



UNIVERZITET U NOVOM SADU
FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA
GRAFIČKO INŽENJERSTVO I DIZAJN



Mr Ivan Pinčjer

RAZVOJ DINAMIČKOG MODELA
KONTROLE PROCESNIH PARAMETARA
POSTUPAKA RASTRIRANJA I NJIHOV UTICAJ
NA OTISAK KAO STIMULUS

— DOKTORSKA DISERTACIJA —

Novi Sad, 201c

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"

Osećati zahvalnost a ne iskazati je, isto je što i umotati poklon, a ne predati ga.
William Arthur Ward

Srdačnu zahvalnost želim da izrazim mentoru profesoru dr Dragoljubu Novakoviću na usmeravanju, vođenju i strpljenju tokom izrade disertacije, kolegama sa katedre i prijateljima na podršci i savetima, porodici na razumevanju i ljubavi



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 :	Мр Иван Пинђер
Ментор, МН :	Проф. др Драгољуб Новаковић
Наслов рада, НР :	Развој динамичког модела контроле процесних параметара поступака растрирања и њихов утицај на отисак као стимулус
Језик публикације, ЈП :	Српски
Језик извода, ЈИ :	Српски
Земља публиковања, ЗП :	Република Србија
Уже географско подручје, УГП :	А.П. Војводина
Година, ГО :	2016
Издавач, ИЗ :	Ауторски репринт
Место и адреса, МА :	Нови Сад, Трг Доситеја Обрадовића 6
Физички опис рада, ФО : (поглавља/страна/ цитата/табела/слика/графика/прилога)	12/253/167/87/147/3
Научна област, НО :	Графичко инжењерство и дизајн
Научна дисциплина, НД :	Графичко инжењерство и дизајн
Предметна одредница/Кључне речи, ПО :	Растрирање, отисак, параметри штампе, квалитет отиска, амплитудно модулирани растер, фреквентно модулирани растер
УДК	
Чува се, ЧУ :	У библиотеци ФТН у Новом Саду
Важна напомена, ВН :	
Извод, ИЗ :	У дисертацији су приказана истраживања везана за објективну и субјективну, психофизичку методу која у експерименту утврђује колики утицај имају различити параметри растеризације као и димензија посматране слике на перцепцију реалистичног приказа и зрнасте структуре уз поређење са објективним методама обухваћеним експерименталним мерењима. У методологији истраживања су коришћени узорци растрирани са два различита типа растера фреквентно модуларни и амплитудно модуларни. Познатим и признатим научним методама обраде података дошло се до релевантних резултата који потврђују различитост посматраних репродукција и модел контроле параметара растеризације.
Датум прихватања теме, ДП :	
Датум одбране, ДО :	
Чланови комисије, КО :	Председник: Др Бранко Милосављевић, редовни професор
	Члан: Др Слободан Недељковић, редовни професор
	Члан: Др Игор Мајнарић, доцент
	Члан: Др Немања Кашиковић, доцент
	Члан, ментор: Др Драгољуб Новаковић, редовни професор



UNIVERSITY OF NOVI SAD • FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES
21000 NOVI SAD, Trg Dositeja Obradovića 6

KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number, ANO :	
Identification number, INO :	
Document type, DT :	Monographic Publication
Type of record, TR :	Textual material, printed
Contents code, CC :	Ph. D. thesis
Author, AU :	MSc Ivan Pinčjer
Mentor, MN :	Prof. PhD Dragoljub Novaković
Title, TI :	Development of dynamic model of control rasterization process parameters and their influence on proof as stimulus
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 :	2016
Publisher, PB :	Author's reprint
Publication place, PP :	Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6
Physical description, PD : (chapters/pages/ref./tables/pictures/graphs/appendixes)	12/253/167/87/147/3
Scientific field, SF :	Graphic engineering and design
Scientific discipline, SD :	Graphic engineering and design
Subject/Key words, S/KW :	Halftoning, print sheet, print parameters, print quality, amplitude modified halftoning, frequency modified halftoning
UC	
Holding data, HD :	The library of FTS, Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6
Note, N :	
Abstract, AB :	The research presented in this dissertation is related to the image reproduction quality assessment. Dissertation was designed to determine the impact of halftone attributes on image quality. Objective and subjective quality assessment results were designed to complement recently published findings for quality assessment. These attributes are directly dependent on the chosen halftoning method. In this research the samples were halftoned using two different types of screening methods: frequency modulated and amplitude modulated method. Experiment data samples, were analysed by adequate statistical methods. Results indicate significant influence of halftoning method on the quality assessment and defines control model.
Accepted by the Scientific Board on, ASB :	
Defended on, DE :	
Defended Board, DB :	President: Branko Milosavljević, Ph. D. full professor
	Member: Slobodan Nedeljković, Ph. D. full professor
	Member: Igor Majnarić, Ph. D. assistant professor
	Member: Nemanja Kašiković, Ph. D. assistant professor
	Member, Mentor: Dragoljub Novaković, Ph. D. full professor
	Menthor's sign

IZJAVA

Ja, Ivan Pinčjer 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 ne citiranog 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 pravnom licu.

Izjavljujem da su istovetne štampana i elektronska verzija doktorske disertacije.

Izjavljujem da sam saglasan da se doktorska disertacija može staviti na trajan uvid u elektronskom obliku.

Potpis kandidata

Spisak slika

Slika 2.1	Pojednostavljeni prikaz Munsell sistema	9
Slika 2.2	Osetljivost oka na trohromatsku svetlost	10
Slika 2.3	Vrednost boje predstavljena kao skala sive	10
Slika 2.4	Munsell-ov sistem u trodimenzionalnom prikazu	11
Slika 2.5	Prelamanje svetlosti kroz prizmu	12
Slika 2.6	Opisni krug boje koji koriste inženjeri i naučnici. Crvena, zelena i plava su boje aditivne sinteze. Cijan, magenta i žuta su osnovne boje u štamparstvu.....	13
Slika 2.7	Princip aditivnog mešanja svetlosti.....	14
Slika 2.8	Prikaz rada refleksionog denzitometra	15
Slika 2.9	Prikaz rada transmisijonog denzitometra	16
Slika 2.10	Kolorimetri mere količinu zelene, crvene i plave svetlosti reflektovane od objekta.....	18
Slika 2.11	Princip rada spektrofotometra.....	19
Slika 2.12	Ilustracija algoritma rastriranja zasnovan na pragu detekcije.....	23
Slika 2.13	Promena praga detekcije zacrnjenja određuje veličinu rasterske tačke.....	23
Slika 2.14	Formiranje AM rastera za najmanje vrednosti zacrnjenja pre povećanja rasterske tačke	24
Slika 2.15	Rezultat algoritma rasterizacije detekcije praga	24
Slika 2.16	Rezultat uvođenja šuma u algoritam detekcije praga	25
Slika 2.17	Matrica rasterizacije	26
Slika 2.18	Proces rasterizacije iz koraka: slika – kvantizacija – matrica – rasterska tačka od piksela – kompletna slika od rasterskih tačaka.....	26
Slika 2.19	Rezultat rasterizacije dispergovanom tačkom.....	27
Slika 2.20	Rezultat rasterizacije Floyd i Steinberg algoritma	28
Slika 2.21	Raspoređivanje greške na susedne piksele.....	29
Slika 2.22	Spajanje tri nezavisne separacije rezultira šumom niske frekvencije	31
Slika 2.23	Povećanje optičke gustine u zavisnosti od nanosa boje.....	34
Slika 2.24	Najveća vrednost štamparskog kontrasta dobija se ostvarivanjem balansa između optičke gustine i porastom raster- <i>tonskih vrednosti</i>	37
Slika 2.25	Karakteristična kriva porasta raster tonskih vrednosti	38
Slika 2.26	Godbergov dijagram.....	39
Slika 2.27	Moguće putanje fotona prilikom refleksije	40
Slika 2.28	Pojava Moiré efekta kod malih oscilacija u veličini dva šablona izvotka	44
Slika 2.29	Povećanjem ugla između dve separacije povećava se frekvencija moiré efekta te se smanjuje njegova percepcija	45

Slika 2.30	Moiré šablon prouzrokovan sadržajem slike	46
Slika 2.31	Prikaz intenziteta slike kroz sinusoidne talase	48
Slika 2.32	Rasterska reprodukcija kreirana FM algoritmom	50
Slika 2.33	Magnituda slike izračunata kompleksnim brojevima	50
Slika 2.34	Logaritamska transformacija magnitude Furijeve transformacije	50
Slika 2.35	Faza Furijeve transformacije	51
Slika 2.36	Prikaz FM rastera u prostornom domenu	52
Slika 2.37	Furijeva transformacija FM rastera	52
Slika 2.38	Uklanjanje elemenata niske frekvencije maskiranjem u frekventnom domenu	53
Slika 2.39	Rezultat maskiranja prikazan u prostornom domenu	53
Slika 2.40	Maskiranjem visokih frekvencija u frekventnom domenu aproksimira se HVS	54
Slika 2.41	<i>AM rasterski šablon i njegova prezentacija preko snage šuma</i>	56
Slika 2.42	Rasterski šablon i njegova snaga šuma raspoređena po frekvencijama	56
Slika 2.43	Rasterski šablon belog šuma i njegova snaga šuma raspoređena po frekvencijama	57
Slika 2.44	Floyd-Steinbergov algoritam rasterizacije i njegova snaga šuma raspoređena po frekvencijama	57
Slika 2.45	Prikaz rezultata analize rasterizacije standardne devijacije šuma	59
Slika 2.46	Krug kvaliteta slike spaja određivanje kvaliteta subjektivnim i objektivnim metodama kako i tehnologiju tj. njenu kompleksnost	64
Slika 2.47	Koraci za kreiranje test alata za subjektivno ispitivanje	68
Slika 3.1	Levo: linearizovana kriva gde svaka ulazna vrednost ima identičnu izlaznu vrednost Desno: kompenzaciona kriva gde se ulazna vrednost menja u manju izlaznu tonsku vrednost	74
Slika 3.2	Promena rasterizacije dovodi do promene tonских vrednosti za iste parametre štampe zbog promene u porastu rasterske tačke	74
Slika 3.3	Dva različita načina prikaza izmerenih podataka tonska kriva i porast rasterske tačke	75
Slika 3.4	Prikaz karakterizacionih krivi tonских vrednosti pre primene nove tehnike rasterizacije	75
Slika 3.5	Izrada karakterizacionih krivi za željene tonske vrednosti nakon primene nove rasterske tehnike	76
Slika 3.6	Poređenje dve karakterizacione krive sa vidljivim razlikama prouzrokovanim drugačijim porastom rasterske tačke	76
Slika 3.7	Poređenje vrednosti karakterizacionih krivi	77
Slika 3.8	Ujednačavanje tonских vrednosti	77
Slika 3.9	Kreiranje kompenzacione krive sa LUT vrednostima	78
Slika 3.10	Rezultujući otisak sa ujednačenim tonskim vrednostima	78
Slika 3.11	a) GCR, b) UCR CMYK separacije	81

Slika 3.12	Spojeni kanali sa GCR procesom	82
Slika 3.13	Kanali CMY bez crne i K separacija	82
Slika 3.14	Levo: detalj sa slike CMY Desno: isti detalj sa dodatom K separacijom	82
Slika 3.15	Poređenje broja detalja kod manje i veće rezolucije.....	83
Slika 3.16	Talasne dužine koje se koriste pri osvetljavanju štamparskih formi	85
Slika 3.17	CtP konstrukcije osvetljavanja štamparske forme ravna, sa spoljašnjim cilindrom i sa unutrašnjim cilindrom.....	86
Slika 3.18	Veći nanos cijana rezultiraće promenom obojenja ka plavoj nijansi	87
Slika 3.19	Veći nanos magente rezultiraće promenom obojenja ka crvenoj nijansi	87
Slika 3.20	Veličina neodštampane površina kod a) AM rastera i b) FM rastera	90
Slika 3.21	3D prikaz debljine nanosa boje za a) AM i b) FM rastersku strukturu	90
Slika 3.22	Povećanje opsega boja upotrebom Hexachrome sistema	91
Slika 3.23	Sistemi obojenja 1 – CcMmYK; 2 – CMYKOG; 3 – CMYKRGB; 4 - CMYKC'M'Y'	93
Slika 3.24.	Kombinacija a) FM crne separacije i CMY AM separacije sa uglovima rastera b) rezultat spajanja na odštampanoj slici	97
Slika 3.25	Različiti oblici tačke u zavisnosti od hrapavosti površine	98
Slika 5.1	CTP uređaj Lüscher XPose	113
Slika 5.2	Princip osvetljavanja termalnih ploča	114
Slika 5.3	SpectroPlate	115
Slika 5.4	KBA Performa 75	116
Slika 5.5	Spectrolino sa na SpectroScan tabli	117
Slika 5.6	Epson Stylus Pro 7800 uređaj za probni otisak.....	118
Slika 5.7	EyeOne spektrofotometar	119
Slika 5.8	Kalibraciona merna traka za probni otisak rastera za procesne	121
Slika 5.9	Kalibraciona merna traka za probni otisak rastera za izvedene boje.....	121
Slika 5.10	Sibress PIT.....	122
Slika 6.1	a) Test slika zasićenih boja FM rasterom b) Test slika zasićenih boja AM rasterom c) Test slika boje kože rastrirana FM rasterom d) Test slika boje kože rastrirana AM rasterom e) Test slika zapamćenih boja rastrirana FM rasterom f) Test slika zapamćenih boja rastrirana AM rasterom	124
Slika 6.2	Korelacija FM i S-CIELab vrednosti za sliku zasićenih tonova	125
Slika 6.3	Korelacija FM i S-CIELab vrednosti za sliku boje ljudske kože	125
Slika 6.4	Korelacija FM i S-CIELab vrednosti za sliku pastelnih boja	126
Slika 6.5	Test kontrolna merna traka korišćena u eksperimentu	129
Slika 6.6	Kriva gradacije RTV za cijan	130
Slika 6.7	Kriva gradacije RTV za magentu	130
Slika 6.8	Kriva gradacije RTV za žutu	130
Slika 6.9	Kriva gradacije RTV za crnu	130

Slika 6.10	Poređenje rasterskih vrednosti pre i posle korekcije crne separacije.....	131
Slika 6.11	Kriva porasta rasterskih vrednosti nakon korekcije.....	132
Slika 6.12	Poređenje opsega boja štampe sa standardnim opsegom unutar Lab prostora	133
Slika 6.13	Prostorna projekcija opsega Fogra 43 i tekst otiska a) pre i b) posle kalibracije ..	134
Slika 6.14	Algoritmi korišćeni u istraživanju	136
Slika 6.15	Slike korišćene u okviru eksperimenta: 1) slika devojka, 2) slika kafa, 3) slika tanjir, 4) slika automobil	137
Slika 6.16	Jedan od test tabaka sa slikom rastriranom na četiri različita načina	138
Slika 6.17	Dijagram strukture pola ispitanika	139
Slika 6.18	Dijagram strukture starosti ispitanika	139
Slika 6.19	Dijagram strukture tipa vida ispitanika	140
Slika 6.20	Odgovori ispitanika za sliku 1 Devojka po kriterijumu najmanje primetna zrnasta struktura	142
Slika 6.21	Odgovori ispitanika za sliku 2 Kafa po kriterijumu najmanje primetna zrnasta struktura	143
Slika 6.22	Odgovori ispitanika za sliku 3 Tanjir po kriterijumu najmanje primetna zrnasta struktura	143
Slika 6.23	Odgovori ispitanika za sliku 4 Automobil po kriterijumu najmanje primetna zrnasta struktura	144
Slika 6.24	Odgovori ispitanika za test tabak 1 Devojka po kriterijumu najrealističnija reprodukcija.....	145
Slika 6.25	Odgovori ispitanika za sliku 2 Kafa po kriterijumu najrealističnija reprodukcija...	146
Slika 6.26	Odgovori ispitanika za sliku 3 Tanjir po kriterijumu najrealističnija reprodukcija	146
Slika 6.27	Odgovori ispitanika za sliku 4 Automobil po kriterijumu najrealističnija reprodukcija.....	147
Slika 6.28	Tri test tabaka sa reprodukcijama različitih veličina.....	152
Slika 6.29	Prikaz unakrsne provere odabira rastera za sliku 1.1. i 1.2.	155
Slika 6.30	Prikaz unakrsne provere odabira rastera za sliku 1.1. i 1.3.	156
Slika 6.31	Prikaz unakrsne provere odabira rastera za sliku 1.2. i 1.3.	157
Slika 6.32	Prikaz unakrsne provere odabira rastera za sliku 1.1. i 1.2 za parametar najrealističnija reprodukcija	159
Slika 6.33	Prikaz unakrsne provere odabira rastera za sliku 1.1. i 1.3 za parametar najrealističnija reprodukcija	160
Slika 6.34	Prikaz unakrsne provere odabira rastera za sliku 1.2. i 1.3 za parametar najrealističnija reprodukcija	161
Slika 6.35	Grafički prikaz odgovora ispitanika po parametru najmanje primetna zrnasta struktura za različite dimenzije test reprodukcije 1	163
Slika 6.36	Grafički prikaz odgovora ispitanika po parametru najmanje primetna zrnasta struktura za različite dimenzije test reprodukcije 2	164

Slika 6.37	Grafički prikaz odgovora ispitanika po parametru najmanje primetna zrnasta struktura za različite dimenzije test reprodukcije 3	165
Slika 6.38	Grafički prikaz odgovora ispitanika po parametru najmanje primetna zrnasta struktura za različite dimenzije test reprodukcije 4	167
Slika 6.39	Grafički prikaz odgovora ispitanika po parametru najrealističnija reprodukcija za različite dimenzije test reprodukcije 1	168
Slika 6.40	Grafički prikaz odgovora ispitanika po parametru najrealističnija reprodukcija za različite dimenzije test reprodukcije 2	169
Slika 6.41	Grafički prikaz odgovora ispitanika po parametru najrealističnija reprodukcija za različite dimenzije test reprodukcije 3	170
Slika 6.42	Grafički prikaz odgovora ispitanika po parametru najrealističnija reprodukcija za različite dimenzije test reprodukcije 4	171
Slika 7.1.	Promena daljine posmatrača D i povećanje veličine rasterskih elemenata V bez promene ugla posmatrača tj. promena parametara reprodukcije	178
Slika 7.2	Prikaz Furijevih transformacija slika 1 - devojka i 2- kafa	179
Slika 7.3	Reprodukcija 1 - devojka u prostornom domenu nakon oduzimanja elemenata slike niskih frekvencija	179

Spisak tabela

Tabela 2.1	Apsorbovane boje i boje koje se dobijaju njihovom apsorpcijom	13
Tabela 2.2	Smanjenjem refleksije povećava se optička gustina	33
Tabela 2.3	Talasne dužine spektralne propustljivosti filtera za CMY separacije (ISO 12647)	35
Tabela 2.4	Preporučene optičke gustine	35
Tabela 2.5	Prikaz povezanosti linijature rastera, veličine rasterske tačke za datu linijaturu i ciklusa po milimetru	55
Tabela 3.1	Prikaz odnosa između rezolucije, veličine tačke i koraka tonskog prelaza	83
Tabela 3.2	Prikaz pomeranja obojenja dobijenih denzitometrijskom analizom	88
Tabela 3.3	Očekivane promene obojenja za ofset tehniku	88
Tabela 3.4	Prikaz odgovarajućih linijatura u zavisnosti od tipa papira	99
Tabela 3.5	Optička gustina boje u zavisnosti od tipa papira	99
Tabela 3.6	Ukupna pokrivenost boje na različitim tipovima papira	100
Tabela 3.7	Tipovi papira po ISO12647-2 standardu	101
Tabela 5.1	Tehničke karakteristike osvetljivača Lüscher XPose	113
Tabela 5.2	Specifikacije mernog uređaja SpectroPlate	115
Tabela 5.3	Boje, materijali i uslovi štampe u toku eksperimenta	116
Tabela 5.4	Specifikacije Spectrolino mernog uređaja	117

Tabela 5.5 Specifikacije Epson Stylus Pro 7800	119
Tabela 5.6 Tehničke karakteristike spektrofotomentra EyeOne	120
Tabela 5.7 Tehničke karakteristike Sibress PIT	122
Tabela 6.1 Najpribližnije vrednosti AM i FM rastera za sliku sa zasićenim tonovima	127
Tabela 6.2 Najpribližnije vrednosti AM i FM rastera za sliku tonova kože	127
Tabela 6.3 Najpribližnije vrednosti AM i FM rastera za sliku pastelnih tonova.....	127
Tabela 6.4 Pol ispitanika	138
Tabela 6.5 Starost ispitanika.....	139
Tabela 6.6 Starosne granice ispitanika.....	139
Tabela 6.7 Vid ispitanika.....	140
Tabela 6.8 Raspored tipova rastriranja po test uzorcima	141
Tabela 6.9 Raspored tipova rastriranja po test uzorcima	152
Tabela 6.10 Najmanje primetna zrnasta struktura za test reprodukciju 1.1.....	154
Tabela 6.11 Najmanje primetna zrnasta struktura za test reprodukciju 1.2.....	154
Tabela 6.12 Najmanje primetna zrnasta struktura za test reprodukciju 1.3.....	154
Tabela 6.13 Test unakrsne provere reprodukcija 1.1 i 1.2 za parametar <i>najmanje primetna zrnasta struktura</i>	155
Tabela 6.14 Test unakrsne provere reprodukcija 1.1 i 1.3 za parametar <i>najmanje primetna zrnasta struktura</i>	156
Tabela 6.15 Test unakrsne provere reprodukcija 1.2 i 1.3 za parametar <i>najmanje primetna zrnasta struktura</i>	157
Tabela 6.16 Test unakrsne provere reprodukcija 1.1 i 1.2 za parametar <i>najrealističnija reprodukcija</i>	159
Tabela 6.17 Test unakrsne provere reprodukcija 1.1 i 1.3 za parametar <i>najrealističnija reprodukcija</i>	160
Tabela 6.18 Test unakrsne provere reprodukcija 1.2 i 1.3 za parametar <i>najrealističnija Reprodukcia</i>	161
Tabela 6.19 Uppedna analiza različitih dimenzija test reprodukcije 1 za parametar <i>najmanje primetna zrnasta struktura</i>	162
Tabela 6.20 Uppedna analiza različitih dimenzija test reprodukcije 2 za parametar najmanje primetna zrnasta struktura	164
Tabela 6.21 Uppedna analiza različitih dimenzija test reprodukcije 3 za parametar <i>najmanje primetna zrnasta struktura</i>	165
Tabela 6.22 Uppedna analiza različitih dimenzija test reprodukcije 4 za parametar <i>najmanje primetna zrnasta struktura</i>	166
Tabela 6.23 Uppedna analiza različitih dimenzija test reprodukcije 1 za parametar <i>najrealističnija reprodukcija</i>	168
Tabela 6.24 Uppedna analiza različitih dimenzija test reprodukcije 2 za parametar <i>najrealističnija reprodukcija</i>	169

Tabela 6.25 Uporedna analiza različitih dimenzija test reprodukcije 3 za parametar <i>najrealističnija reprodukcija</i>	170
Tabela 6.26 Uporedna analiza različitih dimenzija test reprodukcije 4 za parametar <i>najrealističnija reprodukcija</i>	171

Predgovor

Dinamički razvoj reprodukcioničkih tehnika omogućio je primenu različitih tehnika rastriranja u grafičkim procesima. Uvođenje Computer to plate (CTP) tehnike kao i računara koji će generisati rastersku tačku, u grafičke procese pružilo je mogućnost upotrebe različitih tipova rastriranja. Međutim, na kvalitet otiska utiče mnoštvo parametara koji se javljaju u toku procesa otiskivanja i koje bi trebalo uzeti u obzir prilikom samog generisanja rasterske strukture. Samo rasterske strukture koje su u mogućnosti da se nose sa svim uticajnim parametrima i obezbede optimalni kvalitet završnog proizvoda biće pogodne za širu primenu. Iako je najstariji način rastriranja, amplitudno modularni (AM), i dalje je u veoma širokoj primeni u grafičkoj industriji. Sam oblik tačke AM rastera i način njenog rasta je razvijan vremenom, ali raspored tačaka, koji se nalazi na fiksnoj mreži, je i dalje ostao nepromenjen. Razvoj računarskih tehnika doprineo je da proračuni „nasumičnih“ rasterskih tačaka postanu manje vremenski i računarski zahtevni i kao posledica, omogućio je primenu frekventno modularnih rastera u praksi. Novina koju su doneli FM rasteri jesu rasterske tačke koje se ne nalaze na fiksnoj mreži nego je njihov raspored uzrokovan zacrnjenjem koje je potrebno postići. Bez obzira na tehničke mogućnosti izrade FM rastera i unapređenja koja ona donosi, njihova primena je ostala skromna. Poređenje između AM i FM rastera dali je različite rezultate, što je navelo na zaključak da postoje parametri koji nisu do sada bili analizirani a utiču na rezultate eksperimenta koji su bili objavljeni. Eksperimenti objektivnim, instrumentalnim metodama ispitivanja su veoma jasni i ukazivali su na određene nedostatke koje je potrebno analitički sagledati i na njih dati efikasna i u praksi primenljiva rešenja. Najčešća neslaganja dobijana su prilikom subjektivnih istraživanja kvaliteta otiska, tako da disertacija i u tom pogledu pruža novi uvid i unapređenje metoda ovog tipa ispitivanja. Uz pomoć savremenih metoda istraživanja disertacija pruža značajne rezultate u unapređenju procesa reprodukcije. Disertacija je podeljena u tri dela, teorijski, istraživački i eksperimentalni. Eksperimentalni deo sadrži kako objektivna tako i subjektivna istraživanja značajna za dobijanje relevantnih rezultata u ispitivanju otiska kao stimulusa. Rezultati eksperimenta pripremljeni na specifičnim originalima prikazuju unapređenje u pogledu definisanja kvaliteta reprodukcije proizvoda i omogućuje bolje sagledavanje rezultata rasterizacije.

