315340	0.909	-6.467490	17.098170
	90°	11.5584450°	0.003	2.913931	20.202959
	180°	15.4498750°	0.000	9.715118	21.184632
15°	30°	4.079475	0.978	-5.833765	13.992715
	45°	1.872550	1.000	-7.545486	11.290586
	60°	11.018895	0.185	-2.252605	24.290395
	90°	17.2620000°	0.000	6.477666	28.046334
30°	180°	21.1534300°	0.000	12.197754	30.109106
	45°	-2.206925	1.000	-11.233961	6.820111
	60°	6.939420	0.814	-6.102642	19.981482
	90°	13.1825250°	0.005	2.714020	23.651030
90°	180°	17.0739550°	0.000	8.541849	25.606061

45°	60°	9.146345	0.366	-3.572926	21.865616
	90°	15.3894500	0.000	5.374874	25.404026
	180°	19.2808800	0.000	11.381285	27.180475
60°	90°	6.243105	0.938	-7.394133	19.880343
	180°	10.134535	0.197	-2.293624	22.562694
90°	180°	3.891430	0.977	-5.703682	13.486542
CD_150_21 cm					
0°	15°	-16.6304750	0.000	-20.568464	-12.692486
	30°	-17.4330150	0.000	-20.994677	-13.871353
	45°	-14.7343400	0.000	-19.015394	-10.453286
	60°	-12.5116750	0.000	-17.341655	-7.681695
	90°	-9.0380350	0.000	-13.998377	-4.077693
	180°	16.3002800	0.000	9.235552	23.365008
15°	30°	-0.802540	1.000	-5.081184	3.476104
	45°	1.896135	0.986	-2.955338	6.747608
	60°	4.118800	0.272	-1.198820	9.436420
	90°	7.5924400	0.001	2.161281	13.023599
30°	180°	32.9307550	0.000	25.572141	40.289369
	45°	2.698675	0.698	-1.886429	7.283779
	60°	4.921340	0.065	-0.166210	10.008890
	90°	8.3949800	0.000	3.186359	13.603601
45°	180°	33.7332950	0.000	26.515209	40.951381
	60°	2.222665	0.982	-3.320635	7.765965
	90°	5.6963050	0.047	0.046173	11.346437
	180°	31.0346200	0.000	23.534156	38.535084
60°	90°	3.473640	0.734	-2.554940	9.502220
	180°	28.8119550	0.000	21.057555	36.566355
90°	180°	25.3383150	0.000	17.518861	33.157769
CD_170_21 cm					
0°	15°	-18.3212250	0.000	-23.006337	-13.636113
	30°	-18.3409000	0.000	-22.753442	-13.928358
	45°	-14.4227200	0.000	-19.663999	-9.181441
	60°	-8.6201950	0.000	-13.344818	-3.895572
	90°	-7.2079400	0.000	-11.347575	-3.068305
	180°	12.3947500	0.000	7.071806	17.717694
15°	30°	-0.019675	1.000	-4.944217	4.904867
	45°	3.898505	0.449	-1.749130	9.546140
	60°	9.7010300	0.000	4.508790	14.893270
	90°	11.1132850	0.000	6.417303	15.809267
30°	180°	30.7159750	0.000	24.995176	36.436774
	45°	3.918180	0.380	-1.527253	9.363613
	60°	9.7207050	0.000	4.759481	14.681929
	90°	11.1329600	0.000	6.708526	15.557394
45°	180°	30.7356500	0.000	25.213005	36.258295
	60°	5.8025250	0.041	0.125002	11.480048
	90°	7.2147800	0.002	1.964307	12.465253
	180°	26.8174700	0.000	20.671476	32.963464
60°	90°	1.412255	0.999	-3.323101	6.147611
	180°	21.0149450	0.000	15.264828	26.765062
90°	180°	19.6026900	0.000	14.270762	24.934618

Tabela III.73 – Rezultati naknadnog testa (Dunett T3) statističke značajnosti razlika između svakog para grupa uzoraka za sve gramature, paralelno savijenih i fotografisanih sa 12 cm - distribucija oštećenja