Rezime

Upotreba računarske tehnike obezbedila je mogućnost dobijanja rastera koji su u odnosu na vidljivost golim okom neprimetni. Veličina rasterske tačke omogućava upoređivanje rastriranih slika sa slikama kontinualnih tonova, ali samo u elektronskom obliku. Kada se kao ograničavajući parametar u kreiranju rastera postave samo računarske tehnologije, praktično da nema ograničenja u kreiranju rasterske tačke. Međutim, kada se govori o elektronskoj verziji, jasno je da rasterizacija nije ni potrebna. Cilj rasterizacije jeste da omogući reprodukciju originala na podlozi, u analognom obliku. I tu nastaju problemi vezani za različite uticajne parametre, koji će omogućiti da sve informacije zadržane u rastriranom obliku originala budu ili ne budu prenesene na medij nosilac informacija, u slučaju grafičke industrije, najčešće papirna podloga. Pored parametara rasterizacije koji utiču na način prenosa rasterskih tačaka na podlogu, potrebno je napraviti kompromis u pogledu vidljivosti rasterske tačke, tj. balansirati između tehnike rastriranja koja će omogućiti nesmetano otiskivanje a u isto vreme biti što je moguće manje vidljiva, kako bi se postigao optimalan kvalitet otiska.

Koji kvalitet grafičkih proizvoda je zadovoljavajući? Kvalitet koji se može najlakše opisati kao fotografija, slika kontinualnih tonova. Kvalitet štampanog materijala određuju tri uticajna faktora: tehnologija štampe, papir kao podloga na kojoj se štampa i metod na koji se podaci digitalno prenose do završnog procesa osvetljavanja štamparskih ploča, tj. njihov prenos iz digitalnog u analogni oblik. Prenos iz analognog u digitalni oblik podataka koji se štampaju je potreban zbog ograničenosti tehnologije štamparskog procesa. Može se izvesti zaključak da je potrebno poznavati tehnološki postupak štampe kako bi se, što je bolje moguće, digitalni oblik podataka konvertovao u analogni oblik i samim tim odštampao. Tehnika štampe i uređaji za štampu zavise od fizičko hemijskih zakona koji utiču na kvalitet samog otiska. Prilagođavanjem digitalnih podataka samom izlaznom uređaju omogućava najbolji mogući kvalitet koji se može postići u zadatoj tehnici.

Eksperiment je pored objektivnih metoda, obuhvatio istraživanja vezana za subjektivnu, psihofizičku metodu koja u eksperimentu utvrđuje koliki uticaj ima dimenzija posmatrane slike na percepciju realističnog prikaza i zrnaste strukture uz poređenje sa objektivnim metodama

obuhvaćenim eksperimentalnim merenjima. Ova dva atributa kvaliteta direktno zavise od načina rastriranja a razumljivi su u subjektivnoj oceni ispitanika koji ne poznaju metode određivanja kvaliteta slike. U metodologiji istraživanja su korišćeni uzorci rastrirani sa dva različita tipa rastera: amplitudno modularnim (AM) i frekventno modularnim (FM).

Najuticajniji atributi na kvalitet otiska jesu oni koji u najvećoj meri degradiraju kvalitet. Visina kvaliteta određenog proizvoda najčešće se određuje najnižim kvalitetom koji poseduje. Na taj način parametar sa najnižim kvalitetom određuje ukupni kvalitet otiska. Ovakva gradnja ukupnog kvaliteta podrazumeva da svaki od parametara mora biti dobro kontrolisan i predvidljiv kako bi otisak odgovarao zahtevima poručioca.

Analizom dobijenih rezultata mogu se izvesti zaključci i kada je u pitanju uvođenje novih tehnika rasterizacije u proizvodni sistem. Ta odluka sa sobom nosi različite izazove, kako tehničke tako i finansijske. Potrebno je sa što više aspekta sagledati rezultate koji će se postići nakon uvođenja FM tehnologije, te rezultati ovog rada mogu pomoći pri realnijem sagledavanju mogućih benefita ili negativnih rezultata. Prilikom odlučivanja o uvođenju nove tehnike rasterizacije u proizvodni grafički sistem, jednostavno se, analizom grafičkih proizvoda koji će se u tom sistemu realizovati, može doprineti pravilnijoj i isplativijoj odluci koji tip rastera koristiti. Što se više ulaznih informacija uzima u obzir, to će odluka biti jednostavnija

Abstract

The use of computer techniques has provided the possibility of obtaining a halftone grid that in relation to naked eye visibility seamless. Dot size allows comparison of the halftone images with continuous-tone images, but only in electronic form. When a computer technology is only limiting parameter in creating raster set, practically there are no limits in creating the halftone dots. However, when it comes to the electronic version, it is clear that rasterization is not necessary. The aim of halftoning is to enable reproduction of the original on the substrate, in analogue form. And this is where the problems of the various important parameters occur. This parameters will allow all information retained in a rasterized form of originals to be or not to be transferred to the substrate that carries information, in the case of the printing industry, the most common, paper substrate. In addition, halftoning parameters, which affect the way of raster points being transfer on the surface, have to make compromise in terms of dot visibility, ie. balance between screening techniques that will enable smooth printing at the same time be as less visible in order to achieve optimum print quality.

What is a satisfactory quality when it comes to graphic arts industry? Acceptable quality of halftone image is become same as photographic picture. The quality of printed material is determined by three influential factors: printing technology, paper as a substrate to be printed and the method by which data is digitally transmitted to the final printing process on printing plate, i.e. transfer from digital to analogue form. The transfer of image from analogue to digital form of data which need to be printed is required due to limited technology of printing process. It can be concluded that it is necessary to know the technology of printing process in order to achieve best quality of print, or in other words, to achieve best possible image conversion from digital into analogue form. Printing techniques and printing equipment depend on the physical and chemical laws that affect the quality of the prints. By adjusting the digital data according to output device provides the best possible quality that can be achieved in a given technique.

As the prints are not exclusively meant for professionals only, it begs the question if the naïve will find a new quality in different types of rasterization. By experimental testing and statistical analysis of the mutual relationship between the answers of experts and naïve results were

obtained that will reject null hypothesis. In experiment two different halftoning were used: amplitude modulation (AM) and frequency modulation (FM).

The most influential print quality attributes are those that mostly degrades the quality. Quality of a particular product is usually determined by attribute that has the lowest quality. Consequently, the parameter with the lowest quality determines the overall print quality. Such construction implies that the overall quality of each of the parameters must be well controlled and predictable in order to fit the requirements of a print.

The analysis of results can be inconclusive when it comes to introducing new techniques of halftoning in the production system. That decision carries with it different challenges, both technical and financial. It is necessary to include as many aspects when analysing results that will be achieved following the introduction of FM technology. The results of this study may assist in a more realistic perception of possible benefits or negative results. When deciding on the introduction of new techniques in a raster graphics production system, simply by analysing graphic products that will be implemented in this system, results of this work could contribute right decision what type of halftone to use.

Sadržaj

I Uvod.....	1
1.1 Problematika rastriranja.....	5
1.1.1 FM prve generacije.....	6
1.1.2 FM druge generacije	7
2. Stanje u oblasti istraživanja	9
2.1 Boje i njihovo mešanje	9
2.1.1 Primarne boje	11
2.2 Senzitometrija.....	14
2.2.1 Denzitometar.....	14
2.2.2 Kolorimetri.....	17
2.2.3 Spektroradiometri	19
2.2.4 Spektrofotometri.....	19
2.3 Kolorimetrijske koordinate.....	19
2.4 Raster	21
2.4.1 Štampa u boji.....	22
2.4.2 Dostignuća u rasterizaciji	23
2.4.3 Prostorno prilagodljivi algoritmi	28
2.4.4 Parametri rasterizacije	33
2.5 Objektivna analiza rasterske reprodukcije.....	46
2.5.1. Analiza rasterizacije – Furijeve transformacije, spektralna analiza i analiza frekvencija	47
2.5.2 Standardna devijacija	58
2.5.3 ΔE razlika boje	60

2.5.4 S-CIELab	60
2.5.5 SSIM	61
2.5.6 Algoritmi za određivanje kvaliteta slike – metrika kvaliteta slike	62
3. Predmet, problem i cilj istraživanja	70
3.1 Problematika implementacije frekventno modularnog rastera u proizvodni proces	71
3.2 Kompenzacija porasta raster tonskih vrednosti	73
3.3 Odabir odgovarajućeg rastera štampe	78
3.4 Redosled štampe	80
3.5 UCR koncept	80
3.6 GCR koncept	80
3.7 Veličina rasterskih elemenata	83
3.8 Štamparske forme	84
3.9 Opseg boja	87
3.9.1 Greška proporcionalnosti	89
3.9.2 Uticaj FM rastera na opseg boja	89
3.10 Povećanje vrednosti otiska	90
3.11 Strategije definisanja kvaliteta otiska	94
3.12 Povećanje kvaliteta otiska bez uticaja na kompleksnost štampe	95
3.13 Tipovi papira	98
3.14 Poređenje AM i FM rastera	101
3.15 Analizirani tipovi rastriranja	104
3.16 Predmet i cilj istraživanja	104
3.17 Očekivani rezultati	106
3.18 Plan istraživanja	107
4 Hipoteza istraživanja	108
4.1 Metodologija i uzorak istraživanja	109
5. Plan eksperimenta i metode istraživanja	112
5.1 Uređaji i softverski alati	112

6. Rezultati istraživanja.....	123
6.1 Objektivno određivanje kvaliteta parametara rasterizacije	123
6.1.1 Odnos između linijature AM rastera i veličine FM rasterske strukture	123
6.1.2 Porast raster tonskih vrednosti na otisku reprodukovanim FM rasterizacijom.....	128
6.1.3 Opseg boja koji se može postići FM rastriranjem.....	132
6.1.4 Zaključak objektivnih rezultata eksperimenta	134
6.2 Subjektivno određivanje kvaliteta slike	135
6.2.1 Metod ispitivanja.....	135
6.2.2 Dizajn eksperimenta.....	136
6.2.3 Analiza podataka	141
6.2.4 Rezultati ispitivanja	142
6.2.5 Zaključak analize ispitanika	147
6.3 Uticaj dimenzije otiska na percepciju rasterske strukture	148
6.3.1 Problem istraživanja	148
6.3.2 Svrha istraživanja.....	150
6.3.3 Rezultati istraživanja.....	151
6.3.4 Analiza rezultata	153
6.3.5 Ocena ispitivanja	153
6.3.6 Zaključak ispitivanja.....	172
7. DISKUSIJA REZULTATA.....	174
7.1. Određivanje optimalnog rastera	174
8. Zaključak.....	185
9. Naučni doprinos istraživanja i mogućnost primene u praksi.....	190
10. Literatura.....	192
11. Prilozi.....	205
12. Biografija i spisak objavljenih radova	229

1 Uvod

Savremeni prikazi slike, prepune zasićenih boja, sjajnih detalja i visoke rezolucije, zaokupljaju pažnju posmatrača sa skoro svakog tehničkog uređaja. Svakodnevno napredovanje tehnike podiže ograničenja u prikazu boja, detalja, pa čak i prostora. Kako bi štampa išla u korak sa tehnikom moraju se vršiti istraživanja kojima bi se tačka boje na podlozi mogla dobiti u željenom obliku, poziciji i efektima otiska kao stimulusa. Zasićene boje i oštri detalji, vođeni savremenim trendovima, jedan su od najvažnijih pokazatelja kvaliteta štampe. Kako bi se slika kvalitetno reprodukovala potrebno ju je pripremiti i optimizovati za određenu tehniku štampe. To se postiže tehnikama rasterizacije. Izbor tehnike rasterizacije zavisi od ulaznih parametara (originala), procesa izrade (kroz faze grafičke proizvodnje - pripreme u kojoj je dominantan dizajn, štampe i završne grafičke obrade) i izlaznih uređaja reprodukcije originala. Navedeno kao poseban zahtev nameće proučavanje tehnika rasterizacije umnogome može dati odgovor na pitanje koje tehnike dobijanja rastera koristiti i kako ih implementirati u radni tok sa prihvatljivim troškovima. Konvencionalni, stohastički, amplitudno modularni (AM), frekventno modularni (FM), hibridni raster, raster sa modulacijom obojenja, oblik tačke, linijatura (LPI) i rezolucija (DPI) su termini povezani sa štampom, a koji opisuju proces prelaska slike sa kontinualnim tonovima u rasterizovanu sliku. Uvođenje računara u štamparski proces drastično je promenilo način na koji se slika u kontinualnim tonovima prevodi u diskretan oblik rasterske tačke. Usavršavanjem tehnike svakako se povećavaju očekivanja u vezi sa kvalitetom gotovog štampanog proizvoda. I kupci kao i procesi dobijanja otiska zahtevaju povećanje kvaliteta i vernosti otiska u skladu sa razvojem novih tehnika. Iz ovog razloga grafički procesi moraju implementirati nove tehnike i pronalaziti nove procese razvoja kvaliteta otiska.

Savremeni pristup procesima rastriranja pronalazi Frederik Ives (*Frederic Ives*) sa Kornel univerziteta, koji je doveo do razvijanja same tehnike rastriranja 1878, pokušavajući da optički rasporedi i odredi različite tonove boje uz pomoć tačaka različitih veličina. Osvetljavanjem fotografije kroz staklenu mrežu koja je prelamala svetlost i propuštala deo intenziteta osvetljenja dobijao se amplitudno modularni raster (AM). Amplitudno modularni raster je karakterisan rastojanjem između rasterskih elemenata koje je uvek konstantno a elementi su

različitih veličina. Rasterizacijom se simulira slika kontinualnih tonova varirajući količinu svetlosti koja se reflektuje od podloge podešavanjem veličine rasterske tačke na konstantnom međusobnom odstojanju – frekvenciji. Drugim rečima, promenom rastojanja između rasterskih tačaka menja se količina reflektovane svetlosti. Problem rastriranja bi bio mnogo jednostavniji kada bi se tu završavao. Kvalitet određenog tipa rastriranja može se sagledati samo kroz način otiskivanja na podlogu. Kako bi se umanjili nedostaci koji se javljaju kao posledica fizičko-hemijskih procesa između boje i podloge, oblici rasterskih tačaka su bili istraživani i unapređivani. Tako su nastali rasteri super ćelije, iracionalni rasteri, različiti oblici tačke (ovalnih, dijamantskih, linijskih, koncentričnih) koji su sa više ili manje uspeha našli primenu u određenim procesima štampe.

Razvojem tehnologije došlo je i do razvoja digitalnog načina rastriranja. Digitalno rastriranje zasniva se na matematičkom algoritmu. Njegova kompleksnost tj. vreme izvršenja određivalo je upotrebnost vrednost određenog tipa rastera. Matematički najkompleksniji način rastriranja, zasnovan je na promeni frekvencije tj. mesta pojavljivanja rasterskog elementa, po čemu i dobija ime frekventno modularni raster (FM). Frekventno modularni raster je karakterisan različitim rastojanjima između rasterskih elemenata dok je veličina rasterskog elementa konstantna. Takođe, poznat je i kao stohastički, ime je dobio po matematičkom terminu koji označava promenljive veličine nasumičnog odabira. Upotreba stohastičke tonske distribucije prilikom reprodukovanja slike je postala praktična tek u novije vreme, jer je proces zahtevao zavidne mogućnosti računara i nije se mogao sprovesti preko optičkih uređaja. Karl Scheuter sa tehničkog univerziteta u Darmstadtu u Nemačkoj, zajedno sa Gerhardom Fischerom, je 1984 objavio rad kojim započinje era stohastičkog rastriranja „Frekventno modularno snimanje slika sa nasumičnom distribucijom piksela“ („Frequency Modulated Picture Recording with Random Pixel Distribution“).

Najveći nedostatak prve generacije FM rastera jeste nemogućnost održavanja rasterske tačke sa konstantnom veličinom na otisku. Izolovane rasterske tačke, u ofset tehnici štampe, bile su previše sitne kako bi u toku prenosa sa štamparske forme na cilindar međuprenosač i zatim sa cilindra međuprenosača na podlogu bile prenesene u potpunosti. Unapređenja kod druge generacije FM rastera usmerena su u rešavanje problema mogućnosti štampe u konvencionalnim ofsetnim sistemima. Dok su rani stohastički sistemi računali nasumičnu poziciju samo u okviru određene površine koja se kasnije mogla primetiti, tako da je čitava slika bila „popločana“, stohastički sistemi novije generacije imaju ujednačenije prelaze prilikom reprodukcije tonova koristeći metode raspoređivanja greške (*error diffusion*). Stohastičko rastriranje druge generacije takođe omogućava veći broj varijacija u veličini i obliku rasterskih ćelija, što omogućava smanjenje pojave zrnaste strukture, kako u ujednačenim tonovima tako i u tonskim prelazima.

Hibridni raster koristi više tehnika rastriranja. Hibridni raster je karakterisan promenljivim veličinama rasterskih elemenata i njihovim razmacima. Iako je termin „hibridni“ dovoljno opširan da pokrije više različitih pristupa, najčešće se misli na *cross*-modularni raster (XM raster). *Cross* modulirani raster koristi obe tehnike rastriranja, kako AM tako i FM, tj. njihovu

kombinaciju u zavisnosti od zacrnjenja koje treba reprodukovati. Kada se govori o XM rasterima, treba imati u vidu da je on pretežno AM dok se FM komponente javljaju samo u najtamnijim i najsvetlijim delovima reprodukcije. Najnovije generacije rasterskih tehnika su postale moguće izbacivanjem izrade filma u procesu izrade štamparske forme. Skoro svi CTP (*computer to plate*) sistemi obezbeđuju izlazne rezolucije dovoljne za izradu slike od 20 mikrona stohastičkog rastera, dok super fini stohastički raster od 10 mikrona je dostižan ako su CTP, emulzija ploče, štampa i materijali su u stanju da reše konstantnost tačke, a čija je rezolucija veća od 2540 dpi.

Poznavanjem prednosti koje se postižu ili gube korišćenjem određenog tipa rastera omogućena je bolja kontrola izlaznih rezultata, optimalno iskorišćenje tehnike koja se koristi, pojednostavljenje procesa izrade proizvoda i skraćanje vremena proizvodnje, kao i povećanje kvaliteta izlaznog proizvoda. Sa druge strane loše odabrana tehnika rastriranja može dovesti do poskupljenja procesa izrade, produženja vremena za dobijanje gotovog proizvoda, bez povećanja kvaliteta gotovog proizvoda. Uvođenjem novih tehnika u proizvodni proces tj. prelazak na nekonvencionalni način rastriranja zahteva određena ulaganja. Ako rezultat koji će se dobiti posle uvođenja novih tehnika rastriranja nije tačno poznat do ulaganja neće doći ili se može kasnije ispostaviti da to ulaganje nije bilo opravdano. Iz ovih razloga je potrebno tačno definisati ciljeve koji se žele postići i prema njima definisati strategiju i odabir svih tehničko-tehnoloških parametara u proizvodnji uključujući i tehniku rastriranja. Prema analizi upotrebe rastera u proizvodnim procesima veći kvalitet štampe, bolji otisci se mogu očekivati kod FM tehnike rastriranja, dok se AM tehnika rastriranja zadržava iz razloga jednostavnijeg upravljanja u proizvodnji (veće tolerancije), većom mogućnošću podešavanja u toku štampe, većim tiražom i bržom pripremom mašine.

Kvalitet štampanog materijala određuje veliki broj uticajnih parametara od kojih poseban uticaj imaju: tehnika štampe, podloga na kojoj se štampa i način na koji se podaci digitalno prenose do završnog procesa osvetljavanja štamparskih ploča, odnosno dobijanja štamparske forme koja je element prenosa slike na podlogu. Može se izvesti zaključak da je potrebno imati kvalitetan model kontrole procesnih parametara rastriranja kako bi se, što je bolje moguće, digitalni oblik podataka konvertovao u otisak. Prilagođavanjem digitalnih podataka izlaznom uređaju omogućava se najbolji mogući kvalitet koji se može postići u datoj tehnici reprodukcije originala.

Potreba za što približnijim otiskom u poređenju sa originalom iziskuje štampu različitih nivoa svetline određene boje. Crno bela fotografija se sastoji iz svih intenziteta, zbog načina na koji se osvetljava film. Film u kameri reaguje na upadnu svetlost sa odgovarajućim stepenom zacrnjenja koje je proporcijalno upadnom intenzitetu svetlosti, tj. intenzitetu svetlosti koja kroz objektiv dospeva do filma ili CCD čipa (kada se govori o digitalnoj fotografiji). Ovi različiti nivoi osvetljenja ili nivoi sive se ne mogu kao takvi reprodukovati na elektrofotografskim, ink-džet (eng. *ink-jet*) ili ofsetnim uređajima za štampu. Ovi nivoi sive se na ovakvim uređajima generišu posredstvom rastriranja. Sa stanovišta podloge rastriranje se može posmatrati kao odnos između delova slike koji će sadržati boju i onih koji neće biti prekriveni bojom. Ukoliko je potrebno proizvesti tamniji ton, povećaće se površina na kojoj će se nalaziti boja i obrnuto.

Ovakav postupak se temelji na subtraktivnoj sintezi, jer se ne nanošenjem boje na podlogu dobija bela boja, odnosno boja podloge. Ukoliko su površine koje su pokrivene bojom dovoljno male, ljudski vizuelni sistem ih neće moći prepoznati kao zasebne elemente nego će one u kombinaciji sa podlogom stvarati iluziju određene svetline boje. U ovom slučaju se ljudski vizuelni sistem ponaša kao *low-pass* filter što je način na koji se ljudski vizuelni sistem uvodi u metrike za objektivnu ocenu kvaliteta otiska.

Najznačajniji pronalasci u tehnikama rastriranja su ubrzo našli put do komercijalne primene. Većina proizvođača nije želela da zaostaje u razvoju tehnika rastriranja, i da ne iskoristi priliku da svoje RIP-uređaje ponudi sa različitim varijantama FM rastriranja. Tako su se već 1990 godine pojavili prvi komercijalni FM rasteri na tržištu. Njih je na tržište lansirala *Agfa Miles, Inc.* Svojim značajno različitim pristupom rastriranju od do tada korišćenih konvencijalnih AM rastera privukla je pažnju u istraživanje tih procesa. Međutim, sitne, male rasterske tačke koje su bile veliki korak ka postizanju nedostižne slike kontinualnih tonova, uskoro su postale prepreka prepuna nekontrolisanih porasta tonskih vrednosti, zrnastih struktura i smanjenja opsega boja (zbog zagušenja boje u tamnim delovima slike). FM raster je od tog vremena obeležen kao "nekontrolisan".

Zahvaljujući napretku tehnologije CTP uređaja i performansi štamparskih formi FM raster je krajem devedesetih ponovo počeo da se primiće sve bliže i bliže svakodnevnoj upotrebi. Danas postoji oko desetak proizvođača koji nude stohastičke i hibridne rastere. Svaki od proizvođača ima nekoliko modulacija FM rastera, u zavisnosti od veličine tačke, algoritama korišćenih za raspoređivanje tačaka pa čak i oblika rasterskih tačaka.

Izbor formiranja FM rasterske tačke je veoma bitan zato što utiče na izbor štamparske forme, CTP-uređaja, estetskog izgleda štampanog materijala kao i ponašanja štamparske mašine u toku štampe. Postoji mnogo veći izbor različitih formi FM rasterskih tačaka nego što je to slučaj kod AM rasterskih tačaka. Bitno je ukazati na neke karakteristike FM rastriranja.

Velika prednost FM rastera jeste njegova visoka rezolucija, koja, u teoriji, treba da omogući štampu mnogo većeg broja detalja nego što je to moguće sa AM rasterskim tehnikama. Svakako prednosti ovakvih visokih rezolucija rastera, mogu biti uočene u najfinijim detaljima slika kao što su slike sjajnih površina sa tonskim prelazima ili tkanina.

U korist AM rastera može se reći da će slike štampane autotipskim rasterom imati veći kontrast u odnosu na slike štampane stohastičkim rasterom zbog veće površine bele podloge koja će imati efekat povećavanja kontrasta kod slika. Takođe AM raster ima manji porast raster tonskih vrednosti u odnosu na FM.

Niz godina istraživanja u oblasti rasterskih tehnika, omogućio je dobijanje velikog broja patenata, preko 1300 koji u svom opisu sadrže reč rastriranje. Iako je toliko radova napisano još uvek se očekuje veliki napredak u oblasti prenosa slike kontinualnih tonova u sliku koju je moguće štampati u dovoljnom kvalitetu, sa optimalnim parametrima reproduktionog procesa.

Loše odabrana tehnika rastriranja može dovesti do poskupljenja procesa izrade, produženja vremena za dobijanje gotovog proizvoda, bez povećanja kvaliteta gotovog proizvoda.

Svaka promena rastriranja direktno utiče na refleksiju i difuznu i spekularnu komponentu (Namedanian i Gooran, 2011). Promene na površini uzorka, prouzrokovane različitim rasporedom rasterskih tačaka na materijalu mogu da se karakterizuju kroz kolorimetrijske i geometrijske veličine, koje definišu nastali stimulus u nekom od kvantifikovanih sistema za objektivno definisanje boja. Kod tačne i kvalitetne reprodukcije od izuzetne je važnosti naći određene korelacije zbog tačnije kontrole samog procesa reprodukcije u grafičkom radnom toku. Karakterizacijom različitih tehnika rasterizacije, podloge za štampu i boja omogućava se nedvosmisleni i sistematičan uvid u kompleksan sistem izrade grafičkog proizvoda, sa naglaskom na dobijanje očekivanih, željenih rezultata sa dovoljnom ponovljivošću koja je od izuzetne važnosti kod štampanih materijala i tretira se kao jedan od parametara ocene kvaliteta grafičkih sistema. Definisanjem konačnog stimulusa kroz praćenje svetline, zasićenja, hromatične komponente, i parametre kroz koje se određuje kvalitet štampe, kao što su štamarski kontrast, sivi balans i opseg boja, može se dobiti dobra podloga za tačno definisanje uticaja procesnih parametara na stimulus štampanih površina.

1.1 Problematika rastriranja

Način na koji će se slika sa kontinualnim tonovima transformisati u sliku sa diskretnim elementima određuju sofisticirani matematički algoritmi rastriranja. Rastriranje se matematički može predstaviti kao proces prelaska slike sa većom amplitudnom rezolucijom u sliku sa manjom amplitudnom rezolucijom. Sistemi rasterizacije novije generacije, zasnovani na tzv. nelinearnom, aperiodičkom, stohastičkom metodu koji ima za cilj da kao konačni rezultat rasporedi štampanje elemente na taj način da finalni proizvod bude što približniji originalu, tj. za sada nedostižnim kontinualnim tonovima (*Hoffmann, 2006*).

Veličina opsega boje odštampanog uzorka, izražena u bilo kojoj jedinici kolorimetrijskog prostora se vrlo retko izražava, ili se uzima u obzir kao samo jedna dodatna informacija. Međutim, ovaj parametar može biti veoma koristan u određivanju nanosa boje u odnosu na tehniku štampe i podloge na kojoj se štampa (Dabrowa i Dziewulski, 2009.). Upotrebom naprednih tehnika rastriranja obezbeđuje se ušteda boje zbog manjeg nanosa na podlogu za štampu. Potrebno je ispitati na koji način se ovaj nanos odražava na jedan od ključnih stimulusa otiska – opseg boje. Tehnike rastriranja, podloga za štampu, štamarska boja, sredstvo za vlaženje i proces štampe su bitni faktori za određivanje rezultata istraživanja kvaliteta otiska (Dharavath, Benson i Gaddam, 2005). Dharavath i saradnici su utvrdili da se sa stohastički generisanim rasterom postiže veći kontrast, a samim tim i više detalja na tamnijim tonovima slike dobijene sa cijan, magentom i žutom bojom. Za crnu boju istraživanja su pokazala da kod frekventno modularnog rastera daje manji štamarski kontrast i da taj aspekt treba dalje ispitati.

1.1.1 FM prve generacije

Koliki uticaj ima napredak u procesima rasterizacije na industriju i tržišta koja se baziraju na uređajima za štampu govori primer predstavljanja knjige Roberta Ulichneja (*Robert Ulichney*) „*Digital Halftoning*“ (Ulichney, 1987) koja je napravila revoluciju u digitalnoj štamparskoj industriji. U to vreme digitalno rastriranje je vršeno isključivo uz pomoć amplitudno modularnog rastera, gde se rasterske tačke nalaze na mreži u fiksnoj poziciji u zavisnosti od rezolucije. Promena nivoa sive vrši se isključivo povećavanjem ili smanjenjem rasterske tačke u njenoj fiksnoj poziciji. Ulichney je analizirao frekventno modularnu rasterizaciju koja je bila predstavljena još 1973 (Bayer, 1973), kod koje se različite nijanse sive dobijaju nasumičnim postavljanjem tačaka iste veličine. Rezultat istraživanja bio je kreiranje novih tehnika rastriranja koje stvaraju nove frekventno modularne rasporede rasterskih tačaka. Jedan od značajnijih napredaka, u njegovom radu, bilo je uvođenje „*blue noise*“ (Ulichnery, 1988) algoritama koji su transformisali sliku kontinualnih tonova u binarnu sliku koristeći samo jednu operaciju komparacije. Ovakva jednostavnost za rezultat ima brzu obradu podataka i dobijanje rezultata bez dugotrajnih i komplikovanih algoritama, omogućavajući primenu i u jednostavnijim štamparskim uređajima. U okviru reprodukcije originala unapređenje koje je uveo Ulichney najviše se odrazilo na mogućnost izrade jeftinijih četvorbojnih ink-džet štampača. Negativna pojava koja prati ovaj tip rastriranja od samog početka jesu varijacije u veličini i obliku tačke koje odstupaju od idealne raspodele definisane *blue noise*-om, a uslovljene su nesavršenostima izlaznih uređaja (Kang, 1999). Negativna strana *blue noise*-a upravo je njena glavna karakteristika, a to je kreiranje veoma sitnih izolovanih elemenata čija veličina nije održiva u štampi, tj. oslanjanje na idealne uslove koji nisu dostižni u komercijalnoj štampi. Više različitih pokušaja je napravljeno kako bi se algoritmi rasterizacije prilagodili tehničkim mogućnostima izlaznih uređaja. Upravo pronalazak odgovarajućeg modela rasterizacije za određeni štamparski sistem jeste ključ uspeha kvalitetne primene novih tehnika rasterizacije.

Pojava digitalnih štampača omogućila je sprovođenje ideje o štampanju izolovanih piksela kako bi se smanjila vidljivost rasterske tačke i šablona koje one stvaraju, posebno u višebojnoj štampi. Mogućnost prepoznavanja izolovane rasterske tačke nastaje primenom konvencionalnih amplitudno modularnih rastera kod kojih se rasterska tačka sastoji od grupe aktiviranih susednih piksela (super piksela). Ne menjajući veličinu štampane rasterske tačke, bez obzira na nivo tonskih vrednosti, tj. zadržavajući njenu veličinu na veličini jednog izolovanog piksela, nove tehnike rastriranja menjaju rastojanje između aktiviranih piksela u zavisnosti od tonskih vrednosti koje treba postići. Prve FM rasterske tehnike predstavljene od strane Bajera i Brindalha (eng. *Bayera* i *Bryngdalha*) koriste redni raspored izolovanih tačaka. Ove tehnike, kao i AM rasterske šeme, postavljale su svaki piksel nezavisno od susednog piksela, samo prema matrici rasterizacije, ali na ograničenom broju piksela matrice, što je moguće nasumičnije. To znači da ovi algoritmi nisu mogli da odjednom uzmu u obzir sve piksele koje treba da se nađu na slici nego su sliku delili na manje površine i u okviru tih površina izvršavale algoritme, tako da se slika na kraju sastavljala od površina istih dimenzija nad kojima je upotrebljen isti algoritam. To je rezultovalo problemom za koji se pokazalo da imaju ove rane FM tehnike, a

može se opisati kao popločavanje tj. šablon koji se javlja kada se pikseli u istom rasporedu ponavljaju po celoj slici (Lau, L.D. i drugi, 2003).

Razvoj rasterizacije nastavili su Floyd i Stajenberg (*Floyd i Steinberg*, 1976) koji su uveli novi algoritam raspodele greške – *Error diffusion*. Ovaj algoritam karakterističan je po tome što je u sebi imao integrisanu statističku analizu, a poziciju svakog piksela algoritam je određivao prema ulaznim podacima za taj piksel i mestu postavljanja susednog piksela. Algoritam je izračunavao grešku odstupanja i prenosio je u matricu rasterizacije koja se prenosi na sledeću, čineći da se identične matrice ne ponavljaju i na taj način daju privid nasumičnosti. Ova nasumičnost omogućila je uklanjanje *moiré* efekta koji je bio prisutan i davala mnogo prirodniji izgled slici ali je zbog dodatog algoritma bila mnogo zahtevnija za izračunavanje i izvršenje.

Ovakva unapređenja prvi uvodi Ulihnej upravo *Error-diffusion* algoritmom kao generatorom plavog šuma ili „*blue-noise*“ (Ulichney, 1988). Ulihnej koristi termin „plavi“ zato što se spektralni sadržaj stohastičkog obrasca na slici raspoređuje isključivo spektralnim komponentama visoke frekvencije, kao što je plava svetlost sačinjena isključivo od svetlosnih talasa visoke frekvencije bele svetlosti. Ulihnej je dalje ustanovio da je prosečna razdaljina između dve rasterske tačke iste boje direktno povezana sa nivoom sive u slici pre rasterizacije. Problem sa ovim tipovima rastera najviše se ogledao o nemogućnosti održavanja kvaliteta prenosa rasterske tačke na podlogu, kako u toku same štampe na različitim tabacima, tako i po celoj površini jednog tabaka. Samim tim *blue-noise* i FM rastriranje su uopšteno bili skupi, tj. bili su potrebni veoma precizni, skupi uređaji za njihovo korišćenje.

Jedna od glavnih unapređenja koja su nastala uvođenjem FM rastriranja u štamparski procesi jeste da su se stvorili uslovi da se višebojna reprodukcija oslobodi ograničenja nastalog potrebom za uglovima rastera. Kako ne bi došlo do nepoželjnog preklapanja separacija boja i stvaranja *moiré* efekta svaka rastrirana separacija morala je biti štampana pod drugačijim uglom. Svako odstupanje od zadatih uglova stvaralo je neželjeno preklapanje jedne separacije sa drugom. Na taj način dolazi do interferencije dva rasterska šablona koja se percipira na otisku kao ponavljajuća šara. Uglovi rastera omogućavaju postavljanje tri separacije pod idealnim uglom dok se četvrta mora postaviti pod kompromisnim nagibom. Uvođenje više od četiri boje, na taj način predstavlja veoma složen postupak bez zadovoljavajućeg rezultata. Frekventno modularni rasteri nisu zavisni od ugla pod kojim se preklapaju i na taj način omogućavaju nastanak štampača sa više od četiri boje. Uvođenjem dodatnih boja omogućilo se proširenje opsega boja koje se mogu dobiti štampanjem.

Ipak, bez obzira na prednosti koje uvodi ovakav način rasterizacije, on se zadržao pretežno na primeni sa ink-džet tehnikom. Razlog tome je nemogućnost ofset štamparskih mašina da štampaju tako malu izolovanu tačku sa dovoljnom konzistentnošću.

1.1.2 FM druge generacije

Kada su se stekle tehničke mogućnosti, uređaja za osvetljavanje štamparske forme, u ostvarivanju rezolucija većih od 1200 tačaka po inču naučnici su se okrenuli mogućnošću spajanja pojedinačnih piksela u takozvane grupe piksela - klastere. Ovakvo spajanje omogućilo

je formiranje stohastičkih rastera koji će formirati strukture koje će biti lakše kontrolisati u procesu štampe. Sa određenom količinom grupisanja one zahvataju veće površine te su mnogo jednostavnije za štampu, tj. omogućavanju štampu bez previše oscilacija u tonu izlaznih otisaka. U višebojnoj štampi ovakav način spajanja piksela, bez uvođenja periodičnosti, i dalje je omogućio izbegavanje pojave moiré-a. U današnje vreme, ovi rasteri se često nazivaju FM rasteri **druge generacije**, ili hibridni AM-FM rasteri u zavisnosti na koji način formiraju klastera, tj. grupe piksela (Lau i drugi, 1998).

Kao što je *blue-noise* komponenta sa visokom frekvencijom *white-noise*, *green-noise* je komponenta sa srednjom frekvencijom, koja kao i *blue-noise* ima aperiodičnu strukturu. I u ovom slučaju se nastoji izbeći struktura sa niskom frekvencijom koja je odgovorna za pojavu zrnastog šablona. Međutim za razliku od *blue-noise* koji generiše izolovanu tačku, kod *green-noise* tačke se grupišu i stvaraju nasumične grupe piksela - klastera. Ideja korišćenja *green-noise* je mogućnost kombinacije disperznih komponenata *blue-noise* sa AM načinom formiranja tačke, uz mogućnost kontrolisanja stepena grupisanja. Razlog jeste mogućnost kreiranja struktura rastera kojima će se moći definisati nivo grupisanja tačaka u zavisnosti od kvaliteta i pouzdanosti izlaznih uređaja. Ukoliko su izlazni uređaji većeg kvaliteta moguće je smanjiti nivo grupisanja tačaka i na taj način se dobiti mali klasteri čija je struktura manje vidljiva. Kod uređaja čija je pouzdanost prenosa tačaka mala, grupisanje tačaka može da se poveća i da se na taj način obezbede dovoljno veliki klasteri koji će moći da se prenose bez velikih oscilacija. Na ovaj način primena rastera je obezbeđena, kako na najsofisticiranijim ofsetnim mašinama tako i na velikim novinskim rotacijama. Gart Oliver (G. Oliver, 2007) je statističkom metodom ustanovio da postoje značajne razlike između parametara štampe (LAB vrednosti, porasta raster-tonskih vrednosti i štamarskog kontrasta) za različite tehnike rastriranja, međutim ono što je ostalo nedovoljno istraženo jeste vrednost ΔE koja, statističkom analizom, nije pokazala značajnije razlike kod različitih tehnika rastriranja.

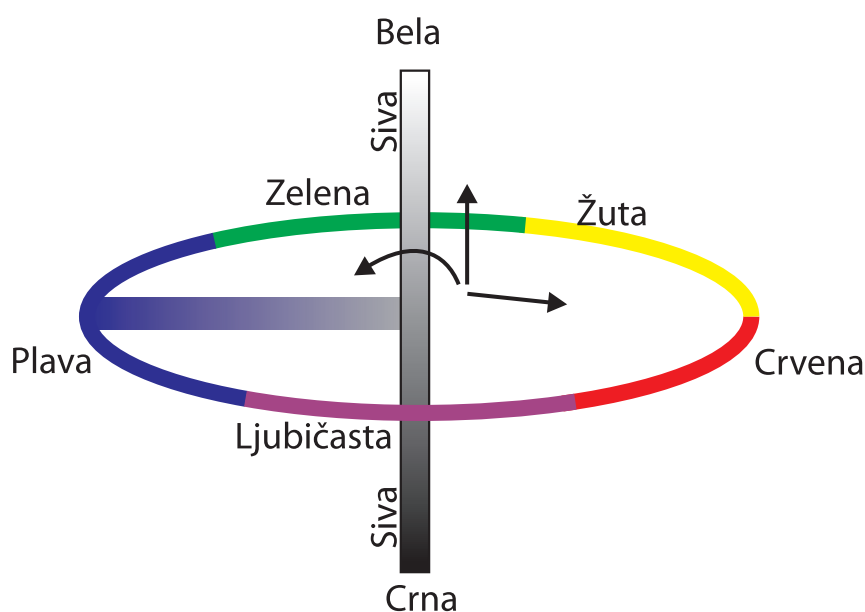
Jedan od načina koji će omogućiti korišćenje nasumičnih tačaka i na uređajima koji nisu pouzdani i omogućiti im da zadrže doslednost kao kod klasičnog rastera pronađen je u Levienovoj (Levien, 1992) „*Output dependant feedback in error diffusion halftoning*“ metodi rastriranja. Ova metoda se zasniva na *Error diffusion* algoritmu zavisnom od izlaznog uređaja gde je povećana suma prethodno dobijenih piksela korišćena kako bi se dobio prag kvantizacije sa rezultujućom strukturom sastavljenom od nasumično sastavljenih različitih oblika klastera, različitih veličina. Ovaj sistem daje dobre rezultate, ali je doveo do problema zbog prevelike složenosti izračunavanja.

Na istraživačima je ostalo da osmisle način na koji će se prednosti FM rastriranja uklopiti u tržišne zahteve rezultujući boljim kvalitetom od konvencionalnog periodičnog načina rastriranja. Pažnja je preusmerena na algoritme koji će moći grupisati određene piksele boje zajedno, nasumičnim redosledom, kako bi se dobila struktura rastera koju će biti moguće reprodukovati ujednačenije, tabak za tabakom, bez pojave moiré-a.

2. STANJE U OBLASTI ISTRAŽIVANJA

2.1 Boje i njihovo mešanje

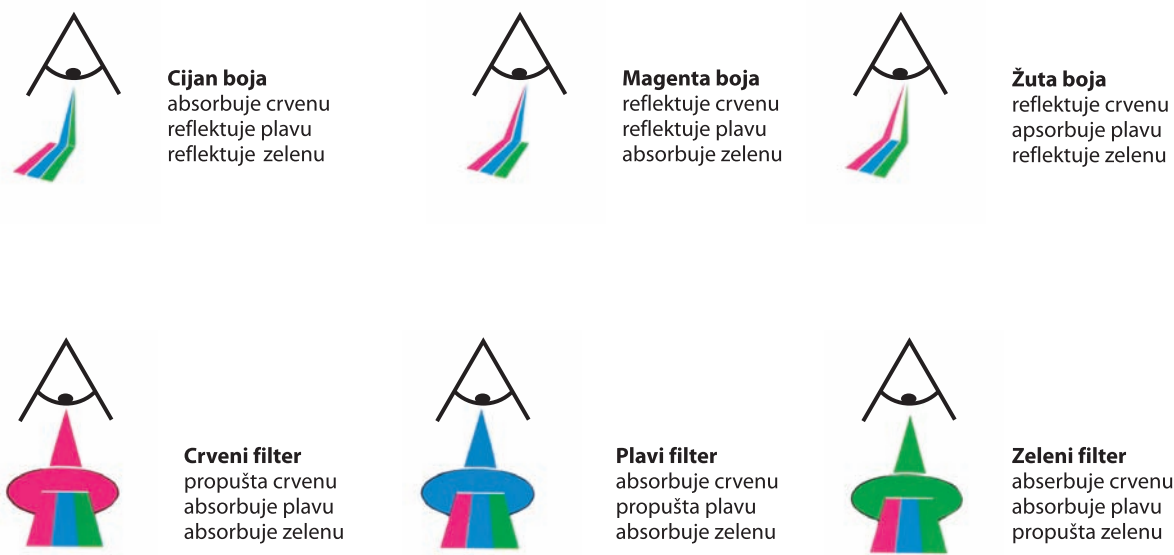
Složenost koja se javlja kod štampanja u boji najčešće je rezultat zabune i nedoslednosti u načinu na koji se određene boje nazivaju. Međutim osnovni koncept definisanja boja je jednostavan za razumeti. Mnogi različiti načini i šeme se koriste kako bi se dala imena bojama. Svaki je koristan u određenom segmentu u kojem se koristi, u zavisnosti da li ga koriste u pripremi, štampi, na monitoru, digitalnoj mašini... Jedna od najupotrebljavanijih šema za određivanje boja je Munsell sistem (slika 2.1).



Slika 2.1 Pojednostavljen prikaz Munsell sistema

Ovaj sistem se zasniva na teoriji trohromatske percepcije boje, koja govori o tome da ljudi imaju tri vrste senzora osetljivih na boju (konusni receptori) koji se nalaze u mrežnjači oka. Osetljivi su na tri regiona spektra svetlosti. Kao rezultat postojanja samo tri receptora za boju, ljudi

doživljavaju boju kroz te tri karakteristike. U Munsell-ovom sistemu, ove karakteristike se nazivaju ton, vrednost svetline i intenzitet hromatičnosti (*hue, value i chroma*). Ton je ono što se često naziva i „boja“ i uključuje boje i njihove nazive koji su u čestoj upotrebi, kao što su crvena, žuta, zelena, plava i ljubičasta. Ovih pet tonova se mogu postaviti u krug tonova, tako da bilo koji ton, tj. boja, koju čovek može da primeti nalazi se u samom krugu. Npr. narandžasta je ton koji se nalazi između crvene i žute. Tirkizna je boja između plave i zelene.



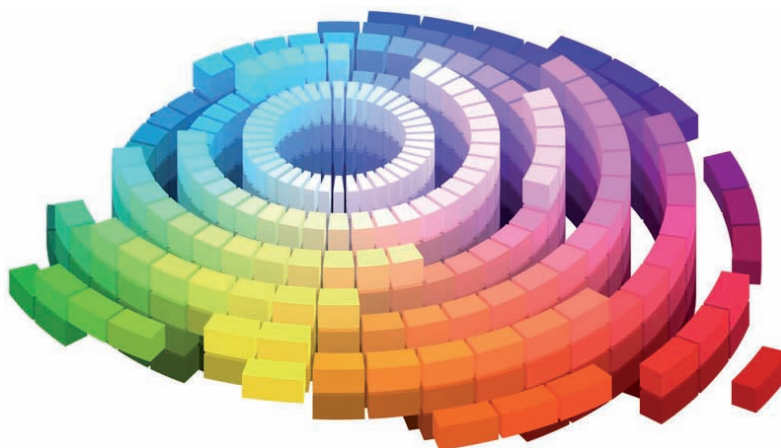
Slika 2.2 Osetljivost oka na trohromatsku svetlost

Ljudsko oko je osetljivije na promenu intenziteta bele svetlosti pa je samim tim vrednost boje analogna skali sive boje na slici 2.3. Svaki ton boje može da se predstavi kao svetao ili kako taman (slika 2.1).



Slika 2.3 Vrednost boje predstavljena kao skala sive

Treći element boje se naziva intenzitet hromatičnosti (eng. *chroma*). Ovo je stepen čistoće boje. Smanjenje čistoće dovodi sve boje do neutralne sive koja je pozicionirana u centru Munsell-ovog sistema. Takve boje često nazivamo i ahromatične boje, ili boje bez tona. Na slici 2.4 predstavlja trodimenzionalni prikaz Munsell-ovog sistema boja.