Zavisna promenljiva (I)	Uglovi (J)	Srednja razlika (I-J)	Veličina značajnosti	95% Interval poverenja	
				Donja granica	Gornja granica
MD_90_12 cm					
0°	15°	-1.258970	1.000	-11.251160	8.733220
	30°	-8.3804750	0.043	-16.609790	-0.151160
	45°	-1.049800	1.000	-7.596597	5.496997
	60°	7.129980	0.093	-0.636753	14.896713
	90°	10.2549850	0.001	3.204154	17.305816
	180°	11.3949000	0.000	7.674528	15.115272
15°	30°	-7.121505	0.682	-19.065434	4.822424
	45°	0.209170	1.000	-10.863435	11.281775
	60°	8.388950	0.384	-3.295718	20.073618
	90°	11.5139550	0.043	0.201580	22.826330
30°	180°	12.6538700	0.007	2.559230	22.748510
	45°	7.330675	0.292	-2.269337	16.930687
	60°	15.5104550	0.000	5.164616	25.856294
	90°	18.6354600	0.000	8.740597	28.530323
45°	180°	19.7753750	0.000	11.414866	28.135884
	60°	8.179780	0.125	-1.055474	17.415034
	90°	11.3047850	0.003	2.610920	19.998650
60°	180°	12.4447000	0.000	5.719944	19.169456
	90°	3.125005	0.998	-6.422086	12.672096
	180°	4.264920	0.773	-3.643344	12.173184
90°	180°	1.139915	1.000	-6.071898	8.351728
MD_115_12 cm					
0°	15°	-3.131675	0.990	-11.979096	5.715746
	30°	-5.390140	0.056	-10.857439	0.077159
	45°	-4.747725	0.228	-10.718840	1.223390
	60°	2.107370	0.987	-3.473253	7.687993
	90°	3.927600	0.853	-3.970390	11.825590