Slika 2.4 Munsell-ov sistem u trodimenzionalnom prikazu (<http://www.harding.edu/>)

Munsell sistem (slika 2.4) i trohromatska teorija percepcije pokazuju da sve boje mogu biti opisane i prikazane kao da zauzimaju određenu poziciju na trodimenzionalnom prostoru. Ton je određen krugom sa osom vrednosti i razdaljinom od ose kao hromatskim intenzitetom. Sve boje koje je čovek u mogućnosti da vidi pozicionirane su na određenu lokaciju unutar ovog trodimenzionalnog prostora, a ukupna zapremina prostora koji zauzimaju ove vidljive boje naziva se ukupni opseg (gamut) boja ljudskog vida (Novaković, Pešterac, 2004).

2.1.1 Primarne boje

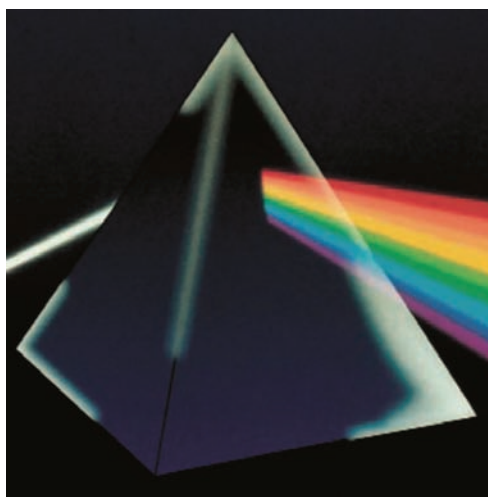
Posledica trohromatske teorije ljudskog opažanja boje jeste mogućnost dobijanja svih boja i nijansi koristeći mešanje boja sa samo tri primarne boje, tj. boje u dobrom odnosu jedna u odnosu na ostale. Ove tri boje se uopšteno nazivaju primarne, osnovne boje. Ovaj termin se često koristi u profesionalnoj primeni, tako i u svakodnevnom govoru. Kao osnovne boje često se nabrajaju „crvena, plava i žuta“. Ipak, mnogo korisniji sistem određivanja boja koriste naučnici i inženjeri koji osnovne boje nazivaju crvena, zelena i plava (*Red, Green, Blue*). Kod svetlosnih izvora koji poseduju crvenu, zelenu i plavu svetlosnu komponentu, kako u praksi tako i u teoriji, uočena je mogućnost stvaranja najšireg spektra vidljivih boja. Što je veći intenzitet određene boje to je veća njena mogućnost stvaranja drugih boja. Plava, zelena i crvena monohromatske svetlosti (svetlost samo jedne svetlosne talasne dužine) na 400 nm, 525 nm i 700 nm mogu da proizvedu svojim mešanjem skoro sve boje koje je prosečni posmatrač u stanju da vidi. Praktična upotreba svetlosnih izvora crvene, zelene i plave može se naći u primeni u televizijskom aparatu i računarskim monitorima. Treba imati na umu da je termin „osnovnih boja“ samo uopšten koncept i da se ne radi o nekom striktno definisanom setu boja.

Sastav bele svetlosti moguće je analizirati ako se svetlosni zraci prolazeći kroz prizmu različito prelamaju što zavisi od njihovih različitih talasnih dužina koje su u saglasnosti sa pomenutom

teorijom (slika 2.5). Ove karakteristike su danas poznate kao talasne dužine, pri čemu osećaj boje oku izaziva elektromagnetno zračenje talasnih dužina od 380 do 770 nm.

James Clerk Maxwell (1831 – 1879) postavio je elektromagnetsku teoriju svetlosti, tj. utvrdio je da je svetlost elektromagnetske prirode (elektromagnetski talasi). On je dokazao da je svetlost odgovarajuća forma elektromagnetne energije koja se može opisati kao elektromagnetni talasi (Harman, 1998).

Dužina talasa (razmak od jednog vrha do sledećeg) naziva se talasna dužina. Talasna dužina svetlosti izražava se nanometrima, skraćeno nm. Na primer, talasne dužine manje od oko 380 nm su nevidljive za oko, kao i one koje su više od 770 nm (tačan opseg vidljive svetlosti se razlikuje od osobe do osobe). Sada se lakše može shvatiti šta se dešava prelamanjem svetlosnih zraka kroz prizmu. Kraće talasne dužine su prelomljene znatno više no duže talasne dužine (slika 2.5).



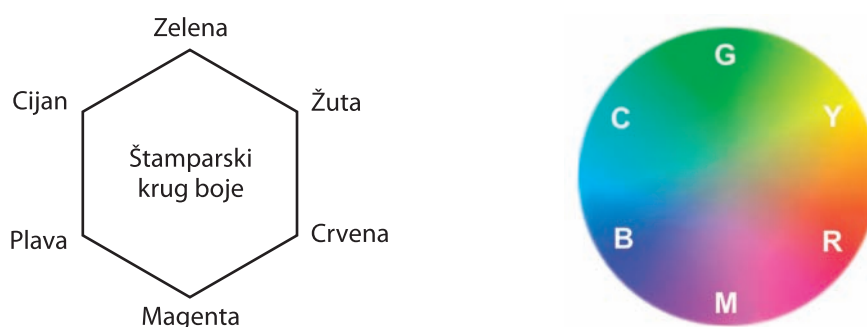
Slika 2.5 Prelamanje svetlosti kroz prizmu

Štamparski postupak temelji se na subtraktivnoj sintezi. U štamparskom procesu se koriste transparentne dvotrećinske boje (CMYK) uz dodatak crne za povećanje kontrasta. Sve one se nanose kao obojeni filteri direktno na štamparsku podlogu. Ta svetlost se različito apsorbira u obojenim delovima što daje osećaj obojenog tona. Ovo je moguće tako što se počinje sa čistim, neštampanim belim papirom. Beli papir reflektuje crvenu, zelenu i plavu svetlost prema očima posmatrača. Te boje se mešaju i zajedno daju belu boju. U cilju kontrole količine crvene svetlosti koju reflektuje papir, prilikom štampe se koristi boja koja će apsorbirati samo crvenu svetlost. Crvena svetlost je i dalje osnovna boja svetlosti, ali se može kontrolisati njeno kretanje sa bojom koja će je apsorbirati. Kada se pogleda u takvu štamparsku boju, boja koja se ne vidi je crvena. Ova boja se u potpunosti razlikuje od crvene, i tradicionalno ime za ovaj ton je cijan, kako je prikazano u tabeli 2.1.

Tabela 2.1 Apsorbovane boje i boje koje se dobijanju subtraktivnom sintezom

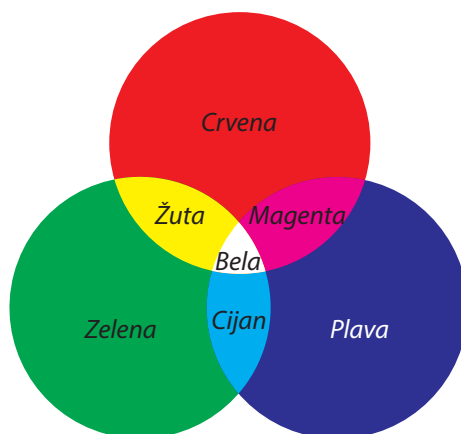
Svetlost koju apsorbuje boja	Boja koja se reflektuje
Crvena	Cijan
Zelena	Magenta
Plava	Žuta

Istom logikom, boja koja apsorbuje zelenu, a reflektuje plavu i crvenu svetlost se koristi da bi se kontrolisalo magenta komponenta na štampanoj slici. Žuta boja se koristi kako bi se apsorbirala plava a reflektovala zelena i crvena iz osnovne bele svetlosti.



Slika 2.6 Opisni krug boje koji koriste inženjeri i naučnici. Crvena, zelena i plava su boje aditivne sinteze. Cijan, magenta i žuta su osnovne boje subtraktivne sinteze koje se primenjuju u štamparstvu

Crvena, zelena i plava su osnovni tonovi, boje svetlosti, često u literaturi nazivani kao boje aditivne sinteze. Zajedno ovih šest tonova formiraju krug boje sličan Munsell-ovom, kako je prikazano na slici 2.6. Štamparski krug boja koristi se kao alatka za kvalitativni opis boje u štampi. Koristi se kao mapa za orijentaciju u prostoru boje tako da je poželjno naučiti raspored boja na štamparskom krugu. Npr. ako se pogleda štamparski krug boja može se odmah reći da će se plava boja dobiti dvostrukim nanosom transparentne kombinacije cijana i magente, zatim, da će kombinacija crvene i zelene rezultirati žutom bojom, i da će mešavina cijana i žute rezultirati zelenom.



Slika 2.7 Princip aditivnog mešanja svetlosti

Lako je razumeti zbog čega se smatra da su tri osnovne boje crvena, plava i žuta. Kao što je napomenuto nazivi boje mogu da stvore zabunu, ali instrumenti za merenje ne čine takve greške i numerički određuju tačnu boju (Novaković, Pavlović, Karlović, Pešterac, 2009).

2.2 Senzitometrija

Poznavanje instrumentalnih metoda merenja ima poseban značaj u rasterskim tehnikama. Tu se posebno izdvajaju specifičnosti pojedinih mernih uređaja i iz tog razloga se u nastavku izdvajaju njihove najznačajnije osobine.

Senzitometrija (*latinski sensitus - osetljivost, grčki metron - mera*) znači merenje osetljivosti fotografskog materijala na svetlost. Danas pojam senzitometrije ima dosta šire značenje. Senzitometrija se bavi ne samo merenjem osetljivosti na svetlo fotografskih slojeva, već i merenjem postojanosti fotografskih materijala, određivanjem gradacije i opšte spektralne osetljivosti, merenjem zacrnjenja i uticaja spoljašnjih faktora na rezultat razvijanja. Senzitometrija ne samo da definiše te karakteristike nego i daje metode ispitivanja tih osobina. Deo senzitometrije koji se bavi određivanjem optičke gustine, tj. zacrnjenja materijala kao što su filmovi, foto-papiri i štamparski otisci, zove se denzitometrija.

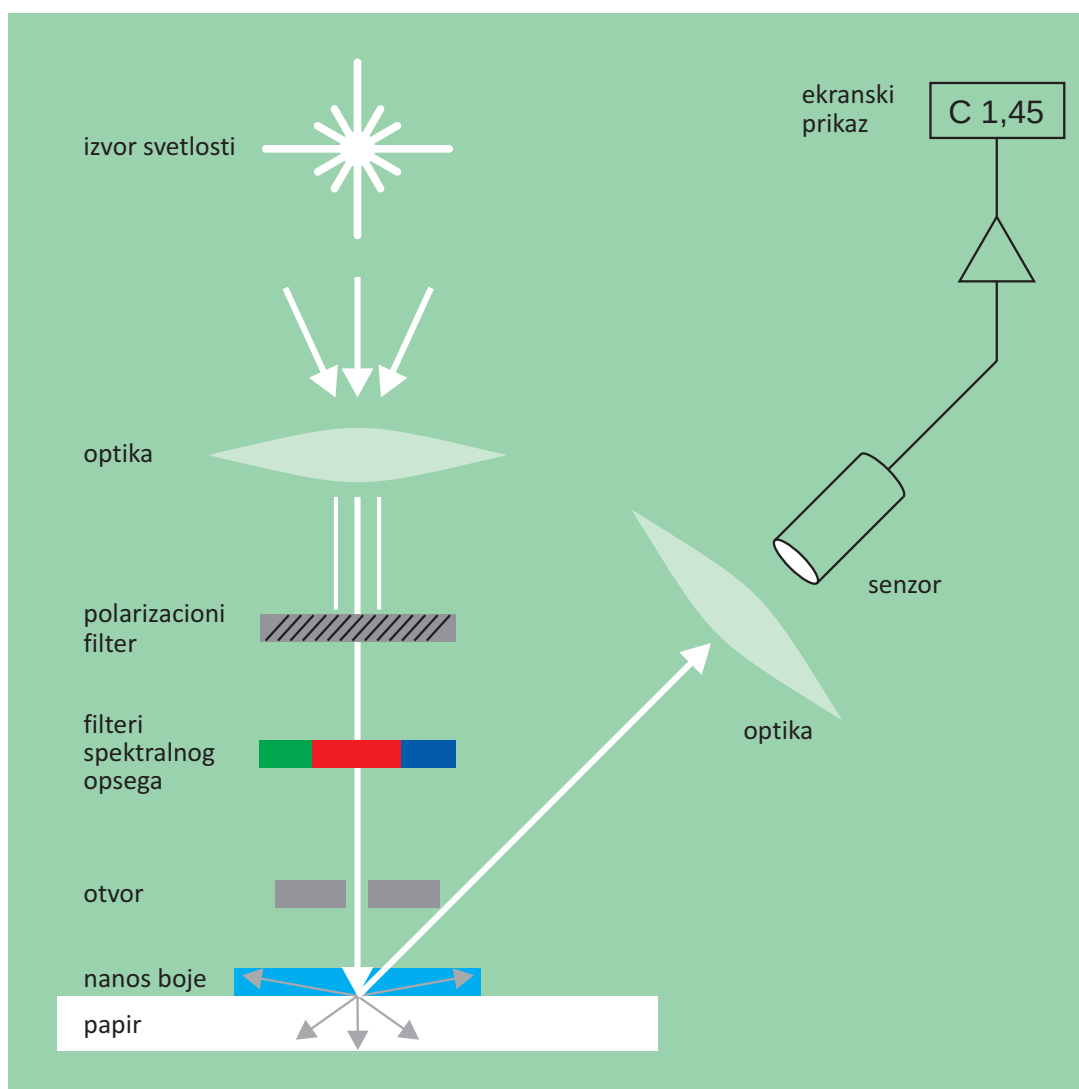
2.2.1 Denzitometar

Denzitometar je merni instrument koji meri optičku gustinu odštampanog uzorka ili filma. Metoda merenja se zasniva na detekciji reflektovanog osvetljenja i na osnovu refleksije izračunavanja optičke gustine logaritamskom funkcijom.

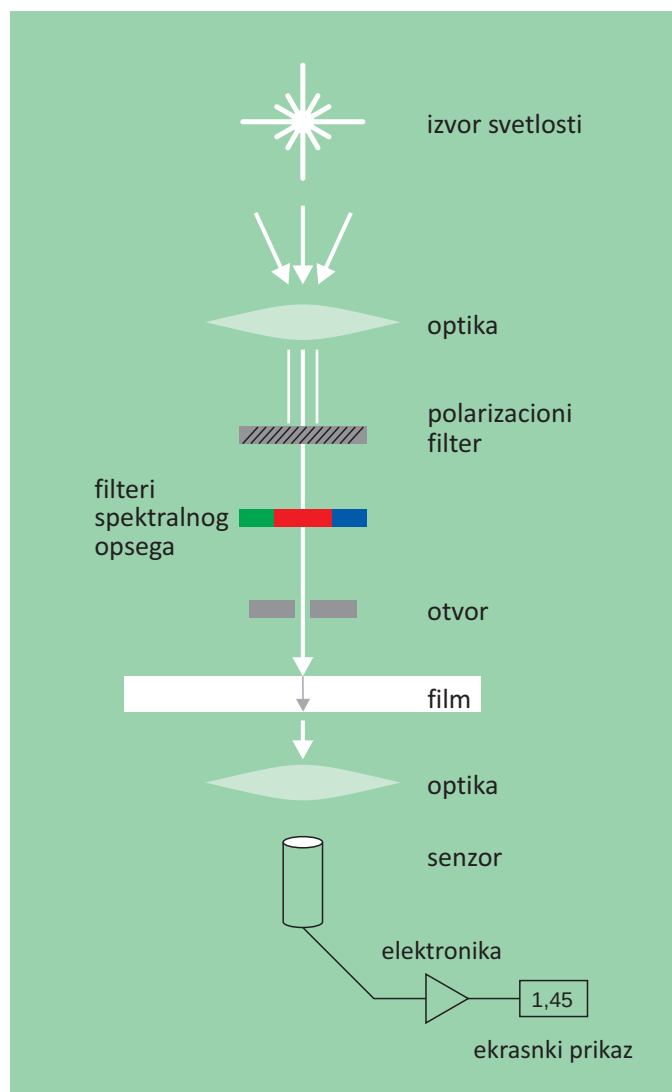
U zavisnosti od materijala za koje su namenjeni postoje tri vrste denzitometra. Prvi tip je refleksioni denzitometar koji je namenjen za merenje kod neprovidnih materijala, tj. meri količinu odbijene svetlosti od podloge. Sastoji se od sopstvenog izvora svetlosti, optike koja fokusira svetlost na željeno merno mesto, grupu filtera kojima se određuje spektralni opseg i

detektor svetlosti koji očitava količinu refleksije. Uzorak se najčešće osvetljava pod uglom od 90° , a očitava pod uglom od 45° (CIE, 2004). Drugi tip je transmisioni denzitometar koji služi za merenje količine svetlosti koja prolazi kroz transparentni materijal. Rade na istom principu kao i refleksioni gde se senzor nalazi ispod materijala. Treći tip denzitometra su uređaji koji kombinuju prva dva načina rada.

Denzitometri mere stimulus otiska na optimalnoj spektralnoj osetljivosti ne uzimajući pri tom ograničenja ljudskog vizuelnog sistema. Zbog svoje jednostavnosti izračunavanja vrednosti, brze i jasne upotrebe očitane vrednosti često se upotrebljavaju prilikom kontrole nanosa boje u toku procesa rada.



Slika 2.8 Prikaz rada refleksionog denzitometra



Slika 2.9 Prikaz rada transmisijonog denzitometra

Trohromatska priroda ljudskog vida omogućava racionalno objašnjenje zašto spektrofotometri mere određene veličine na štampanom otisku uz pomoć crvenih, zelenih i plavih filtera. Štamparski krug boje omogućava jasan uvid da se uz pomoć crvenog filtera denzitometrom može izmeriti intenzitet cijan boje. Visoka optička gustina (denzitet) crvene znači da je veliki deo crvene svetlosti apsorbovan, što ukazuje da slika reflektuje veću količinu cijan obojenja. Samim tim merenje apsorpcije crvene svetlosti se može iskoristiti za merenje količine boje cijana na odštampanoj stranici. Termin „gustina cijana“ se koristi umesto izraza „apsorpcija crvene“ zato što visoka optička gustina crvene se u očima posmatrača prikazuje kao cijan boja. Ovakva terminologija je nedosledna logici ali se ipak često koristi i kao takva je usvojena. Isto je i sa zelenim i plavim filterima koji se koriste kako bi se izmerile magenta i žuta boja. Pošto je za

proces štampe nanos boje veoma bitan parametar, kontrola u toku procesa se oslanja na denzitometar kao merni uređaj za kontrolu nanosa boje na tabaku papira.

2.2.2 Kolorimetri

Denzitometar koristi RGB filtere kako bi izmerio apsorpciju svetla koja je u korelaciji sa količinom CMY boje na štampanom tabaku. Međutim ako je analiza boje na tabaku usmerena na vizuelni doživljaj tj. percepciju obojenja odštampanog tabaka, a manje na količinu štamarske boje koja je naneta na tabak, tada se moraju koristiti uređaji sa specijalnim filterima umesto RGB filtera. Ovi specijalni filteri podešavaju spektralnu osetljivost instrumenta tako da bude u tačnoj korelaciji sa spektralnom osetljivošću tri konusna senzora u ljudskom oku. Instrument tada prevodi izmerenu apsorpciju u prostor boja koji je u korelaciji sa vizuelnim prikazom odštampane slike. Ovakvi instrumenti se nazivaju kolorimetri.

Kolorimetar meri boju simulirajući način na koji ljudsko oko reaguje na različite talasne dužine. Ovaj instrument meri tristimulusne vrednosti boja. Kao posledica načina funkcionisanja kolorimetra, vrednosti očitavanja obojenja prikazane su u CIE sistemima boja kao što su CIE XYZ, xyY, LAB ili LUV. Kako su vrednosti boja numerički izražene i nalaze se u prostoru boja, kolorimetar omogućava izračunavanje razlike boje ΔE koja predstavlja udaljenost dve tačke u prostoru boja. Što je ΔE vrednost veća, pozicije boja koje se porede su udaljenije, tako da se može zaključiti da je razlika u obojenju veća.

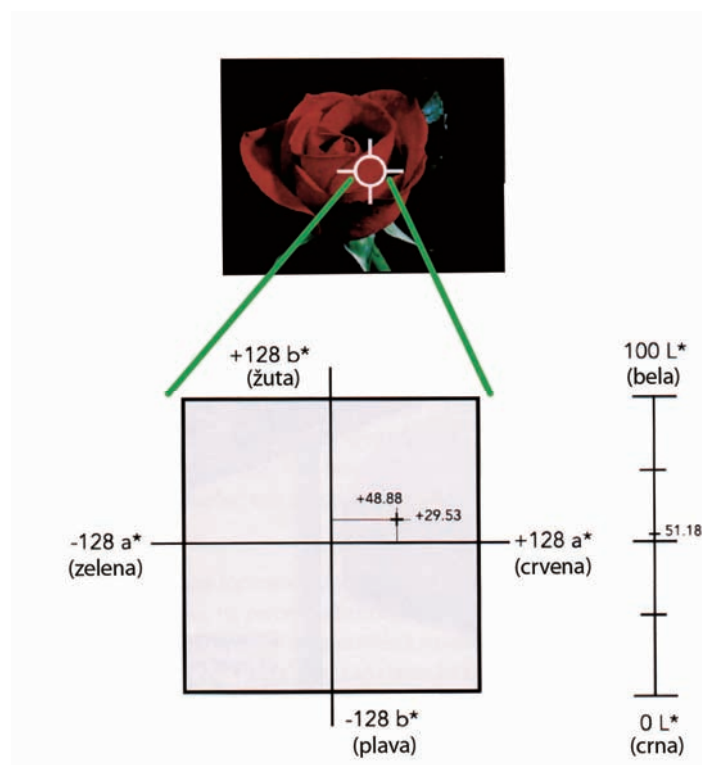
Tristimulusni kolorimetar je najjednostavniji uređaj za merenje boje koji meri tristimulusne vrednosti. Sadrži crvene, zelene i plave fotoreceptore, koji odgovaraju receptorima u ljudskom oku. Svetlost osvetljava otisak pod različitim uglovima i odbijena svetlost se sabira i prosleđuje detektoru. Detektor je građen od svetlo osetljivih dioda ispred kojih su pozicionirana tri različita filtera projektovana tako da aproksimiraju spektralnu osetljivost oka. Kolorimetri su pogodni za merenja razlike u boji jer vrednosti koje daju kao rezultat ne mogu da se upotrebe u svrhu kontrole u toku procesa štampe.

2.2.2.1 Korišćenje kolorimetra

Korišćenje kolorimetra podrazumeva određena znanja, ali i pruža tačno i precizno definisanje obojenja. U nastavku su nabrojane neke od prednosti i mogućnosti kolorimetra, definisanih od strane Xrite-a.

- Kontrola kvaliteta za proveru uzoraka u odnosu na standard (najčešće ΔE vrednost) pogotovo za vizuelno poređenje jedva primetnih varijacija pod specifičnim uslovima osvetljenja;
- Kolorimetar se koristi kao instrument pomoću kojeg se definišu ugovorne specifikacije, prilikom čega je potrebno ustanoviti i tolerancije;

- Kolorimetar ima mogućnost čuvanja izmerenih podataka i oni se mogu koristiti u statističkoj kontroli kvaliteta obojenja;
- Pomoću kolorimetra se mogu probni otisci i štampa uporediti sa naručenom štamparskom bojom;
- Pomoću nedestruktivnog merenja kolorimetrom može se doći do podataka koji su neophodni za reprodukciju, digitalnim katalozima, školske studije i muzejsku dokumentaciju;
- Arhitekte, arheolozi i ostali koji koriste kolorimetar kada se ispituje zgrada i mural gde se uzorak ne može doći ili uzeti. Kolorimetar omogućuje mnogo pouzdaniju osetljivost boje od fotografije koja je napravljena pod problematičnim svetlom;
- Korporacije mogu specifične boje u logotipu ili korporativnom znaku precizno odrediti pomoću CIE tristimulusnih koordinata. Ove vrednosti se mogu dostaviti svim prodavcima, reklamnim agencijama i ostalima koji reprodukuju ove boje, na način koji verifikuje kolorimetar (Xrite, 2000).



Slika 2.10 Kolorimetri mere količinu zelene, crvene i plave svetlosti reflektovane od objekta.

Koristeći CIE XYZ kao referentni prostor boja, kolorimetrijski podaci se konvertuju u

$L^*a^*b^*$ koordinate. U primeru na slici izmerene vrednosti su

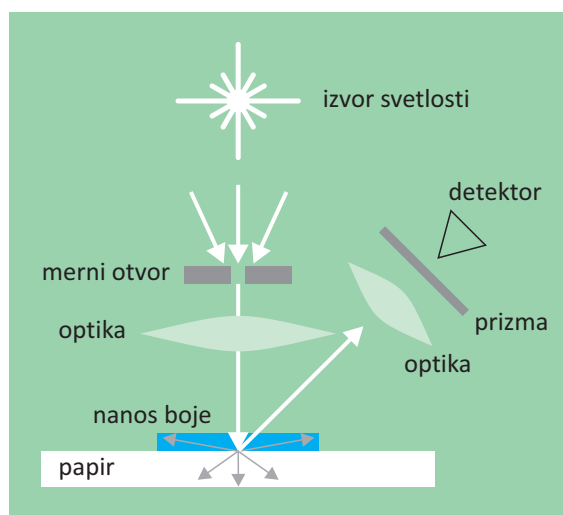
$L^* 51,13$; $a^* + 48,88$; $b^* + 29,53$ (2° standardni posmatrač i D50 standardno osvetljenje)

2.2.3 Spektoradiometri

Spektoradiometar meri apsolutne spektralne vrednosti svetlosnog izvora. Pogodni su kako za merenje objekata tj. površina koji reflektuju svetlost tako i objekata koji isijavaju svetlost. Kod merenja reflektujućih površina potreban im je svetlosni izvor. Svetlost se preko sočiva sakuplja u instrument, zatim se razlaže na spektralne komponente i šalje do detektora. Retko se upotrebljavaju u grafičkoj industriji zbog nepostojećeg standardizovanog svetlosnog izvora. Koriste se za merenje boja različitih displeja i ekrana.

2.2.4 Spektrofotometri

Spektrofotometri mere odnos između upadne i reflektovane svetlosti na više tačaka vidljivog spektra. Svetlosni izvor osvetljava uzorak nakon čega se reflektovana svetlost razlaže na spektralne komponente. Sadrže tačno definisan izvor svetla tako da su pogodni za upotrebu u grafičkoj industriji (prilikom analize otisaka).



Slika 2.11 Princip rada spektrofotometra

2.3 Kolorimetrijske koordinate

Izgled kolorimetra je sličan RGB denzitometru. Ipak, kolorimetar poseduje specijalne filtere koji mu omogućavaju da umesto da meri vrednosti apsorpcije (crvene, zelene i plave gustine), meri tristimulusnu refleksiju koja se izražava kao kolorimetrijske koordinate $[X, Y, Z]$. Ove koordinate obojenja su u vezi sa ljudskim sistemom vizualne percepcije. Ne postoje dve boje koje imaju iste koordinate $[X, Y, Z]$ vrednosti. Samo boje koje izgledaju identično će imati iste $[X, Y, Z]$ vrednosti. Ovo nije slučaj sa RGB denzitometrima. Ako je predmet interesovanja ponašanje (nanos boje na tabaku), denzitometar je zadovoljavajući instrument, međutim ako je predmet interesovanja vizuelni kvalitet odštampanih boja ili potreba postizanje tačno određenog i definisanog

obojenja tada se koristi kolorimetar. Ova dva različita instrumenta koriste dve različite vrste filtera i zato nije moguće izvršiti konverziju rezultata iz jednog instrumenta u drugi. RGB vrednosti apsorpcije se ne mogu prevesti u tačne XYZ tristimulusne vrednosti, i XYZ vrednosti se ne mogu konvertovati u tačne RGB vrednosti apsorpcije. Aproximativna korelacija se može uraditi između ove dve vrednosti, ali preciznost ove korelacije je ograničena.

$$100 / K = \int_{400}^{700} P(\lambda) \cdot y(\lambda) d\lambda \quad (1)$$

$$X = K \cdot \int_{400}^{700} R(\lambda) \cdot P(\lambda) \cdot \bar{x}(\lambda) d\lambda \quad (2)$$

$$Y = K \cdot \int_{400}^{700} R(\lambda) \cdot P(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) d\lambda \quad (3)$$

$$Z = K \cdot \int_{400}^{700} R(\lambda) \cdot P(\lambda) \cdot \bar{z}(\lambda) d\lambda \quad (4)$$

Tri broja koja se dobijaju kao izlaz iz kolorimetra, označavaju jedinstveno i nedvosmisleno koordinatno mesto na kojem se nalazi određena boja. Međutim, postoji nekoliko koordinatnih sistema boja koji se mogu koristiti, pa su u češćoj upotrebi. Varijable [X, Y, Z] se najčešće sreću kod kolorimetara. Ova tri broja su definisana prema integralnim funkcijama prikazanim u jednačinama 1-4. Termin $P(\lambda)$ predstavlja specijalnu distribuciju energije svetlosti pod kojom se posmatra odštampana slika, $R(\lambda)$ je spektralna refleksija odštampane slike.

Elementi $\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$ se nazivaju funkcije poređenja boje, a to su funkcije koje su linearno povezane sa spektralnom osetljivošću ljudskog oka. Sa dobro odabranim filterima, kolorimetar automatski izvršava kalkulaciju preko jednačine (1) do jednačine (4) automatski, tako da su izlazni rezultati koje prikazuje X, Y, Z vrednosti boje. Način rada je sličan kao i kod denzitometara koji prikazuje vrednosti RGB apsorpcije. XYZ vrednosti se mogu smatrati više vrednostima same refleksije, nego vrednostima apsorpcije.

Većina kolorimetara može da predstavi XYZ koordinate boje ali ih i preračunava u ostale korisne prostore boja. Mnogi komercijalni instrumenti konvertuju XYZ koordinate u $L^*a^*b^*$ prostor boja, koji je mnogo upotrebljiviji kod opisivanja razlike obojenja koje se mogu pronaći između dve odštampane boje (Arney, 2006).

2.4 Raster

Osobina oka da prima srednju refleksiju svetlosti od slike omogućava da rasterska slika ima privid slike kontinualnih tonova. Odbijeni od slike kontinualnih tonova, svi zraci imaju istu refleksiju, i takvi dospevaju u oko. Kod rasterizovane slike, postoje dva tipa zraka, zraci koji se odbijaju od podloge i dolaze u oko posmatrača i zraci koji se odbiju od odštampane boje. Zraci koji se odbiju od podloge su veoma svetli, dok su drugi tamniji (u zavisnosti od boje na koju su pali). Ukoliko su rasterske tačke dovoljno sitne, posmatrač percipira prosečnu vrednost ulaznih zraka. Kod slike kontinualnih tonova, svetlina slike može da se prikaže kroz refleksiju (R)

$$R = I/I_0 \quad (5)$$

Kod rasterskih reprodukcija za R se uzima prosečna vrednost refleksije papira (R_p) i boje (R_b)

$$R = F \cdot R_b + (1 - F) \cdot R_p \quad (6)$$

Gde je F deo slike koji je prekriven odštampanim rasterskim tačkama, a $(1 - F)$ površina papira između rasterskih tačaka.

Kako se optička gustina boja (D) može izračunati iz dobijene refleksije

$$D = -\log(R) \quad (7)$$

Izračunavanje površine papira prekrivene rasterskim tačkama (F) tada je:

$$F = \frac{10^{-Dp} - 10^{-D}}{10^{-Dp} - 10^{-Db}} \quad (8)$$

Gde su Dp optička gustina boje podloge i Db optička gustina boje.

Ako se za relativnu optičku gustinu papira uzme vrednost od 0 (tj. da je papir beo), tada se jednačina (7) može prikazati

$$F = \frac{1 - 10^{-D}}{1 - 10^{-Db}} \quad (9)$$

Jednačina (8) poznata je kao Murray-Davies formula koja izračunava količinu površine pod odštampanim rasterskim tačkama kako bi se dobilo željeno zacrnjenje. Prilikom procesa rasterizacije, željena vrednost zacrnjenja, odnosno refleksije R , sa slike kontinualnih tonova, pretvara se u površinu pokrivenosti tačkom F , koji na taj način određuje vrednost rasterskog polja (Majnarić, 2004).

Murray-Davies-ova jednačina je tek početna jednačina u procesu rada RIP (*Raster image processor*) uređaja jer obuhvata samo idealne uslove postavljanja rasterskih tačaka. Odštampana rasterska tačka, na podlozi, pod velikim je uticajem različitih parametara koji menjaju njenu, kako fizičku dimenziju, tako i percepciju, tj. optičku veličinu.

2.4.1 Štampa u boji

Murray-Davies-ova jednačina opisuje monohromatski raspored tačaka. Kako bi se mogla primeniti proširena je od strane Neugebauer-a (Slavuj, Nussbaum, & Hardeberg, 2013). Boja odštampanih rasterskih separacija zavisi od pozicioniranja rasterske strukture jedne na drugu kao i njihovog preciznog registra. Kako savršeno precizan registar nije moguć u praktičnoj primeni, cilj pozicioniranja rasterskih tačaka jeste nasumičan. Nasumičan raspored odgovara promeni uglova rastera koji je potreban zbog uklanjanja moiré-a. Rotiranjem separacija za tačno određeni broj stepeni (npr. 15°, 45°, 0°, 75°) međusobno, preklapanje tačaka koje se događa na otisku postaje kvazi nasumično, tj. preklapanje tačaka se vrši po svim uglovima i različitim procentima površine. Ovakav način preklapanja omogućava kalkulaciju obojenja koja će se dobiti uvrštavanjem svih preklapanja u finalni rezultat. Nasumična preklapanja rezultuju mikrobojama koje je prvi opisao Neugebauer. Kako bi se dobila boja koja će biti rezultat preklapanja potrebno je formirati tri signala, F_c , F_m i F_y (F_c – deo slike prekriven cijan rasterskim tačkama, F_m – deo slike prekriven magenta rasterskim tačkama i F_y – deo slike prekriven žutim rasterskim tačkama) u *Raster Image Processor*-u koji odgovaraju vrednosti F u jednačini (6). Tri signala svojim preklapanjem stvaraju osam delova obojenja (belu, cijan, magentu, žutu, crvenu, zelenu, plavu i crnu). Region bez frakcija F_c , F_m i F_y je bele boje. Površina sa sva tri fragmenta prikazuje se kao crna. Primarne boje se štampaju i meri se njihova refleksija kao i bojene koordinate X , Y i Z . Kao krajnji korak izračunava se odštampana boja. Uz pomoć (6) izračunava se refleksija koja sada ima prošireni model:

$$R(\lambda) = \sum_{i=1}^8 f_i R_i(\lambda) \quad (10)$$

Sada se mogu primeniti izračunavanja za koordinate boja na spektrum refleksije $R(\lambda)$ kako bi se one izračunale.

$$X = \sum_{i=1}^8 f_i X_i \quad (11)$$

$$Y = \sum_{i=1}^8 f_i Y_i \quad (12)$$

$$Z = \sum_{i=1}^8 f_i Z_i \quad (13)$$

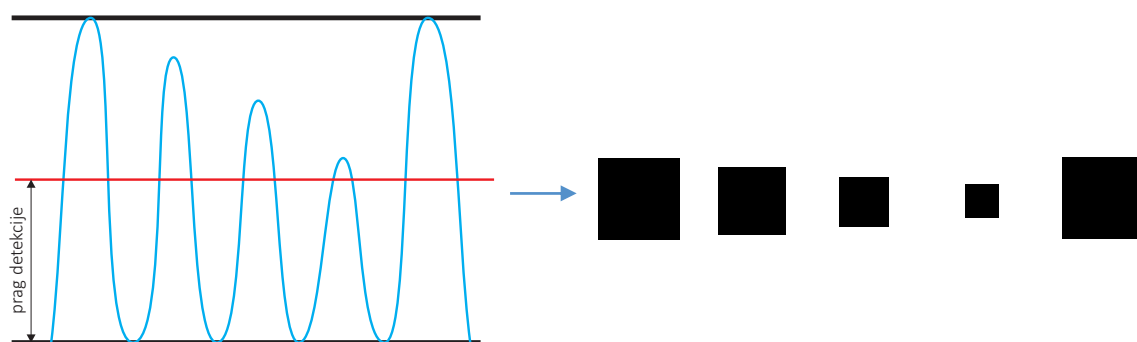
Praktična primena ovih jednačina ogleda se u mogućnosti odabira koordinata X , Y i Z te na osnovu obrnutih jednačina omogućava se izračunavanje procenta pokrivenosti rastera za svaku od separacija. Ovo izračunavanje se oslanja na statističke metode kreiranja empirijskih jednačina predviđajući frakcije F_c , F_m i F_y (Lee, 2005).

2.4.2 Dostignuća u rasterizaciji

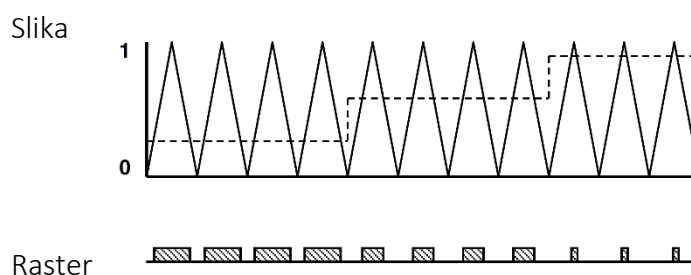
Digitalno rastriranje je proces prikazivanja slika sa kontinualnim tonovima uz pomoć uređaja (medija) koji nemaju mogućnost direktne interpretacije kontinualnih tonova, već generisanja samo dva nivoa sive za svaku tačku izlaza uređaja (Yu & Parker, 1997).

Od kada je, u proteklih 40 godina, iz analognog postupka rastriranja tehnologija omogućila prelazak u digitalni postupak, istraživano je mnogo različitih tehnika rastriranja. Samo nekoliko njih je našlo širu primenu u konvencionalnim grafičkim sistemima. Sada se na proces rasterizacije gleda kao na proces konverzije podataka iz većeg u manji skup, osiguravajući pri tom da podaci iz manjeg skupa i dalje verno reprezentuju skup iz kojeg su nastali. S tim u vezi treba sagledati dve strane rastera, strukturu koju čini raster i njegovu kompleksnost.

Struktura AM rastera proizilazi iz načina prenosa poruka u telekomunikaciji. Promenom amplitude kodira se signal modulacijom opsega na konstantnoj frekvenciji. Na isti način formira se AM rasterska struktura tačaka sa ujednačenom frekvencijom, tj. na istim odstojanjima, dok njihova amplituda, tj. veličina zavisi od nivoa zacrnjenja slike (Slika 2.12).

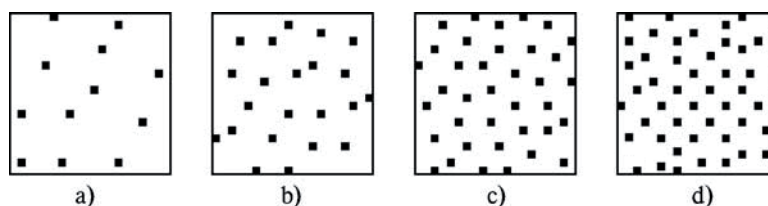


Slika 2.12 Ilustracija algoritma rastriranja zasnovan na pragu detekcije



Slika 2.13 Promena praga detekcije zacrnjenja određuje veličinu rasterske tačke

U zavisnosti od praga detekcije može se odrediti veličina rasterskih elemenata kako je prikazano na slici 2.13.



Slika 2.14 Formiranje AM rastera za najmanje vrednosti zacrnjenja pre povećanja rasterske tačke

Na sličan način FM raster je nazvan po sistemu prenosa informacija promenom učestalosti signala. Signal se kodira promenom učestalosti podataka sa fiksnom amplitudom. Na taj način formira se struktura sa istom veličinom tačaka, ali promenjenim rasporedom kao funkcijom zacrnjenja.

2.4.2.1 Algoritmi rasterizacije detekcije praga

Kako bi se slika sa većim brojem podataka nego što može biti prikazano od strane nekog medija, na tom mediju što vernije prikazala, potrebno je odrediti koji podaci će se iz originalnog fajla izbaciti, a koji će se reprodukovati na mediju. Kada se govori o štampi nivo bita, tj. mogućnost prikaza informacija je jednobitna (tačke na podlozi ili ima ili nema). To znači da se slika sa kontinualnim tonovima mora redukovati kako bi se svela na jednobitni nivo podataka. Prvi način jeste postavljanje nepromenljivog nivoa, tj. praga. Fiksni prag jeste mera koja određuje da li će se određeni piksel na originalnoj slici prevesti u crni ili beli na reprodukciji. Za zadati prag, metod poredi svaki piksel sa vrednošću praga (Ulichney, 1999). Ako je intenzitet manji ili jednak pragu, rezultujući piksel će biti crni. Ako je intenzitet veći od praga, tada će piksel biti beli. Rezultat kvantizacije (diskretizacije) je slika koja se po detaljima prilično razlikuje od originala (Slika 2.15).



Slika 2.15 Rezultat algoritma rasterizacije detekcije praga

Uvođenjem diskretnog ujednačenog šuma slici, pre primene detekcije praga neki od negativnih aspekta prethodnog metoda mogu biti uklonjeni. *Dithering* ili šum vizuelno povećava broj nivoa sive u rezultujućoj slici (Slika 2.16). Šum menja obojenje susednih piksela tako da srednja vrednost obojenja odgovara vrednosti originalne slike. Posmatrano sa odstojanja površina poprima odgovarajući nivo sive umesto da je ograničen samo na crno beli prikaz. Metod poredi svaki piksel slike sa različitim pragom detekcije. Različite strukture rastera mogu se dobiti algoritmima sa pragom detekcije. Stohastički raster takođe može biti kreiran na ovaj način. Kao što je već rečeno, kod stohastičkog rastera veličina tačke ostaje konstantna dok se njena učestalost menja. U svetlijim delovima slike, crni pikseli su udaljeniji međusobno i stvaraju šablon sa niskom frekvencijom. U tamnijim delovima slike, crni pikseli su bliži jedan drugom kreirajući šablon sa visokom frekvencijom. Ova promena frekvencije svrstava ovakav stohastički raster u red FM rastera.



Slika 2.16 Rezultat uvođenja šuma u algoritam detekcije praga

Prilagođavanje tehnici štampe mora se prilagoditi rezoluciji izlaznog uređaja, što najčešće podrazumeva grupisanje tačkica. Najjednostavniji i najčešće primenjeni način rasterizacije je rasterizacija grupisanim tačkama. To je dvodimenzionalni niz brojeva koji definiše rastersku tačku, koji je digitalna reprezentacija optičkog šablona dobijenog kontaktnim rastriranjem. Svaka od ćelija koja se nalazi na površini slike se poredi sa vrednošću piksela na toj lokaciji. Ako je vrednost piksela veća od praga koji je zadat za raster na toj lokaciji, na tom mestu se beleži beli piksel, ako je manja upisuje se crni. Poređenjem vrednosti za svaki od piksela stvara niz crnih i belih piksela raspoređenih po površini slike. Veličina tačke će se menjati u zavisnosti od svetline slike u tom regionu. Što je tamniji deo slike koji se poredi, veća će biti rasterska tačka.

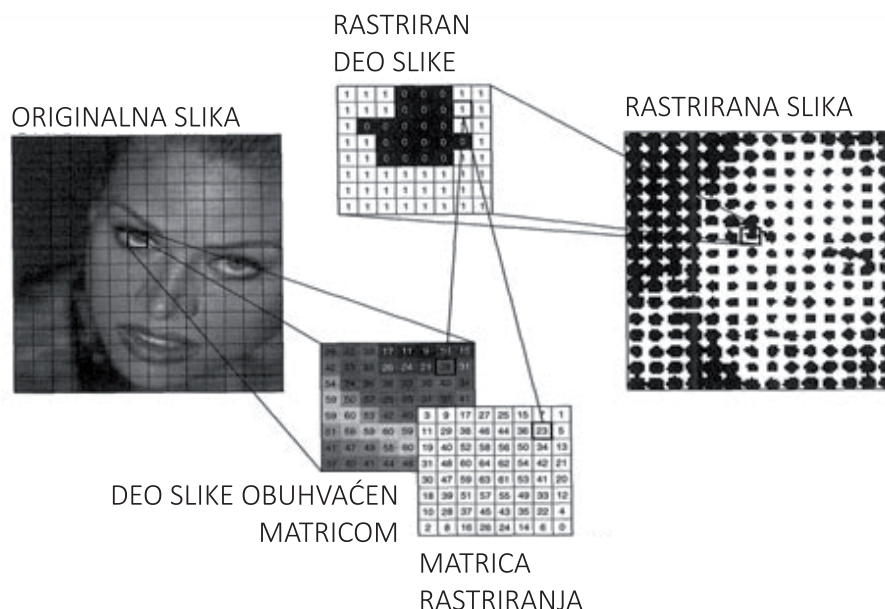
Uređeni prag detekcije (S), umesto upotrebe fiksne vrednosti za celu sliku ili promenljive vrednosti za svaki piksel, koristi matricu predefinisano šablona (M). Matrica predstavlja raspored piksela na slici pri čemu svaki piksel se poredi sa odgovarajućom vrednosti praga iz matrice.

$$S=[M] \quad (14)$$

$$S = \begin{bmatrix} 34 & 29 & 17 & 21 & 30 & 35 \\ 28 & 14 & 9 & 16 & 20 & 31 \\ 13 & 8 & 4 & 5 & 15 & 19 \\ 12 & 3 & 0 & 1 & 10 & 18 \\ 27 & 7 & 2 & 6 & 23 & 24 \\ 33 & 26 & 11 & 22 & 25 & 32 \end{bmatrix}$$

Slika 2.17 Matrica rasterizacije

Kako bi se primenio ovaj metod potrebno je formirati filter iste veličine kao i slika, na taj način da se matrica ponavlja onoliko puta koliko je potrebno da prekrije čitavu površinu slike. Dobijeni filter služi za smanjenje količine podataka (kvantizaciju) originala na N broj nivoa sivog tona, gde je N-1 broj vrednosti praga u matrici. Nivo kvantizacije je određen kao $D=255/(N-1)$. Ovako kvantizovana slika se onda poredi sa odgovarajućom matricom filtera (Ulichney, 1999).



Slika 2.18 Proces rasterizacije iz koraka: slika – kvantizacija – matrica – rasterska tačka od piksela – kompletna slika od rasterskih tačaka (Lau, 2008)

Kao što se može videti u primeru najmanje računarski zahtevni način jeste nazvan grupisane tačke. Šablon koji se dobija je prepoznatljivi AM šablon sa tačkama na istom rastojanju, a različitih veličina. Promenom različitih matrica dobijaju se različiti šabloni kao što su šablon sa središnjom belom tačkom, ujednačenom središnjom tačkom, kao i sa dijagonalnom matricom sa ujednačenom središnjom tačkom. Svaka od ovih matrica kompleksnija je za izračunavanje te je i računarski i vremenski zahtevnija.

Dispergovana tačka je još jedan tip algoritama rasterizacije sa uređenim pragom detekcije. Dispergovana tačka daje periodični deterministički šablon koji proizvodi sliku sa visokom

frekvencijom u prostornom domenu. Prag detekcije je raspoređen tako da je udaljenost crnog od belog piksela što je moguće veća. Ovakva distribucija tačke primenu je našla kod displeja sa smanjenim brojem bita, kao i kod matričnih štampača. Kompleksnost izračunavanja rezultujuće slike je veća nego kod grupisanih piksela što se može videti iz matrica kojima se ovakva aproksimacija postiže. Tehniku je opisao *Bayer* i zasnovana je na obrascu proređivanja tačke, kako je sledi (Bayer, 1973).

$$S = \begin{bmatrix} 4D & 4D + 2U \\ 4D + 3U & 4D + U \end{bmatrix} \quad (15)$$

Gde D može biti

$$D = \begin{bmatrix} 8 & 4 & 5 \\ 3 & 0 & 1 \\ 7 & 2 & 6 \end{bmatrix} \quad (16)$$

Postoje različite varijante matrice D dok je U matrica iste veličine sa svim elementima jednakim jedinici.