	180°	12.7221500	0.000	5.776504	19.667796
15°	30°	-2.258465	1.000	-11.719336	7.202406
	45°	-1.616050	1.000	-11.309897	8.077797
	60°	5.239045	0.771	-4.272305	14.750395
	90°	7.059275	0.536	-3.714357	17.832907
	180°	15.8538250	0.000	5.649125	26.058525
30°	45°	0.642415	1.000	-6.342930	7.627760
	60°	7.4975100	0.017	0.815986	14.179034
	90°	9.3177400	0.025	0.708634	17.926846
	180°	18.1122900	0.000	10.327501	25.897079
45°	60°	6.855095	0.064	-0.209280	13.919470
	90°	8.675325	0.060	-0.200516	17.551166
	180°	17.4698750	0.000	9.376938	25.562812
60°	90°	1.820230	1.000	-6.846849	10.487309
	180°	10.6147800	0.002	2.762710	18.466850
90°	180°	8.794550	0.089	-0.658994	18.248094
MD_130_12 cm					
0°	15°	-4.682570	0.831	-13.955478	4.590338
	30°	-3.457460	0.496	-8.663644	1.748724
	45°	-3.357870	0.425	-8.177992	1.462252
	60°	0.882670	1.000	-4.668402	6.433742
	90°	4.338840	0.279	-1.335863	10.013543
	180°	4.8632000	0.036	0.176453	9.549947
15°	30°	1.225110	1.000	-8.532514	10.982734
	45°	1.324700	1.000	-8.287887	10.937287
	60°	5.565240	0.742	-4.332714	15.463194
	90°	9.021410	0.104	-0.929309	18.972129
30°	180°	9.545770	0.051	-0.019660	19.111200
	45°	0.099590	1.000	-5.833686	6.032866
	60°	4.340130	0.503	-2.150879	10.831139
	90°	7.7963000	0.010	1.206891	14.385709
45°	180°	8.3206600	0.001	2.484121	14.157199
	60°	4.240540	0.469	-1.980171	10.461251
	90°	7.6967100	0.007	1.371223	14.022197
	180°	8.2210700	0.000	2.705042	13.737098
60°	90°	3.456170	0.878	-3.380632	10.292972
	180°	3.980530	0.548	-2.150217	10.111277
90°	180°	0.524360	1.000	-5.713433	6.762153
MD_150_12 cm					
0°	15°	-11.6873450	0.000	-16.206434	-7.168256
	30°	-14.5384450	0.000	-19.335378	-9.741512
	45°	-9.1325750	0.000	-14.539951	-3.725199
	60°	-10.5892450	0.000	-15.880099	-5.298391
	90°	-7.6310700	0.000	-11.757361	-3.504779
	180°	-2.919930	0.247	-6.622600	0.782740
15°	30°	-2.851100	0.886	-8.545952	2.843752
	45°	2.554770	0.976	-3.627489	8.737029
	60°	1.098100	1.000	-4.988996	7.185196
	90°	4.056275	0.264	-1.140827	9.253377
30°	180°	8.7674150	0.000	3.858957	13.675873
	45°	5.405870	0.163	-0.954309	11.766049
	60°	3.949200	0.600	-2.319868	10.218268
	90°	6.9073750	0.004	1.481757	12.332993
45°	180°	11.6185150	0.000	6.462254	16.774776
	60°	-1.456670	1.000	-8.152857	5.239517
	90°	1.501505	1.000	-4.444424	7.447434
	180°	6.2126450	0.024	0.499764	11.925526
60°	90°	2.958175	0.871	-2.886740	8.803090
	180°	7.6693150	0.002	2.063790	13.274840
90°	180°	4.7111400	0.038	0.145387	9.276893
MD_170_12 cm					
0°	15°	-13.9648400	0.000	-18.613541	-9.316139
	30°	-12.4583600	0.000	-17.773651	-7.143069
	45°	-11.6814750	0.000	-15.299418	-8.063532
	60°	-8.1929250	0.000	-13.411791	-2.974059
	90°	-11.2083650	0.000	-15.140310	-7.276420
	180°	-5.4987050	0.002	-9.527056	-1.470354
15°	30°	1.506480	1.000	-4.578460	7.591420
	45°	2.283365	0.918	-2.540097	7.106827
	60°	5.771915	0.069	-0.234475	11.778305
	90°	2.756475	0.794	-2.277230	7.790180
30°	180°	8.4661350	0.000	3.365406	13.566864
	45°	0.776885	1.000	-4.682986	6.236756
	60°	4.265435	0.530	-2.216450	10.747320
	90°	1.249995	1.000	-4.386132	6.886122
45°	180°	6.9596550	0.007	1.266802	12.652508
	60°	3.488550	0.531	-1.878678	8.855778
	90°	0.473110	1.000	-3.680238	4.626458
	180°	6.1827700	0.001	1.940427	10.425113
60°	90°	-3.015440	0.796	-8.563270	2.532390
	180°	2.694220	0.909	-2.911670	8.300110
90°	180°	5.7096600	0.004	1.215286	10.204034

Tabela III.74 – Rezultati naknadnog testa (Dunett T3) statističke značajnosti razlika između svakog para grupa uzoraka za sve gramature, prosječno savijenih i fotografisanih sa 12 cm - distribucija oštećenja