Slika 2.19 Rezultat rasterizacije dispergovanom tačkom

2.4.3 Prostorno prilagodljivi algoritmi

Prostorni prilagodljivi algoritmi su oni algoritmi koji odluku o obojenju svakog piksela donose koristeći informacije o susednim pikselima. Sam algoritam može biti u više različitih varijanti: jednostruki (*single pass*), višestruki (*multiple pass*) ili iterativni. Upravo zbog toga ovi algoritmi spadaju u veoma računarski zahtevne. Većina prostorno prilagodljivih algoritama generišu FM rastere.

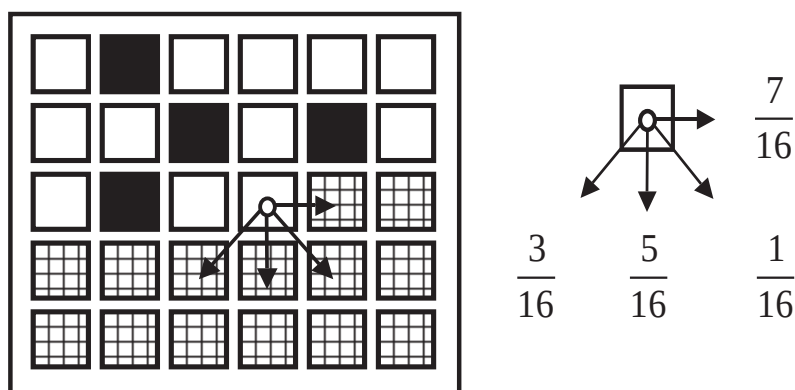
Raspodela greške (raspodela razlike) je jedan od prvih prostorno prilagodljivih algoritama, koji je takođe i najjednostavniji. Algoritam koristi jednostruki metod koji izračunava izlaznu vrednost piksela uzimajući u obzir izlaznu vrednost posmatranog piksela i vrednosti svih prethodno izračunatih piksela. Svaki piksel originalne slike I se određuje uz pomoć praga na 50% (izračunava se razlika između vrednosti originalne slike i rezultujućih vrednosti obrađene slike). Na taj način se dobija vrednost greške $err(i,j) = I(i,j) - T(i,j)$. Ova vrednost greške se dalje raspoređuje na susedne piksele koji nisu bili izračunati prema filteru raspodele F . Vrednost greške odgovarajućeg piksela se dodaje vrednosti piksela originalne slike i ova izmenjena vrednost se koristi za određivanje piksela procesiranjem slike liniju po liniju. Prvi filter raspodele dali su **Floyd i Steinberg** 1975 godine (Floyd, Steinberg, 1975; Zhuge, Nakano, 2010).

$$F = \frac{1}{16} \begin{bmatrix} 3 & * & 7 \\ 3 & 5 & 1 \end{bmatrix} \quad (17)$$



Slika 2.20 Rezultat rasterizacije Floyd i Steinberg algoritma

Slika 2.21 ilustruje izvršenje algoritma, piksel po piksel, kroz celu sliku. Pikseli u gornjem delu slike su već određeni kao crni ili beli pikseli. Piksel u sredini je definisan kao beli. Originalni piksel kojeg treba predstaviti definisan je kao siv. Jasno je da se između postavljenog belog piksela i originalnog piksela javlja greška u svetlini. Može se reći da je novoformirana slika svetlija za tu vrednost greške između ova dva piksela. Ta greška učinila je da je rezultujuća slika svetlija za razliku greške. Kako bi se ispravila veća svetlina slike, greška se deli na manje delove, koji se oduzimaju od susednih piksela. Na ovaj način se greška ne zanemaruje nego raspoređuje na susedne piksele koji dobijaju novu vrednost kako bi nadoknadili grešku nastalu u kvantizaciji. Time se postiže da ukupna razlika između originalne i rastrirane slike bude što je moguće manja kada je u pitanju vrednost svetline.



Slika 2.21 Raspoređivanje greške na susedne piksele

Floyd i Steinberg predlažu prikazani raspored težine greške (Slika 2.21). Kada se algoritam izvrši, svi pikseli izlazne slike će biti ili crni ili beli. Ono što algoritam garantuje da će ukupna vrednost svih binarnih piksela biti približna sumi piksela originalne slike, međutim pokazalo se da će i lokalne vrednosti piksela biti veoma blizu originalnim vrednostima piksela, što osigurava dobru vizuelnu sličnost.

Negativni efekti ovakvog filtera ogledaju se u stvaranju crnih linija u svetlim partijama slike. Te crne linije potiču iz asimetričnog dela funkcije filtera, koji omogućava stvaranje crnih piksela u jednom pravcu. Isti efekat javlja se i u zacrnjenim delovima slike gde se manji broj belih piksela stepenasto spaja i formira bele linije.

Sastavni deo metode raspodele greške jeste pojačavanje ivica. Razlog tome je što je izlazni spektar slike, direktno rezultat ulaznog spektra kojem su pridodati elementi u visokim frekvencijama. Rezultujuća slika izgleda oštrije te je mnogo veći detalja vidljiviji u odnosu na druge tehnike rasterizacije.

Druge raspodele greške su se razvile od Floyd i Steinbergovog pristupa. Jarvis, Judice i Ninke (Judice, Jarvis, Ninke, 1976) filter je kompleksniji, tj. obuhvata raspodelu greške na više piksela.

Iako proizvodi bolji izlazni rezultat nego Floyd i Steinberg ovaj filter je mnogo sporiji u svojoj implementaciji. Sa deliocem od 48, onemogućava korišćenje jednostavnog pomeranja bitova kako bi raspodelio težinu greške, nego je potrebno koristiti napredne procesorske funkcije podele. Kalkulacija se dodatno usložnjava činjenicom da filter mora da menja 12 susednih piksela, tri puta više od Floyd-Steinbergovog filtera. Memorijski je zahtevniji jer se greška širi na tri reda, što znači da program mora da čuva još dva niza podataka o razlikama što zahteva dodatnu memoriju i vreme proračuna.

$$F = \frac{1}{48} \begin{bmatrix} & * & 7 & 5 & \\ 3 & 5 & 7 & 5 & 3 \\ 1 & 3 & 5 & 3 & 1 \end{bmatrix} \quad (18)$$

Stucki predlaže drugačiju raspodelu greške (Strucki, 1981). Može se videti da i ona obuhvata veći broj susednih piksela na čije vrednosti utiče, i čije izračunavanje usporava proces rasterizacije. Međutim ona donekle ubrzava proces jer se, posle prvog izračunavanja 8/42, ostali razlomci izračunavaju samo pomerajem. Strucki filter daje čist, jasan izlazni rezultat što opravdava duže vreme izračunavanja.

$$F = \frac{1}{42} \begin{bmatrix} & * & 8 & 4 & \\ 2 & 4 & 8 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 4 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad (19)$$

Sve ove nedostatke uklonio je Daniel Burks tako što je uklonio treći red filtera (Burkes, 1988). Osnovna razlika je da je delilac sada bio 32 tako da su se vrednosti razlike mogle ponovo proračunavati pomeranjem dok je broj susednih piksela koji su obuhvaćeni filterom svedeni na sedam. Ovo uprošćavanje smanjilo je potrebu za memorijskim prostorom zbog tri reda podataka, koje je zahtevao Stucki filter.

$$F = \frac{1}{32} \begin{bmatrix} & * & 8 & 4 & \\ 2 & 4 & 8 & 4 & 2 \end{bmatrix} \quad (20)$$

Godine 1989, Frankie Sierra predstavlja svoju verziju filtera sa tri reda (Sierra, 1989).

$$F = \frac{1}{32} \begin{bmatrix} & * & 5 & 3 & \\ 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \\ & 2 & 3 & 2 & \end{bmatrix} \quad (21)$$

Ovaj filter Sierra je modifikovao nekoliko puta da bi se postigla jednostavnost sa samo četiri delioca, za koji je tvrdio da daje bolje rezultate od Floyd i Steinbergovog filtera.

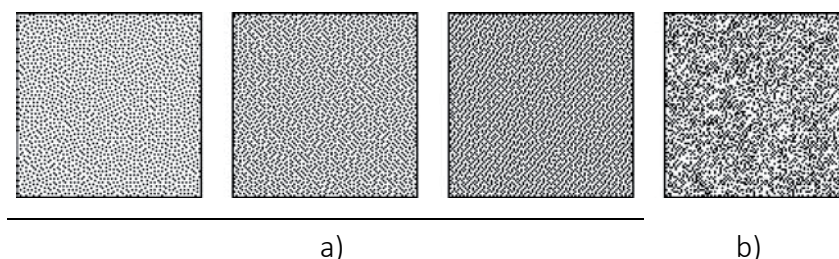
$$F = \frac{1}{16} \begin{bmatrix} & * & 4 & 3 \\ 1 & 2 & 3 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{Sierra2} \quad (22)$$

$$F = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} & * & 2 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{Sierra-2-4A} \quad (23)$$

2.4.3.1 Raspodela greške za višebojnu štampu

Kod monohromatskih slika, primena algoritama za raspodelu greške daje zadovoljavajuće rezultate. Razvoj i upotreba različitih filtera doveli su ovaj algoritam na prilično veliku upotrebljivost. Dodavanjem još jednog parametra kao što je boja, stvari se drastično menjaju. Uvođenjem parametra boje u algoritam raspodele greške menja se priroda samog algoritma i vizuelne karakteristike rezultujuće slike. Kako bi se višebojni originali rastrirali potrebni su drugačiji algoritmi raspodele greške. Prvi i najjednostavniji algoritam jeste skalarna raspodela greške za slike u boji. Ovaj metod može biti primenjen na svaku separaciju posebno, koristeći pristup raspodele greške za monohromatske slike. Pre definisanja separacija svaka slika mora preći u CMYK prostor boja.

Algoritmi za raspodelu greške rezultiraju prostornom raspodelom visoke frekvencije i smanjuju vidljivost rasterskog šablona. To je slučaj i sa svakom od separacija kreiranom sa skalarnim raspodelom greške. Kombinovanjem tri nezavisno dobijene separacije (koje nisu međusobno u korelaciji) dobija se šum niske frekvencije. Ekstremni slučaj je prikazan na slici 2.22 gde su prva tri crno-bela rastera (nezavisne separacije sa pozitivnim karakteristikama stohastičkog rastera) kombinovana u jednu sliku (2.22 b). Rezultat je šum niske frekvencije jer crni pikseli sa prve tri separacije se uklapaju nasumično i obrazuju nepoželjne vidljive strukture rastera. Šum je manje vidljiv kod separacija u boji, zbog slabije refleksije žute boje, ali je i dalje prisutan. Iz ovog razloga skalarna raspodela greške za slike u boji se ne može koristiti u štampi.



Slika 2.22 Spajanje tri nezavisne separacije rezultira šumom niske frekvencije

2.4.3.2 Vektorska raspodela greške za slike u boji

Vektorska raspodela greške za slike u boji je uvedena u rasterizaciju za proces štampe kako bi rešila problem koji se javlja spajanjem separacija koje nisu u korelaciji jedna sa drugom, tj. rešavanje šuma koji se javlja prilikom rastriranja u boji. Algoritam prvo bira grupu osnovnih boja koje će koristiti. Ta grupa može sadržati više boja, ili kada je u pitanju priprema za štampu set od dve boje (maksimum i minimum nanosa) tj. ima boje ili nema boje za svaku od CMYK separacija. Algoritam povezuje ulaznu komponentu slike sa dozvoljenim izlaznim nivoima i bira boju koja je najbliža originalu. Funkcija kvantizacije u ovom slučaju meri vektorski udaljenost od ulazne boje do svih raspoloživih osnovnih boja i bira osnovnu boju koju će preuzeti na osnovu najkraćeg rastojanja od nje. Kao rezultat dobijaju se CMYK separacije koje su u međusobnoj korelaciji, tako da su u rezultujućoj slici tekstone šuma niskih frekvencija minimalizovane. Međutim pokazalo se kako i ova raspodela nije idealna, jer se zbog velikih razlika između ulaznog i izlaznog piksela, prevelika greška prenosila na susedne piksele te su oni menjali svoje originalno obojenje. Metodi koji su umanjivali ove probleme dalje su se razvijali (Fan i Harrington, 1999) te su kombinovali ove dve tehnike.

Prethodno definisani algoritmi, uzimajući u obzir diskretizaciju i gubitak podataka, daju veoma dobru reprezentaciju originala kontinualnih tonova. Rezultat je izolovana tačka koja sadrži visoku frekvenciju. Prenos ovako sitnog elementa na grafičku podlogu je gotovo nemoguć, a da se pri tom omogući kontinuitet štampe i ponovljivost. Prenos ovakve tačke omogućen je samo kod visokokvalitetnih štamparskih sistema ili čak ink-džet sistema koji imaju visoku adresibilnost. Kada je u pitanju ofset štampa izbacivanjem izrade filma iz procesa pripreme omogućilo se kreiranje štamparskih formi direktnim osvetljavanjem. CTP uređaji visoke rezolucije su u stanju da odgovore izazovu ovako sitnih izolovanih elemenata, ali se problem javlja u procesu prenosa boje iz sistema za obojenje na štamparsku formu, zatim prenos boje sa štamparske forme na cilindar međuprenosač i na kraju sa cilindra međuprenosača na podlogu. Sve to odvija se delovanjem pritiska između svakog od nabrojanih elemenata.

Uviđajući potrebu za smanjenjem frekvencije rasterskih elemenata predlaže se novi pristup koji bi omogućio upotrebu stohastičkog rastera i na manje pouzdanim uređajima i procesima štampe. Rešenje smanjenja frekvencije pronašlo se upravo u korišćenju srednjih frekvencija belog šuma. Srednja frekvencija nazvana zeleni šum (*green noise*) karakteristična je po aperiodičnosti, nedostatku zrnaste strukture niske frekvencije, i podložna je grupisanju rasterskih elemenata. Ovo grupisanje povećava rasterske elemente, te je to ključ mogućnosti primene ovog tipa rastriranja u konvencionalnoj ofsetnoj štampi kao i na uređajima veće nepouzdanosti (Lau, Ulichney, Arce, 2003).

Korišćenjem ovog tipa rastriranja omogućava se odabir željene veličine klastera, tj. njegove grubosti. Na taj način se vidljivost rastera može smanjiti kod uređaja sa većom preciznošću dok

se kod nepouzdatih uređaja grubost rastera može povećati tako da se dobijaju veći rasterski elementi koje je lakše održati konstantnima.

Jednu od modifikacija FM tipa rasterizacije predstavili su Luiz Velho i Jonas Gomez. Velho i Gomez predlažu upotrebu grupisanih tačaka koje se neće nalaziti na fiksnoj mreži nego će zauzimati mesto najtamnijeg piksela u ćeliji (Veleho, Gomes, 1995). Oni predlažu upotrebu adaptivnog metoda definisanja veličine klastera. Na mestima slike gde se intenzitet menja sporije postoje samo informacije o senčenju. U delovima slike gde dolazi do oštre promene intenziteta i promene oblika ta informacija je često prikazana u formi ivice. Prepoznajući sadržaj slike algoritam menja veličinu klastera, smanjujući ga na mestima sa visokim kontrastom.

2.4.4 Parametri rasterizacije

Parametri rasterizacije direktno utiču na probleme koji se mogu javiti u reprodukciji, tj. štampi. Ti problemi mogu biti direktno povezani sa izlaznim uređajem ili mogu biti prisutni bez obzira na tehniku štampe, tj. vezani su za parametre prenosa boje, koja je zajednička za sve štamparske tehnike.

2.4.4.1 Optička gustina

Optička gustina se izražava u logaritamskim vrednostima, i obrnuto je srazmerna odnosu između intenziteta reflektovanog svetla i intenziteta svetla koje pada na površinu, kao što je prikazano u jednačini (7). Ako procenat reflektovane svetlosti raste, vrednost optičke gustine opada.

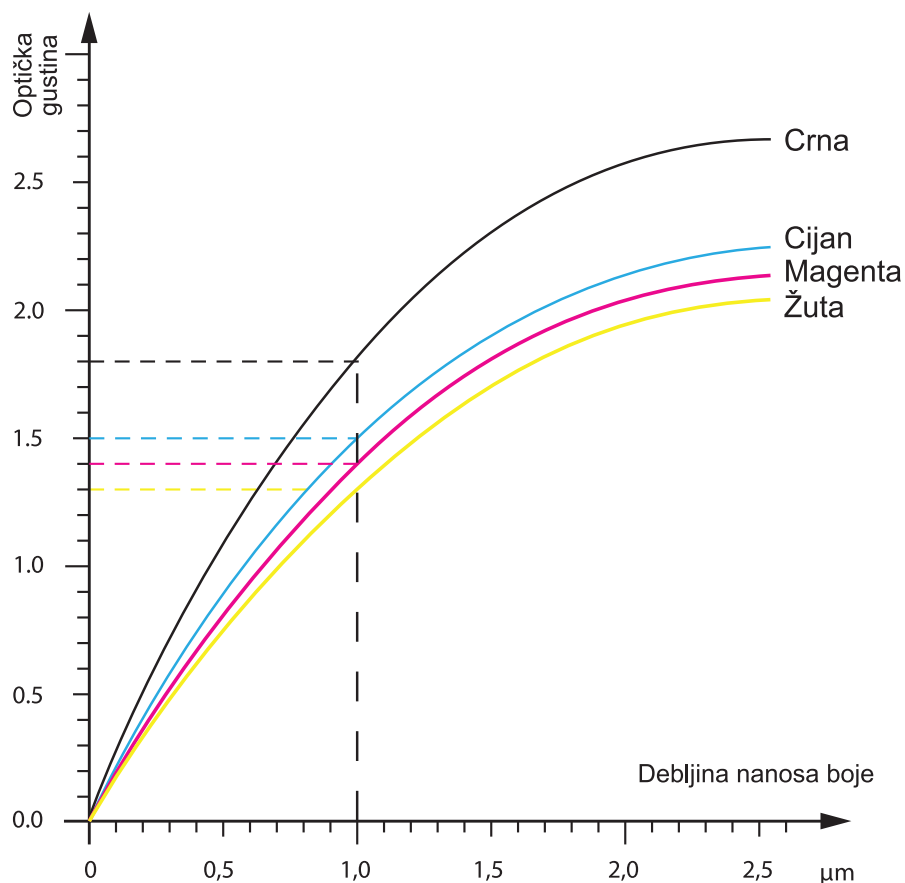
Tabela 2.2 Smanjenjem refleksije povećava se optička gustina (X-rite, 2000)

Reflektovana svetlost %	Optička gustina
100	0,0
10	1,0
1	2,0
0,1	3,0
0,01	4,0

Optička gustina opada, tj. više svetlosti se reflektuje od podloge ukoliko je nanos odštampane boje tanji. Zbog tankog nanosa boje veća količina fotona se odbija od podloge i prolazi kroz

transparentnu boju dajući svetliji ton. Ukoliko je nanos boje deblji, tada se veći broj fotona apsorbira u sloju boje tako da je rezultujuće obojenje tamnije. Na ovaj način može se reći da je optička gustina indikator debljine sloja boje na podlozi.

Povećanjem nanosa boje na podlogu povećava se optička gustina (density). Načini odbijanja svetlosti od podloge i boje ograničavaju vrednost gustine. Ona se može prikazati sledećim dijagramom.



Slika 2.23 Povećanje optičke gustine u zavisnosti od nanosa boje (Novaković, 2009)

Kako bi se izmerile vrednosti optičke gustine za svaku od separacija potrebno je koristiti filtere koji će propustiti samo određenu talasnu dužinu. Talasna dužina na kojoj se meri optička gustina za svaku separaciju određena je na mestu gde merena separacija ima najveći spektar. Promenom talasne dužine menja se i očitana optička gustina boje tako da je bilo potrebno standardizovati spektralne propustljivosti filtera su za svaku od separacija. ISO standard koji prikazuje opseg spektralne propustljivosti filtera prikazan je u **tabeli 2.3**.

Tabela 2.3 Talasne dužine spektralne propustljivosti filtera za CMY separacije (ISO 12647)

Procesna boja	Boja filtera	Max. Talasna dužina (nm)	Opseg
Cijan	Crvena	600 ± 5	≤ 20
Magenta	Zelena	530 ± 5	≤ 20
Žuta	Plava	430 ± 5	≤ 20

Dalje standard ISO 12647-2 propisuje granične vrednosti optičke gustine nanosa boje, koje će uz konvencionalni raster i spektralnu refleksiju papira dati odgovarajuće obojenje u ostalim delovima reprodukcije. Ove vrednosti su preporučene, ali se u okviru internih standarda mogu korigovati u zavisnosti od uslova štampe.

Tabela 2.4 Preporučene optičke gustine

		Vrednosti optičke gustine punih tonova prema preporuci firme Heidelberg				Vrednosti optičke gustine punih tonova prema ISO 12647-2 (1996)			
		Standard	Tolerancija			Standard	Tolerancija		
			Donja granica		Gornja granica		Donja granica		Gornja granica
Sjani premazni papir	K	1.95	1.87	± 0.08	2.03	1.85	1.70	± 0.15	2.00
	C	1.60	1.54	± 0.06	1.66	1.55	1.45	± 0.10	1.65
	M	1.50	1.44	± 0.06	1.56	1.50	1.40	± 0.10	1.60
	Y	1.40	1.36	± 0.04	1.44	1.45	1.40	± 0.05	1.50
Mat premazni papir	K	1.80	1.72	± 0.08	1.88	1.75	1.60	± 0.15	1.90
	C	1.50	1.44	± 0.06	1.56	1.45	1.35	± 0.10	1.55
	M	1.40	1.34	± 0.06	1.46	1.40	1.30	± 0.10	1.50
	Y	1.35	1.31	± 0.04	1.39	1.25	1.20	± 0.05	1.30
Ofsetni natur papir	K	1.20	1.16	± 0.04	1.24	1.25	1.10	± 0.15	1.40
	C	1.10	1.06	± 0.04	1.14	1.00	0.90	± 0.10	1.10
	M	1.05	1.01	± 0.04	1.09	0.95	0.85	± 0.10	1.05
	Y	1.20	1.16	± 0.04	1.24	0.95	0.90	± 0.05	1.00

2.4.4.2 Štamparski kontrast

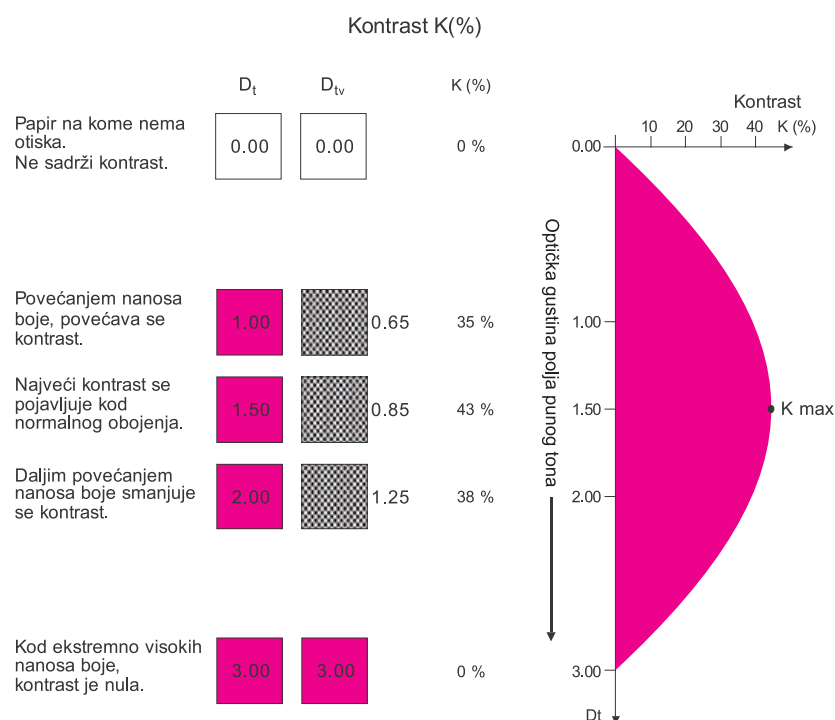
Štamparski kontrast je takođe poznat i kao detalj senke. Štamparski kontrast ukazuje koliko dobro se prikazuju detalji unutar senke na odštampanoj reprodukciji. Vrednosti rastera se kreću od 80% RTV do punog tona. On podrazumeva mogućnost uvida karakteristika koji ilustruju mogućnost štamparskog sistema da prikaže detalje na delovima slike u tamnijim tonovima.