Zavisna promenljiva (I)	Uglovi (J)	Srednja razlika (I-J)	Veličina značajnosti	95% Interval poverenja	
				Donja granica	Gornja granica
CD_90_12 cm					
0°	15°	-4.7522350	0.005	-8.547318	-0.957152
	30°	-4.597855	0.064	-9.336746	0.141036
	45°	-4.231810	0.231	-9.547542	1.083922
	60°	1.363305	1.000	-3.312582	6.039192
	90°	2.839900	0.142	-0.439511	6.119311
15°	180°	22.1202800	0.000	12.188185	32.052375
	30°	0.154380	1.000	-4.510493	4.819253
	45°	0.520425	1.000	-4.733069	5.773919
	60°	6.1155400	0.003	1.515195	10.715885
30°	90°	7.5921350	0.000	4.443792	10.740478
	180°	26.8725150	0.000	16.966515	36.778515
	45°	0.366045	1.000	-5.520504	6.252594
45°	60°	5.9611600	0.018	0.611198	11.311122
	90°	7.4377550	0.000	3.135946	11.739564
	180°	26.7181350	0.000	16.538869	36.897401
60°	90°	1.476595	0.993	-2.752404	5.705594
	180°	20.7569750	0.000	10.597986	30.915964
	180°	19.2803800	0.000	9.501088	29.059672
CD_115_12 cm					
0°	15°	-2.547220	0.608	-6.658874	1.564434
	30°	-6.1527900	0.000	-10.138923	-2.166657
	45°	-2.076605	0.931	-6.633856	2.480646
	60°	2.798895	0.350	-1.026952	6.624742
	90°	5.8218100	0.000	2.521307	9.122313
	180°	17.3033750	0.000	10.231799	24.374951
15°	30°	-3.605570	0.319	-8.407563	1.196423
	45°	0.470615	1.000	-4.779261	5.720491
	60°	5.3461150	0.014	0.663881	10.028349
	90°	8.3690300	0.000	4.057036	12.681024
30°	180°	19.8505950	0.000	12.387385	27.313805
	45°	4.076185	0.249	-1.087674	9.240044
	60°	8.9516850	0.000	4.372089	13.531281
45°	90°	11.9746000	0.000	7.779232	16.169968
	180°	23.4561650	0.000	16.043644	30.868686
	60°	4.875500	0.067	-0.181354	9.932354
60°	90°	7.8984150	0.000	3.167764	12.629066
	180°	19.3799800	0.000	11.722693	27.037267
	180°	3.022915	0.325	-1.024519	7.070349
90°	180°	14.5044800	0.000	7.154127	21.854833
	180°	11.4815650	0.000	4.315044	18.648086
CD_130_12 cm					
0°	15°	-10.9326600	0.000	-15.211304	-6.654016
	30°	-9.7773000	0.000	-13.939744	-5.614856
	45°	-11.5750900	0.000	-15.845840	-7.304340
	60°	-8.5173250	0.000	-13.776215	-3.258435
	90°	-4.782260	0.070	-9.766364	0.201844
	180°	9.6729150	0.000	4.383515	14.962315
15°	30°	1.155360	1.000	-3.254220	5.564940
	45°	-0.642430	1.000	-5.151551	3.866691
	60°	2.415335	0.952	-3.020824	7.851494
	90°	6.1504000	0.009	0.974886	11.325914
30°	180°	20.6055750	0.000	15.140368	26.070782
	45°	-1.797790	0.979	-6.199827	2.604247
	60°	1.259975	1.000	-4.095880	6.615830
45°	90°	4.995040	0.058	-0.093912	10.083992
	180°	19.4502150	0.000	14.064663	24.835767
	60°	3.057765	0.756	-2.372892	8.488422
60°	90°	6.7928300	0.003	1.623240	11.962420
	180°	21.2480050	0.000	15.788256	26.707754
	180°	3.735065	0.607	-2.218141	9.688271
90°	180°	18.1902400	0.000	11.999587	24.380893
	180°	14.4551750	0.000	8.476608	20.433742
CD_150_12 cm					
0°	15°	-11.5614850	0.000	-15.970468	-7.152502
	30°	-13.0331000	0.000	-16.784516	-9.281684
	45°	-12.4429600	0.000	-16.904656	-7.981264
	60°	-9.4872900	0.000	-13.674070	-5.300510
	90°	-5.2616800	0.002	-9.140804	-1.382556
	180°	15.7492750	0.000	9.851356	21.647194
15°	30°	-1.471615	0.996	-5.723723	2.780493
	45°	-0.881475	1.000	-5.741241	3.978291
	60°	2.074195	0.951	-2.546167	6.694557
	90°	6.2998050	0.001	1.941213	10.658397
30°	180°	27.3107600	0.000	21.142080	33.479440
	45°	0.590140	1.000	-3.717579	4.897859
60°	60°	3.545810	0.128	-0.470761	7.562381