Štamparski kontrast je dobar indikator kvaliteta štampe jer detalji u senci daju važne podatke o reprodukciji. Definiše se kao relativan odnos razlike gustine polja punog tona i polja sa pokrivenošću rasterom od 80% RTV. Vezan je za vizuelne promene u kontrastu između površina punog tona i rastera. Štamparski kontrast povezan je sa merenjem porasta rasterske tačke i optičke gustine. Prilikom upoređivanja vrednosti porasta tačke u srednjim tonovima, treba imati na umu da visoke vrednosti kontrasta zahtevaju i veliki nanos boje i jaku oštrinu štampe, kako bi se održali detalji u senci. Najveća vrednost kontrasta se postiže kada puni tonovi imaju visoku optičku gustinu nanosa boje, a rasterska polja optimalnu vrednost razlike tonova. Rezultati direktno ukazuju na nivo kontrasta, odnosno oštrinu štampe. Vrednosti se značajno menjaju sa promenom debljine nanosa boje.

Kontrast se koristi za određivanje optimalnog nanosa boje u štampi. Štampanje započinje nanosom veće količine boje na podlogu koja se postepeno smanjuje, do postizanja balansa. Konstantnim denzitometrijskim merenjima prati se gustina boje na punom polju i polju sa pokrivenošću rastera 80 %. U jednom momentu procesa štampe kontrast će postići svoju najveću vrednost. Nanos boje kojim je postignut najveći kontrast, smatra se optimalnim nanosom boje. Korišćenjem dobijene vrednosti nanosa boje postiže se maksimalan raspon između svetlih i tamnih partija u štampi. Vrednost štamparskog kontrasta je u vezi sa subjektivnom procenom štamparskog kvaliteta kao što je „ravna” reprodukcija (nizak štamparski kontrast) nasuprot reprodukciji koja „skače sa papira” (visoka vrednost štamparskog kontrasta). Poredeći porast tačke u srednjem tonu sa porastom nanosa boje, i samim tim gustine, visoki štamparski kontrast odgovara i visokoj gustini i oštroj štampi radi dobijanja detalja u senci.

Štamparski kontrast je dobar pokazatelj kvaliteta štampe zato što delovi u senci nose važne informacije na mnogim CMYK odštampanim slikama. Vrednosti štamparskog kontrasta su u dobroj korelaciji sa subjektivnim ocenjivanjem kvaliteta štampe. Štamparski kontrast zahteva i veliku optičku gustinu boje kao i oštrinu, preciznost štampe kako bi održavao detalje u senci. Jednačina koju koriste denzitometri pri kalkulaciji procenta vrednosti štamparskog kontrasta je prikazana kroz odnos optičke gustine punog tona D_t i gustine rastertonskog polja D_{tv} najčešće od 80% (CGATS, 1993; Reaffirmed 1998).

$$K = \frac{D_t - D_{tv}}{D_t} \times 100\% \quad (24)$$



Slika 2.24 Najveća vrednost štamparskog kontrasta dobija se ostvarivanjem balansa između optičke gustine i porastom raster-tonskih vrednosti (CGATS, 1993)

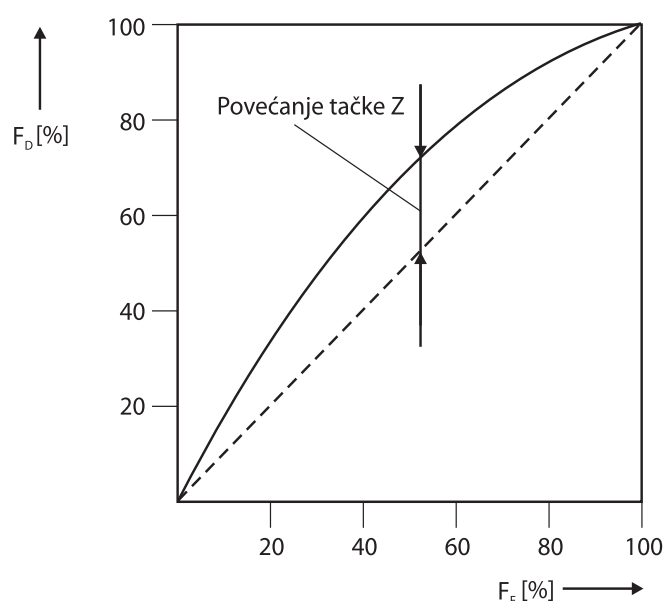
2.4.4.3 Porast raster tonskih vrednosti

Porast raster tonskih vrednosti opisuje ukupno zatamnjivanje reprodukcije, u odnosu na rezultat rasterizacije posle primene algoritama rasterizacije. Ukupni porast rasterske tačke sastoji se od dva dela, fizičkog i optičkog porasta rasterske tačke. Fizički porast nastaje usled stvarnog širenja rasterske tačke na materijalu na kojem se štampa. Optički porast tačke se često naziva i Yule-Nielsenov efekat (Yule & Neilsen, 1951), a prouzrokovao je raspršivanjem svetlosti kroz podlogu (papir). Svetlost koja dolazi do belih površina oko oboda tačke će biti apsorbovana i na taj način će povećati zacrnjenje tačke. Porast raster tonskih vrednosti može biti mereno i upotrebljeno za kalibraciju rastera kako bi se dobio željeni nivo zacrnjenja. Što je više izolovanih tačaka na otisku to je veća mogućnost pojavljivanja porasta tačke. Može se izvesti zaključak da je FM raster zbog svoje strukture više podložan porastu tačke.

Rasterska tačka neizbežno postaje veća nego što je na originalnom filmu ili štamparskoj formi. Koliko veća će ona biti zavisi od mašine za štampu, papiru, štamparske boje i uslova pod kojim se kontroliše efekat. U literaturi će se ovaj efekat sretati pod imenom Porast rasterske tačke. Pošto odštampane tačke postaju veće nego kod originala odštampane rasterske slike skoro uvek izgledaju tamnije nego što je original. Iz tog razloga je važno steći znanje o efektu porasta rasterske tačke i uračunati ga prilikom izrade rasterske slike. Jedan način da se to uradi jeste da se izmeri ukupni porast rasterske tačke i da se razlike zatim uračunaju u pripremi. Kompenzacija

se vrši merenjem efektivne pokrivenosti rasterom i upoređivanjem sa poznatom raster tonskom vrednošću slike u digitalnom obliku.

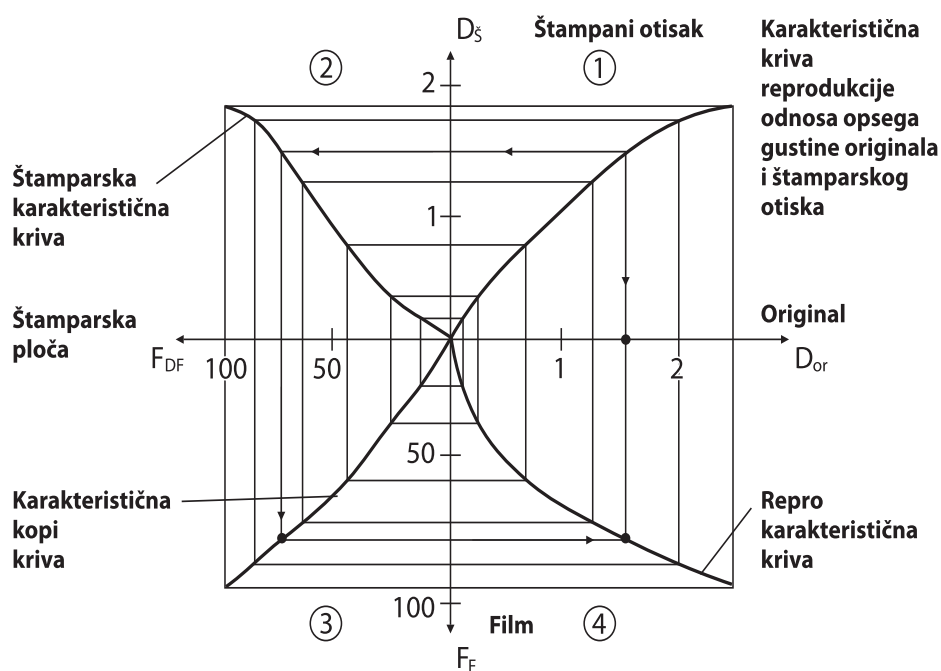
Veoma je dobro poznato da su štamparski procesi kao što je reprodukcija tonskih vrednosti, u ofsetu i flekso štampi, neodvojivi od povećanja tonske vrednosti (*dot gain*). Štamparska karakteristična kriva prikazuje ovaj odnos. Štamparska karakteristična kriva na slici 2.25 prikazuje relativan odnos između određenog područja na štamparskoj formi i njene reprodukcije na štampanom otisku. Povećanje tonske vrednosti ($Z = F_D - F_F$) zavisi od tipa i podešenosti štamparske mašine, kvaliteta papira, osobina štamparskih boja i linijature rastera. Ako porast rasterske tačke u srednjim tonovima ima vrednost, na primer, 18%, to znači da 50% raster tonska vrednost na filmu je reprodukovana kao 68% raster tonska vrednost na štampanom otisku. Ukoliko se raster sa filma prenosi na štamparsku formu, može se takođe očekivati promena u tonskoj vrednosti. Ovo je predstavljeno karakterističnom krivom za štamparske forme u obliku funkcija procenta rasterske tačke F_{DF} štamparske ploče naspram procenta rasterske tačke F_F kopije na filmu. Obe sistematske promene u tonskim vrednostima moraju biti kompenzovane reprodukcionim procesom (slika 2.25).



Slika 2.25 Karakteristična kriva porasta raster tonskih vrednosti

Karakteristična kriva na slici 2.26 prikazuje relativne odnose između gore pomenutih vrednosti, poznata je kao Goldbergov dijagram. Iako upotrebljavana u periodu kada se koristio grafički film, veoma dobro prikazuje kretanje promene raster tonskih vrednosti kroz različite faze reprodukcije. Prvi kvadrant prikazuje globalnu karakterističnu reprodukcionu krivu kao funkciju gustine u štampi u odnosu na gustinu originala. Drugi kvadrant sadrži karakterističnu krivu štampe kao funkciju gustine u štampi u odnosu na procenat raster tonske vrednosti na štamparskoj formi. Treći kvadrant prikazuje karakterističnu krivu kopije kao funkciju procenta

raster tonske vrednosti štamparske forme i procenta raster tonske vrednosti na filmu. Kriva u četvrtom kvadrantu je konstruisana tačka po tačka od ostale tri krive. Ona reprezentuje željeni rang procenta rasterske tačke film kopije kao funkcije gustine originala. Ova kriva (četvrti kvadrant) može biti reprodukovana za vreme reprodukcionog procesa uz pomoć specijalnih film materijala, procesa osvetljavanja i tome slično.



Slika 2.26 Godbergov dijagram

Jedno od važnih gledišta kada se razmatra porast rasterske tačke jeste da se nekada na taj efekat ne gleda kao neželjenu grešku. U stvari na nju može da se gleda kao i na mogućnost postizanja više nijansi sivih tonova. Pored toga porast rasterske tačke može da poveća opseg boje kada se radi o štampi u boji.

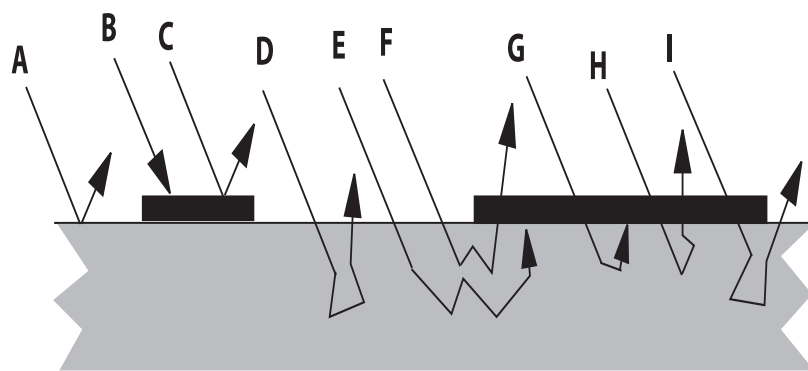
2.4.4.3.1 Fizički porast rasterske tačke

Fizički porast rasterske tačke podrazumeva fizičko povećanje rasterske tačke. Koliki će biti obim tog povećanja zavisi od tehnike štampe, papira, boje i više različitih fizičkih parametara. Boja trpi pritisak između štamparske forme i prenosnog cilindra, pa onda između prenosnog cilindra i podloge. Čak i kada bi pokušali povećati kvalitet štampe, boje, papira i svih ostalih uticajnih faktora ne postoji način da se izbegne fizički porast rasterske tačke u potpunosti, pogotovo kad je reč o višim rezolucijama tj. linijaturama štampe. Korekcija ovog parametra zavisi od konstantnosti štampe. Ukoliko je pritisak na podlogu konstantan i ujednačen kreiranjem kompenzacionih krivi fizički porast rasterske tačke se može držati pod kontrolom.

2.4.4.3.2 Optički porast rasterske tačke

Suprotno od fizičkog porasta rasterskih tačaka, optički porast nije povezan sa načinom štampe. Zbog rasipanja svetlosti unutar papira, odštampana tačka optički izgleda veća nego što u stvari jeste. Ovaj efekat su prvi opisali Yule i Neilsen (Yule & Neilsen, 1951). Slika 2.27 prikazuje neke od mogućih putanja koje jedan foton može da pređe od izvora svetlosti do posmatrača.

Fotoni se mogu reflektovati od površine papira ili od otisnute boje, što je prikazano strelicama A i C. Strelica B prikazuje foton koji se apsorbovao u boji i čistu difuznu refleksiju iz papira prikazanu strelicom D. Strelica E prikazuje putanju fotona koji je ušao u papir na mestu gde on nije prekriven bojom, ali je apsorbovan prilikom njegovog izlaska van papira od strane boje koja se nalazi na površini. Tok događaja ilustrovan strelicom E je razlog pojave optičkog porasta rasterske tačke. Strelice F, G, H i I prikazuju fotone koji su prošli kroz sloj boje na površini podloge, neki na ulaznim, a neki na izlaznim putanjama.



Slika 2.27 Moguće putanje fotona prilikom refleksije

Različitost ponašanja svetlosnih zraka na površinu odštampane podloge, jasno pokazuje gde je najveći nedostatak *Murray-Davies*-ove jednačine. Ona predviđa samo dva scenarija, da se svetlost reflektuje od papira kroz sloj ili pored otisnute boje. Pri tome ne uzimajući u obzir da će boja imati ikakvog uticaja na percepciju obojenja podloge. Ukoliko se pogleda način putanje zraka pod slovom I (slika 2.27) jasno se može videti da će pri izlasku iz podloge zrak nositi određeno obojenje koje je preuzeto sa ulaskom kroz obojeni deo površine. Na taj način okolina tačke poprimiće obojenje upravo te tačke, ali u svetlijoj nijansi. Optičku promenu izazivaju i zraci sa putanjom E. Oni bivaju apsorbirani od strane boje na podlozi, tj. ne reflektuju se ka posmatraču. Na taj način odnos reflektovane i odbijene svetlosti je poremećen, pa podloga izgleda tamnija (poprima određenu količinu obojenja). Veličina ovog efekta zavisi od načina na koji papir rasipa svetlost. Ovaj efekat je zavistan od opaciteta papira i dodatku optičkih belila, tako da tanji papiri dozvoljavaju da se svetlost više rasipa pojačavajući na taj način *Yule-Neilsen*-ov efekat. Sekundarni uticajni faktor jeste linijatura rastera. Veća linijatura rastera

podrazumeva manje podloge bez obojenja tako da rasipanje svetlosti ne mora da bude veliko da bi došlo do promene obojenja podloge. U svojoj jednačini *Yule-Neilsen* uvode novi parametar n , za koji su uvećane vrednosti *Murray-Davies* - onove jednačine. Parametar n zavisi od količine propuštanja svetlosti papira, a ima vrednost od 1.4 do 1.8 (Pearson, 1980). Fizički i optički porast rasterske tačke daje objedinjavajući parametar porasta tonskih vrednosti.

$$R^{1/n} = F \cdot (R_b)^{1/n} + (1-F) \cdot (R_p)^{1/n} \quad (25)$$

Pat Nofke i Džon Sejmor (Noffke i Seymour, 2012) su dodatno unapredili postojeće jednačine uvodeći parametar pritiska. Primetili su da se veličina tačke menja prilikom otiskivanja na podlogu, što je svakako deo fizičkog porasta tačke, ali uvode varijablu vezanu za debljinu otisnute rasterske tačke. Upoređujući debljinu punog tona, bez rasterskih tačaka i debljinu rasterske tačke, zabeležili su smanjenje njene debljine. To smanjenje je bilo u proporciji sa njenim fizičkim porastom. Zbog smanjenja debljine nanosa njeno obojenje postaje slabije nego kod punog tona.

$$R = F_{out} R_p \left(\frac{R_b}{R_p} \right)^{\left(\frac{F_{in}}{F_{out}} \right)} + (1 - F_{out}) R_p \quad (26)$$

Površina F_{in} je izražena površina idealne tačke (bez pritiska tj. bez povećanja), dok je F_{out} površina tačke nakon otiskivanja. Ukoliko nije došlo do promene između ove dve tačke rezultat je *Murray-Davies*-ova jednačina (6). U drugom ekstremu ukoliko je F_{out} jedinica, tada se može reći da se dobija refleksija za sliku kontinualnih tonova.

Ova jednačina je posebno značajna kada se ima u vidu da se obojenje tj. refleksija nanosa boje menja u zavisnosti od njene debljine, te omogućava određivanje postojanosti rasterske tačke. Sa druge strane u zavisnosti od povećanja tačke jednačina omogućava definisanje boje dobijene rasterskom reprodukcijom.

2.4.4.3.3 Kontrola porasta raster tonskih vrednosti

Merenje ukupnog porasta rasterske tačke je veoma važno pitanje za proučavanje svojstva papira i karakteristika štampe. Samim tim postoji nekoliko metoda izračunavanja ukupnog porasta rasterske tačke (Nemedanian i Gooran, 2011). Pristupi razvijeni u dosadašnjim istraživanjima obuhvatali su upotrebu *Murray-Davies* jednačine. Prvi pristup je bio merenje spektrofotometrom, drugi je korišćenjem kamere visoke rezolucije, tj. skenera sa osvetljenjem D65 i optičkim vlaknima koja osvetljavaju otisak sa obe strane (*Oden scanner*). Istraživanje je pokazalo da su oba pristupa dala slična rešenja.

Pored komponente ljudskog vizuelnog modela i kompleksnosti izračunavanja, H. Lee u svojim istraživanjima vezanim za kreiranje algoritama rastriranja, posebno navodi porast rasterske

tačke kao ključnu komponentu o kojoj se mora voditi računa pri konstrukciji algoritama za rastriranje (Lee, 2005). On navodi da je porast rasterske tačke potrebno implementirati u merni uređaj (uređaj/podloga model), te da ga treba uzeti u obzir prilikom kreiranja algoritama rasterizacije, a ne da on bude deo kalibracije uređaja koji se obavlja nezavisno od algoritama rasterizacije.

Perimetar tačke kod FM rastera je mnogo veći nego kod AM rastera. Kako se porast tačke isključivo dešava na ivicama tačke, veličina perimetra direktno utiče na to da je FM raster podložniji porastu rasterske tačke. Međutim istraživanja na grafičkim sistemima nisu uvek ovako jasna. Upoređivanjem porasta tačke kod AM i FM rastera pokazalo se da postoji statistički značajna razlika kada se upoređuje porast za sve 4 separacije. Međutim kod dve separacije (CY) porast rasterske tačke je bio veći kod AM nego kod FM rastera, kad je kod magente i crne porast bio veći kod FM rastera (Dharavath, Bensen, & Gaddam, 2005).

Istraživanja vođena na osnovu povezanosti linijature i porasta rasterske tačke dovela su do logičnih zaključaka. Relativno mali ukupni porast rasterske tačke može se očekivati kod malih linijatura rastera. Što se tiče oblika tačke kružni oblik tačke je pokazivano najmanji porast (Bartolić, Majnarić, Bracić, & Golubović, 2013).

Prethodna istraživanja (Pinčjer et al. 2010) pokazala su pozitivan odziv aperiodičnog rastera na kalibraciju. Korekcija porasta rasterske tačke kalibracijom su se pokazala uspešna.

Povećanje rasterske tačke je neizbežno. Međutim ne može se smatrati odgovornim za neupotrebljivost FM rastera u realnim sistemima. Kalibracijom uređaja može se doći do zadovoljavajućeg rešenja vezanog za smanjenje povećanja tačke, tj. njegovog uticaja na krajnji stimulus otiska. Ono što sprečava FM raster da bude šire prihvaćen i upotrebljavan jeste nemogućnost reprodukcije ujednačene tačke. U ponovljivom procesu, kakav je štampa, gde ne postoji velika varijacija u veličini i obliku odštampane tačke, štampa se može osloniti na tehnike kompenzacije kako bi se smanjio poremećaj nastao povećanjem rasterske tačke. Kada u procesima štampe princip ponovljivosti nije moguće ostvariti, tj. gde ne postoji stabilan prenos tačke na podlogu i veličina iste tačke varira od otiska do otiska, ovakva mogućnost ne postoji (D.L. Lau, Arce, & Gallagher, 1998). Ukoliko je porast tačke konstantan, tj. ne manja se u toku štampe, tada on nije ograničavajući faktor primene FM rastriranja.

Stohastički raster je, zbog mikro-tačaka i perimetra tačke, posebno podložan porastu raster tonskih vrednosti. Razvoj rastriranja baziran na modelu tačke, koristi standardne algoritme raspoređivanja greške (*error-diffusion*), ali sa odštampanom rasterskom tačkom u obliku kruga (Pappas & Member, 1997). Upoznajući se sa načinima štampe oni su prepoznali kružnu formu tačke kao rezultat procesa štampe te su taj oblik uvrstili u njihov algoritam. Osim samog oblika, razmatrali su načine preklapanja tačke na podlozi koja prevazilazi veličinu svoje ćelije i prelazi u susednu ćeliju. Ovo je prvi primer gde su problemi porasta rasterske tačke uvedeni prilikom

kreiranja algoritama, direktno rešavajući problem promenljivosti rasterske tačke usled nekontrolisanog preklapanja. Algoritam čak menja raspored tačaka ili ih potpuno izbacuje iz rezultata proračuna zbog načina preklapanja sa susednim tačkama.

2.4.4.4 Rezolucija

Rezolucija takođe može biti uticajni parametar na kvalitet otiska. Uređaji za štampu visoke rezolucije mogu da imaju problem da zadrže izolovani tačku malih dimenzija, bila ona crna ili bela. Ovi pikseli se ili neće odštampati ili će se spojiti, te tako otežavati štampu FM rastera, pogotovo kada je zahtevana linijatura, tj. rezolucija velika. Ovaj nedostatak se može ogledati i u spajanju piksela koji bi trebali da budu samostalni. Uređaji za štampu niže rezolucije, imaju mogućnost da svoju tačku održe izolovanom tako da se FM rasteri često koriste kod stonih štampača. Pored toga, zbog niske rezolucije stonih štampača veća je potreba za upotrebom FM rasterizacije koji ima veću prostornu frekvenciju.

2.4.4.5 Upasivanje

Upasivanje, ili registracija boje kod višebojne štampe je od velikog značaja sa stimulus otiska. U zavisnosti kako se iz različitih separacija pikseli preklapaju oni proizvode različita obojenja. Ovo je rezultat šire apsorpcije spektra svetlosti nego što je to idealna granica te se ti spektri međusobno preklapaju.