	90°	7.7714200'	0.000	4.084557	11.458283
	180°	28.7823750'	0.000	22.985111	34.579639
45°	60°	2.955670	0.592	-1.713866	7.625206
	90°	7.1812800'	0.000	2.769070	11.593490
60°	180°	28.1922350'	0.000	21.991570	34.392900
	90°	4.2256100'	0.041	0.093363	8.357857
90°	180°	25.2365650'	0.000	19.199175	31.273955
	180°	21.0109550'	0.000	15.145629	26.876281
CD_170_12 cm					
0°	15°	-13.6441650'	0.000	-17.865819	-9.422511
	30°	-9.6750500'	0.000	-14.098668	-5.251432
	45°	-8.7761500'	0.000	-13.819674	-3.732626
	60°	-5.8876950'	0.005	-10.568994	-1.206396
	90°	-1.149155	1.000	-6.062940	3.764630
15°	180°	16.1616150'	0.000	10.359056	21.964174
	30°	3.969115	0.180	-0.774543	8.712773
	45°	4.868015	0.098	-0.442173	10.178203
	60°	7.7564700'	0.000	2.779269	12.733671
	90°	12.4950100'	0.000	7.304659	17.685361
30°	180°	29.8057800'	0.000	23.784210	35.827350
	45°	0.898900	1.000	-4.556444	6.354244
	60°	3.787355	0.346	-1.349298	8.924008
	90°	8.5258950'	0.000	3.185496	13.866294
	180°	25.8366650'	0.000	19.694173	31.979157
45°	60°	2.888455	0.867	-2.758066	8.534976
	90°	7.6269950'	0.003	1.802738	13.451252
	180°	24.9377650'	0.000	18.395874	31.479656
60°	90°	4.738540	0.157	-0.798993	10.276073
	180°	22.0493100'	0.000	15.745777	28.352843
90°	180°	17.3107700'	0.000	10.855793	23.765747

Mikorkopski snimci

Distribucija oštećenja

Tabela III.75 – T-test – podgrupe po uglovima postavljanja uzoraka, mikroskopski snimci - paralelno (MD) savijeni uzorci – distribucija

	Leveneova statistika i veličina značajnosti		t-test						
	F	Sig.	t	df	statistička značajnost	srednja vrednost razlike	Std. Error Difference	95% interval poverenja razlike	
								donja	gornja
MD_90	.311	.582*	.335	24	.740	.0068377	.0203838	-.0352323	.0489077
MD_115	1.823	.190*	-.425	24	.675	-.0073185	.0172287	-.0428768	.0282398

*Potvrđena homogenost varijanse grupe

Prilog IV - Tabelarni prikaz rezultata analize korelacije

Skenirani uzorci

Tabela IV.1 – Faktori determinacije za skenirane uzorke

Smer savijanja	Rezolucija	Procenat belih piksela - zaostala zatezna čvrstoća						
		0°	15°	30°	45°	60°	90°	180°
MD	1200 spi	0.713	0.429	0.543	0.687	0.641	0.711	0.840
	2400 spi	0.695	0.434	0.573	0.691	0.638	0.668	0.878
	4800 spi	0.709	0.428	0.541	0.707	0.634	0.695	0.862
CD	1200 spi	0.943	0.917	0.901	0.881	0.878	0.909	0.744
	2400 spi	0.955	0.926	0.902	0.857	0.873	0.917	0.719
	4800 spi	0.949	0.924	0.901	0.850	0.889	0.920	0.680
Smer savijanja	Rezolucija	Procenat belih piksela - otpornost na prskanje						
		0°	15°	30°	45°	60°	90°	180°
MD	1200 spi	0.903	0.959	0.981	0.866	0.906	0.805	0.794
	2400 spi	0.910	0.950	0.970	0.883	0.923	0.802	0.739
	4800 spi	0.903	0.968	0.973	0.873	0.909	0.795	0.767
CD	1200 spi	0.775	0.876	0.902	0.847	0.871	0.811	0.326
	2400 spi	0.767	0.863	0.897	0.859	0.886	0.802	0.317
	4800 spi	0.774	0.866	0.890	0.869	0.874	0.795	0.293
Smer savijanja	Rezolucija	Odnos obima i površine - otpornost na prskanje						
		0°	15°	30°	45°	60°	90°	180°
MD	1200 spi	0.866	0.904	0.698	0.685	0.611	0.243	0.232
	2400 spi	0.848	0.918	0.679	0.693	0.755	0.491	0.589
	4800 spi	0.835	0.888	0.677	0.779	0.648	0.431	0.718
CD	1200 spi	0.611	0.885	0.757	0.758	0.876	0.854	0.017
	2400 spi	0.605	0.870	0.740	0.736	0.836	0.738	0.264
	4800 spi	0.615	0.854	0.741	0.735	0.822	0.725	0.283
Smer savijanja	Rezolucija	Distribucija oštećenja - otpornost na prskanje						
		0°	15°	30°	45°	60°	90°	180°
MD	1200 spi	0.107	0.836	0.892	0.838	0.892	0.912	0.554
	2400 spi	0.169	0.883	0.816	0.844	0.904	0.893	0.517
	4800 spi	0.061	0.842	0.811	0.831	0.902	0.880	0.570
CD	1200 spi	0.038	0.486	0.560	0.293	0.430	0.409	0.293
	2400 spi	0.284	0.439	0.543	0.265	0.432	0.435	0.333
	4800 spi	0.001	0.423	0.579	0.246	0.448	0.452	0.375

Fotografisani uzorci

Tabela IV.2 – Faktori determinacije za fotografisane uzorke

Smer savijanja	Udaljenost	Procenat belih piksela - zaostala zatezna čvrstoća						
		0°	15°	30°	45°	60°	90°	180°
MD	30 cm	0.672	0.473	0.449	0.445	0.489	0.452	0.877
	21 cm	0.320	0.448	0.443	0.448	0.589	0.567	0.749
	12 cm	0.565	0.530	0.450	0.381	0.609	0.569	0.567
CD	30 cm	0.903	0.888	0.917	0.883	0.904	0.895	0.827
	21 cm	0.933	0.863	0.884	0.879	0.880	0.893	0.517
	12 cm	0.832	0.904	0.931	0.944	0.830	0.773	0.581
Smer savijanja	Udaljenost	Procenat belih piksela - otpornost na prskanje						
		0°	15°	30°	45°	60°	90°	180°
MD	30 cm	0.936	0.961	0.914	0.941	0.921	0.977	0.567
	21 cm	0.966	0.996	0.986	0.992	0.949	0.936	0.665
	12 cm	0.931	0.984	0.995	0.950	0.948	0.977	0.822
CD	30 cm	0.886	0.826	0.739	0.723	0.803	0.658	0.948
	21 cm	0.689	0.826	0.791	0.733	0.667	0.769	0.687
	12 cm	0.954	0.763	0.797	0.686	0.585	0.502	0.485
Smer savijanja	Udaljenost	Odnos obima i površine - otpornost na prskanje						
		0°	15°	30°	45°	60°	90°	180°
MD	30 cm	0.838	0.936	0.731	0.952	0.830	0.822	0.080
	21 cm	0.861	0.777	0.882	0.732	0.803	0.488	0.400
	12 cm	0.892	0.926	0.590	0.538	0.205	0.101	0.046
CD	30 cm	0.785	0.873	0.796	0.819	0.938	0.883	0.689
	21 cm	0.533	0.698	0.634	0.587	0.525	0.564	0.856
	12 cm	0.752	0.799	0.709	0.699	0.650	0.559	0.718
Smer savijanja	Udaljenost	Distribucija oštećenja - otpornost na prskanje						
		0°	15°	30°	45°	60°	90°	180°
MD	30 cm	0.815	0.813	0.803	0.791	0.771	0.827	0.950
	21 cm	0.904	0.980	0.931	0.990	0.994	0.973	0.960
	12 cm	0.657	0.986	0.723	0.983	0.919	0.989	0.900
CD	30 cm	0.060	0.309	0.354	0.424	0.434	0.329	0.727
	21 cm	0.008	0.778	0.820	0.691	0.670	0.755	0.450
	12 cm	0.482	0.600	0.377	0.246	0.291	0.204	0.048

Mikroskopski snimci uzoraka

Tabela IV.3 – Faktori determinacije za mikroskopske snimke

Procenat belih piksela - zaostala zatezna čvrstoća					
90°	MD	CD	180°	MD	CD
	0.525	0.926		0.256	0.494
Procenat belih piksela - otpornost na prskanje					
90°	MD	CD	180°	MD	CD
	0.733	0.758		0.049	0.587
Odnos obima i površine - otpornost na prskanje					
90°	MD	CD	180°	MD	CD
	0.737	0.623		0.888	0.001
Distribucija oštećenja - otpornost na prskanje					
90°	MD	CD	180°	MD	CD
	0.745	0.291		0.068	0.010

Biografija

Magdolna Pál je rođena u Subotici, 12.11.1981. godine. Osnovnu školu Ivo Lola Ribar, kao i Politehničku školu (nekadašnju Građevinsku srednju školu "18. novembar") završila je u svom rodnom gradu.



Posle završetka srednje škole, 2000. godine upisuje Višu tehničku školu u Novom Sadu, smer Grafičko inženjerstvo, koju završava 2003. godine, kao prva iz generacije, bez korišćenja apsolventskog staža, sa prosečnom ocenom 9.29. U septembru 2003. godine upisuje osnovne akademske studije na Fakultetu tehničkih nauka, Univerziteta u Novom Sadu, odsek Grafičko inženjerstvo i dizajn. Školske 2004/2005 godine je bila odabrana za najboljeg studenta sa departmana za Grafičko inženjerstvo i dizajn, dok je na završnoj godini studija bila stipendista Fonda za mlade talente Republike Srbije koja se dodelju za 1000 najboljih studenata. Školske 2005/2006 godine je bila angažovana na stručnim predmetima kao demonstrator na departmanu za Grafičko inženjerstvo i dizajn. Diplomski-master rad, sa naslovom „Procesne operacije izrade kutija“ odbranila je 15.09.2006. godine i time završila master studije pre upisa apsolventske godine, sa prosečnom ocenom 9,54.

U decembru 2006. godine upisala je Doktorske studije na Fakultetu tehničkih nauka, smer Grafičko inženjerstvo i dizajn. U 2006/2007 školskoj godini bila je stipendista Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije. U novembru 2007. godine zaposlila se na Fakultetu tehničkih nauka kao saradnik u nastavi, gde je 29.09.2009. izabrana u zvanje asistenta za užu naučnu oblast Grafičko inženjerstvo i dizajn.

U junu 2010. godine bila je na studijskom boravku i stručnom usavršavanju u Nemačkoj (International course for specialist teachers, Printpromotion, Chemnitz, Germany), dok je 2008. i 2012. godine stekla i obnovila zvanje predavača softvera EngView Package Design (EngView System Certification Seminars, 2008 and 2012, Sofia, Bulgaria). U septembru 2013. godine bila je učesnik radionice "Printing of bio-based materials in packaging" u Budimpešti, u okviru COST projekta FP 1003 (Impact of renewable materials in packaging for sustainability - development of renewable fibre and bio-based materials for new packaging applications).

Nakon ispunjenja svih obaveza propisanih nastavnim planom i programom doktorskih studija Fakulteta tehničkih nauka, prijavila je temu doktorske disertacije sa naslovom „Razvoj modela objektivne kontrole površinskih oštećenja premaznih papira u procesu savijanja“.

Objavila je veći broj naučno-stručnih radova u časopisima, na skupovima u zemlji i inostranstvu i takođe je koautor praktikuma za izvođenje nastave iz predmeta Završna grafička obrada. Angažovana je na projektima Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj republike Srbije. Član je Tehničkog udruženja papirne i grafičke industrije Mađarske. Vrlo dobro govori i piše engleski jezik, dok joj je mađarski maternji jezik.