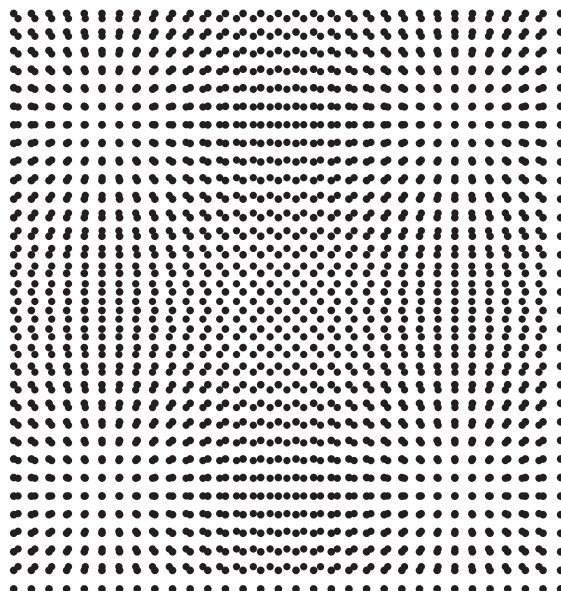
2.4.4.6 Moiré efekat

Moiré efekat se ne vezuje samo za štamparski raster. Moiré je francuska reč i osnovno značenje vezano je za nepravilnu talasastu strukturu tkanine, a opisno se vezuje za nezavisni trepteći šablon koji se javlja kada se dva geometrijski pravilna šablona preklope pod određenim uglom. Moiré se javlja kao rezultat interferencije između dva ili više šablona. Kao posledica preklapanja dva ili više sličnih šablona, moiré efekat se ne može izbeći u štamparskom procesu višebojne štampe, ali ga je moguće svesti na nivo visoke frekvencije kako ga ljudsko oko ne bi moglo registrovati.

Kada se više od jedne separacije štampa na podlozi, način na koji se postavljaju te dve separacije ima veliki uticaj na rezultujuću boju i reprodukciju tona. Razlika u rezultujućem šablonu koji se dobija spajanjem dva prethodna je direktno vezana za način postavljanja tačaka jedne separacije na tačke druge. Ukoliko je uređaj dovoljno precizan može postaviti tačke druge separacije tačno na prethodno generisane tačke, tako da se početni šablon ne menja. Ukoliko se tačke druge separacije postave pored tačaka prvog, to umnogome menja pokrivenost površine tačkama tako da takav šablon rezultuje mnogo tamnijom nijansom.

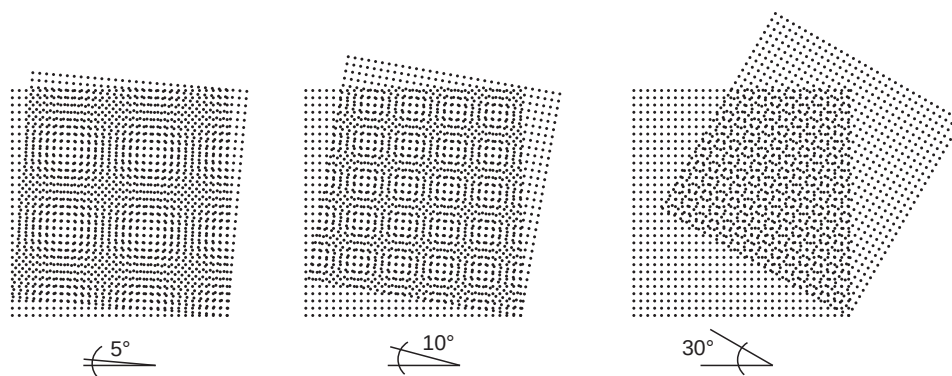
Bez obzira da li se upotrebljava princip slaganja tačku na tačku ili tačka do tačke, upasivanje mora biti besprekorno. Ovako precizno postavljanje tačaka, jednu na drugu (pogotovo kada se uzme u obzir njihova veličina), praktično, nije moguće iz više razloga. Jednu od najvećih uloga igra i sama štamparska podloga, koja se u toku procesa štampe rasteže. Dovoljno je veoma malo rastezanje koje može rezultovati veoma приметnim sekundarnim ne uniformisanim šablonom, moareom (*moiré*).

Povećanjem rezolucije tj. linijature reprodukcije, smanjuje se tolerancija greške koja se može javiti a da ne dođe do ovog negativnog efekta. Tolerancija na grešku je negativno srazmerna povećanju linijature rastera. Već 1% greške na 150 lpi rasteru može dovesti do pojave *moiré*-a neprihvatljivih razmera. Slaganje tačaka rastera dve različite separacije, a istog rasporeda tj. šablona je nemoguće upravo zbog pojave *moiré*-a. Kako bi se on izbegao, prilikom rastriranja za CMYK štampu, formiraju se četiri različita šablona za svaki izvadak ponaosob. Njihova razlika se ogleda u uglovima po kojima je svaki od šablona postavljen.



Slika 2.28 Pojava Moiré efekta kod malih oscilacija u veličini dva šablona izvatka

Promenom uglova pojedinih separacija rastera, *moiré* efekat se ne gubi, nego samo smanjuje na prihvatljivu frekvenciju i to samo na tačno određenim uglovima. Ukoliko se promena ugla jedne separacije u odnosu na drugu promeni za 5° nastaje prilično vidljiv *moiré* niske frekvencije. Što je veći ugao rotacije, manje je izražen *moiré* šablon.



Slika 2.29 Povećanjem ugla između dve separacije povećava se frekvencija moiré efekta te se smanjuje njegova percepcija

Kako je za štampu u boji potrebno preklopiti četiri separacije uglovi rastera su najčešće raspoređeni tako da se žuta štampa pod uglom od 0° , cijan pod uglom od 15° , crna pod uglom od 45° dok se magenta štampa pod uglom od 75° . Može se primetiti da su uglovi rastera pomereni za 30° jedan od drugog sa izuzetkom žute koja je pomerena za 15° (Amidror et al. 1994). Na osnovu uglova može se očekivati da će se pomeranje žute za manji ugao odraziti na pojavu vidljivog šablona, što je i tačno. Međutim, istraživanja su pokazala da je ljudsko oko najmanje osetljivo na moiré u žutoj separaciji (Hunt, 1987). Crna separacija, kao najvidljivija ljudskom oku, postavljena je na ugao od 45° jer je percipiranje šablona na tom uglu najmanje.

Korišćenjem frekventno moduliranih rasterskih struktura uklanja se veliki problem *moiré* efekta prouzrokovan preklapanjem dva ili više šablona. To je jedna od velikih prednosti FM rastera koja mu je omogućila primenu kod uređaja i sistema koji štampaju i više od četiri separacije. Greške u FM rasteru koje se mogu uporediti sa *moiré* efektom su greške koje nastaju nasumičnim preklapanjem izolovanih rasterskih tačaka različitih separacija.

Analizom različitih artifakata koji se pojavljuju u FM rastriranim reprodukcijama, primećeno je da se određena varijanta *moiré* šablona javlja i u stohastički rastriranim reprodukcijama. Zbog prirode nasumičnog rasporeda tačaka šablon *moiré*-a je na ovim reprodukcijama takođe nasumičan, tj. prikazuje se u obliku zrnčavosti ili šuma.

Stohastični *moiré* nastaje takođe preklapanjem više šablona, tj. u višebojnoj štampi. Kada separacije boja stohastičkog rastera nisu u korelaciji jedna sa drugom, tj. nezavisne su jedna od druge, prilikom njihovog preklapanja dolazi do nasumičnog spajanja tačaka iz različitih separacija. Ono rezultira pojavom zrnaste strukture niske frekvencije vidljive ljudskom oku. Ovaj šum je proizvod *moiré* fenomena koji se javlja i kod periodičnih struktura, ali zbog stohastičke prirode bojenih izvadaka, tj. separata, i sam efekat poprima stohastičku strukturu. Vidljivost ove strukture najveća je kada preklapajući rasteri nisu u korelaciji i kada su im iste talasne dužine

(Daniel L Lau, Ulichney, & Arce, 2003). Smanjenje nasumičnog preklapanja se istražuje i predmet je unapređenja stohastičkog rastriranja u području kreiranja zavisnih, separacija u međusobnoj korelaciji, izbegavajući na taj način nasumično preklapanje tačaka (Yu & Parker, 1997). Kako je kreiranje separacija u korelaciji računarski zahtevno, istražuju se i drugi pravci uklanjanja ovog tipa *moiré*-a, pogotovo u procesu promene finoće rastera na različitim separacijama, utičući direktno na promenu talasne dužine svakog separata. U skladu sa vidljivošću boje tako se najmanji klasteri javljaju u crnoj separaciji, dok su najveći klasteri u žutoj.

Moiré efekat kod AM separacija može da se javi i kao posledica interferencije šablona rastriranih tačaka i sadržaja slike tj. reprodukcije. Ukoliko reprodukcija na sebi već sadrži određeni šablon može se očekivati pojava *moiré* efekta na objektima slike. FM raster takođe uklanja i ovaj tip *moiré*-a (slika 2.30).



Slika 2.30 Moiré šablon prouzrokovan sadržajem slike

2.5 Objektivna analiza rasterske reprodukcije

Istraživanje i razvoj različitih tehnika rastriranja pokretani su potrebom za praktičnom primenom. Osim što omogućuje proces štampe, rasterizacija ima za cilj da obezbedi što je moguće veći kvalitet za zadate uslove. Proučavanje kvaliteta slike je multi dimenziono i multidisciplinarno područje. Kvalitet otiska može se meriti objektivno i subjektivno. Objektivne metode merenja kvaliteta otiska zasnivaju se fizičkim merenjima otiska, tj. na upotrebi mernih instrumenata (spektrofotometar, denzitometar, mikroskop...), kojima se mere parametri štampe definisani standardima (ISO 12647, GRACoL, PSO, Fogra, System Brunner...). Ovi standardi mogu biti osnova za kreiranje internih standarda u proizvodnji koji mogu biti i

rigorozniji od internacionalnih. U prethodnim poglavljima bili su prikazani načini proračuna i jednačina na kojima su zasnovana instrumentalna merenja koja vrše kontrolu otiska kako bi se parametri štampe uklopili u definisani standard kvaliteta štampe.

Svi ovi standardi pored, mernih polja, na test kartama sadrže i fotografije za vizuelnu evaluaciju otiska. To pokazuje vrednost subjektivne ocene kvaliteta. Kako je subjektivna ocena kvaliteta zahtevna, kako vremenski tako i po pitanju ljudskih resursa, javila se potreba za objektivnom ocenom kvaliteta koja će zameniti subjektivnu, a biti u visokoj korelaciji sa njom. Kako bi se to postiglo, osim matematičkog proračuna greške ili šuma na slici potrebno je uvesti i uticaj ljudskog sistema vida HVS (*human visual system*). HVS se aproksimira funkcijom prostorne osetljivosti (*spatial sensitivity function*) poznate kao funkcija kontrastne osetljivosti (*contrast sensitivity function*) (Rovamo & Kankaanpa, 1999). Uloga HVS filtera jeste da pruži informaciju da li će određena frekvencija šuma biti vidljiva ljudskom oku na određenoj udaljenosti i da procenu uvrsti u ocenu kvaliteta reprodukcije, zajedno sa izmerenim vrednostima. Međutim, funkcija kontrastne osetljivosti ne može biti direktno upotrebljena zbog kompleksnosti struktura odštampanih slika, tako da najbolji algoritmi za ocenu slike ne sadrže HVS nego su zasnovani na strukturalnim razlikama ili razlikama u informacijama (Eerola et al., 2010). Na osnovu analiziranog može se postaviti pitanje, da li postoje još neki parametri koji utiču na percepciju rasterskih struktura kod posmatrača.

2.5.1. Analiza rasterizacije – Furijeve transformacije, spektralna analiza i analiza frekvencija

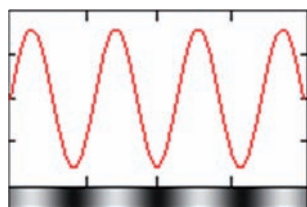
Talasne forme su prisutne kada god je prisutna energija. One se mogu pratiti kada se energija kreće kroz prostor (kao što je akustična energija koja se od izvora zvuka prenosi do uha). Priroda fotona se opisuje kao čestično talasna, dok se kinetička energija kroz vodu kreće upravo u talasima.

Joseph Fourier je 1822 godine otkrio da se spajanjem sinusnih i kosinusnih talasa može kreirati bilo koji signal. Slike se takođe mogu izraziti kao signal, gde je intenzitet piksela amplituda signala a njegova pozicija X i Y komponenta frekvencije.

Furijeve transformacije su važan alat za obradu slike koji upotrebljava dekompoziciju slike u njenu sinusnu i kosinusnu komponentu. Rezultat primene transformacije na sliku u prostornom domenu je njen ekvivalent - slika iste dimenzije u Furijevom tj. frekventnom domenu. Svaka tačka u frekventnom domenu predstavlja određenu frekvenciju sadržanu u prostornom domenu slike. Rezultat Furijeve transformacije je relativna značajnost sadržaja slike za svaku

frekvenciju, tj. u kojim frekvencijama se elementi slike nalaze. Furijeve transformacije imaju veliki broj primena u analizi, filtriranju, rekonstrukciji i kompresiji slike.

Slika se sastoji od niza piksela koji su definisani sa vrednostima intenziteta u prostornom domenu. Oni se mogu prikazati u frekventnom domenu kroz sinusoidne talase. Ukoliko se kao uzorak uzme jedan red piksela bilo koje slike, njihov intenzitet se može prikazati uz pomoć talasa (Hladnik, 2012).



Slika 2.31 Prikaz intenziteta slike kroz sinusoidne talase

Slaganjem i sabiranjem talasa za svaki od piksela slike u prostornom domenu dobija se njegova reprezentacija u frekventnom domenu. Transformacije koje se odvijaju na digitalizovanim slikama nazivaju se Diskretne Furijeve Transformacije (DFT).

DFT ne sadrži sve frekvencije koje se nalaze na slici nego njihov reprezentativni deo, tj. one frekvencije koje su dovoljno velike da bi bile vidljive na slici u prostornom domenu. Broj prikazanih frekvencija odgovara broju odgovarajućih piksela koji se nalaze na slici u prostornom domenu. Zbog toga je slika u frekventnom domenu istih dimenzija kao i njen ekvivalent.

Za kvadratnu sliku dimenzije $N \times N$, dvodimenzionalna DFT se predstavlja kao

$$F(k, l) = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} f(i, j) e^{-i2\pi(\frac{ki}{N} + \frac{lj}{N})} \quad (27)$$

gde je $f(i, j)$ slika u prostornom domenu, a njen eksponent funkcija koja odgovara svakoj tački u $F(k, l)$ Furijevog prostora. Jednačina se izražava tako što se vrednost svake tačke u $F(k, l)$ dobija množenjem slike u prostornom domenu sa odgovarajućom baznom funkcijom i zbraja u konačan rezultat.

Bazna funkcija predstavlja sinus i kosinus sa rastućom frekvencijom, tako da $F(0, 0)$ predstavlja DC komponentu slike (središnja tačka slike u frekventnom domenu) koja odgovara prosečnoj svetlini i $F(N-1, N-1)$ predstavlja najvišu frekvenciju.

Na sličan način, Furijeva slika može biti prebačena u prostorni domen inverznom Furijevom transformacijom:

$$f(a, b) = \frac{1}{N^2} \sum_{k=0}^{N-1} \sum_{l=0}^{N-1} F(k, l) e^{i2\pi(\frac{ka}{N} + \frac{lb}{N})} \quad (28)$$

Može se primetiti da je normalizacija urađena sa $\frac{1}{N^2}$ u inverznoj transformaciji. Ovu normalizaciju je moguće uraditi i kod Furijeve transformacije ali je onda ne treba raditi u inverznoj.

Kako bi se dobio krajnji rezultat transformacije, za svaku tačku na slici potrebno je napraviti dve sume. Međutim, kako je Furijeva transformacija odvojena, može se napisati kao:

$$F(k, l) = \frac{1}{N} \sum_{b=0}^{N-1} P(k, b) e^{-i2\pi\frac{lb}{N}} \quad (29)$$

Gde je

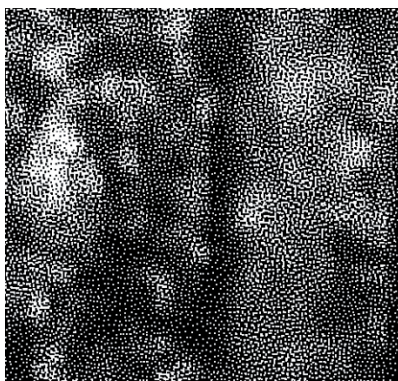
$$P(k, b) = \frac{1}{N} \sum_{a=0}^{N-1} f(a, b) e^{-i2\pi\frac{ka}{N}} \quad (30)$$

Upotrebom ove dve formule, slika u prostornom domenu se prvo transformiše u međusliku koristeći N dimenzionu Furijevu transformaciju. Ova međuslika se zatim ponovo transformiše istom N dimenzionalnom Furijevom transformacijom u krajnju sliku. Furijeva transformacija je računarski zahtevna i iz razloga što se svaka tačka izračunava dva puta.

Rezultat Furijeve transformacije je slika sa kompleksnim vrednostima koja se može prikazati sa dve slike, magnitudom i fazom. U obradi slike često se prikazuje samo slika magnitude Furijeve transformacije, jer sadrži veći deo informacija geometrijske strukture slike u prostornom domenu. Ipak, ukoliko je potrebno vratiti sliku u prostorni domen, nakon određene intervencije u frekventnom domenu, potrebno je sačuvati i magnitudu i fazu Furijeve slike.

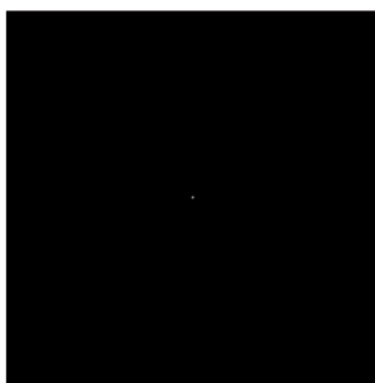
Furijeve transformacije se upotrebljavaju kada se žele analizirati geometrijske karakteristike slike u prostornom domenu. Kako je slika u Furijevom domenu razložena na svoju sinusoidnu komponentu lako je ispitati i obraditi određenu frekvenciju slike i na taj način uticati na geometriju slike u prostornom domenu.

U većini primena Furijevih transformacija slika je translirana tako se DC komponenta $F(0,0)$ nalazi u sredini slike. Što je veća udaljenost od centra slike veća je frekvencija. Analiza slike započinje primenom transformacije na deo slike koja je rastrirana FM rasterom (Slika 2.32)



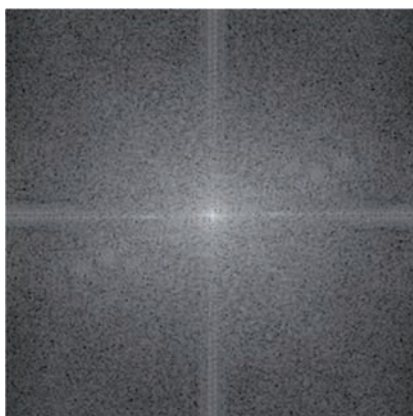
Slika 2.32 Rasterska reprodukcija kreirana FM algoritmom

Magnituda izračunata sa kompleksnim brojevima je prikazana na slici 2.33.



Slika 2.33 Magnituda slike izračunata kompleksnim brojevima

Sa slike 2.33 se vidi da je DC vrednost najveća komponenta na slici. Međutim dinamički opseg Furijeovog koeficijenta je preveliki da bi mogao biti prikazan na ekranu i zbog toga sve druge vrednosti izgledaju crno. Ukoliko se upotrebi logoritamska transformacija na sliku dobija se slika 2.34



Slika 2.34 Logoritamska transformacija magnitude Furijeve transformacije

Rezultujuća slika 2.34 sadrži komponente svih frekvencija, ali je njihova magnituda slabija u višim frekvencijama. Prema tome, niže frekvencije sadrže više informacija na slici nego visoke frekvencije. Transformisana slika prikazuje da postoje dva dominantna pravca na Furijevoj slici, jedan prolazi vertikalno, a drugi horizontalno kroz centar slike. Ovi pravci potiču iz regularnih šablona koji se javljaju na slici.

Faza Furijeve transformacije iste slike prikazana je na slici 2.35.

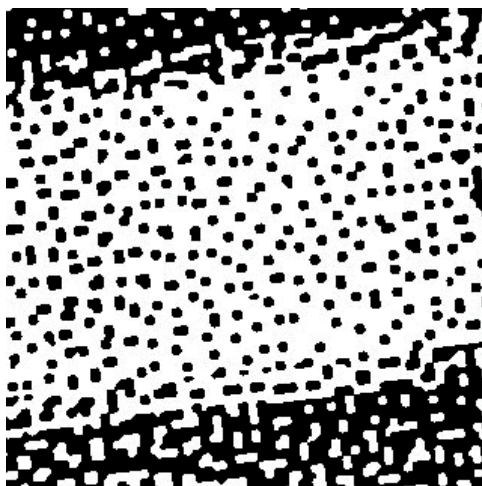


Slika 2.35 Faza Furijeve transformacije

Vrednost svake tačke određena je fazom na odgovarajućoj frekvenciji. Kao i na prikazu magnitude mogu se odrediti horizontalne i vertikalne linije koje odgovaraju šablonu na originalnoj slici. Na slici faze se ne mogu videti nove informacija u vezi strukture i prostornog domena slike i zbog toga, kod analize se prikaz često ograničava samo na magnitudu Furijeve transformacije. Ipak informacije koje se nalaze u faznom delu Furijeve transformacije su nezamenljive ukoliko je potrebno sliku vratiti u prostorni domen. Bez ove druge slike Furijevih transformacija to je nemoguće uraditi a da rezultat bude početna slika.

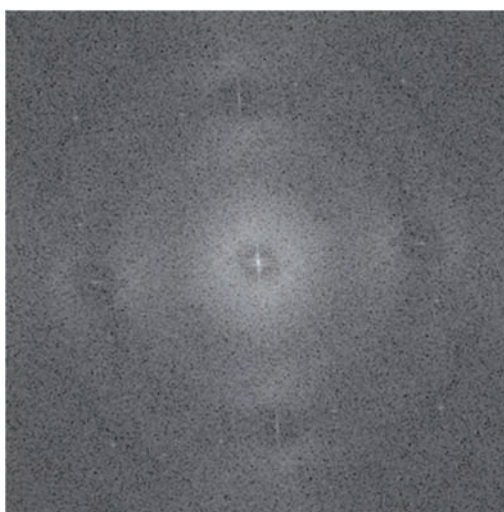
2.5.1.1 Modifikacije u frekventnom domenu

Furijeve transformacije, osim analize slike omogućavaju izmenu u sadržaju slike. Izmene se mogu vršiti maskiranjem u frekventnom domenu, a rezultat je vidljiv u prostornom domenu slike. Na ovaj način se mogu dobiti različiti filteri, može se vršiti kompresija slike i uticati na ponovljive šablone u na samoj slici tj. njihovo uklanjanje. Na slici 2.36 je prikazan deo rastrirane fotografije sa stohastičkim rasterom u prostornom domenu.



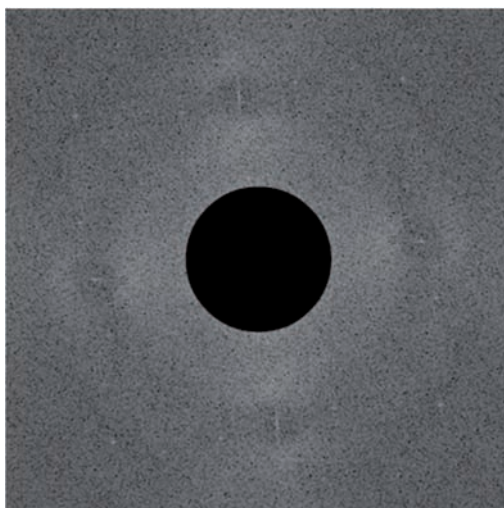
Slika 2.36 Prikaz FM rastera u prostornom domenu

Kada se na nju primeni Furijeva transformacija dobija se slika u frekventnom domenu (slika 2.37). Slika je istih dimenzija i istog sadržaja. Na njoj se može primetiti centralno polje sa nultom frekvencijom, zatim polje srednje frekvencije oko centralne tačke i na krajevima polje visoke frekvencije.



Slika 2.37 Furijeva transformacija FM rastera

Na slici u frekventnom domenu može se uraditi maskiranje kojim se prekriva određena površina slike, tj. frekvencija. Na taj način se sve niske frekvencije nakon inverzne Furijeve transformacije uklanjaju sa slike u prostornom domenu.



Slika 2.38 Uklanjanje elemenata niske frekvencije maskiranjem u frekventnom domenu

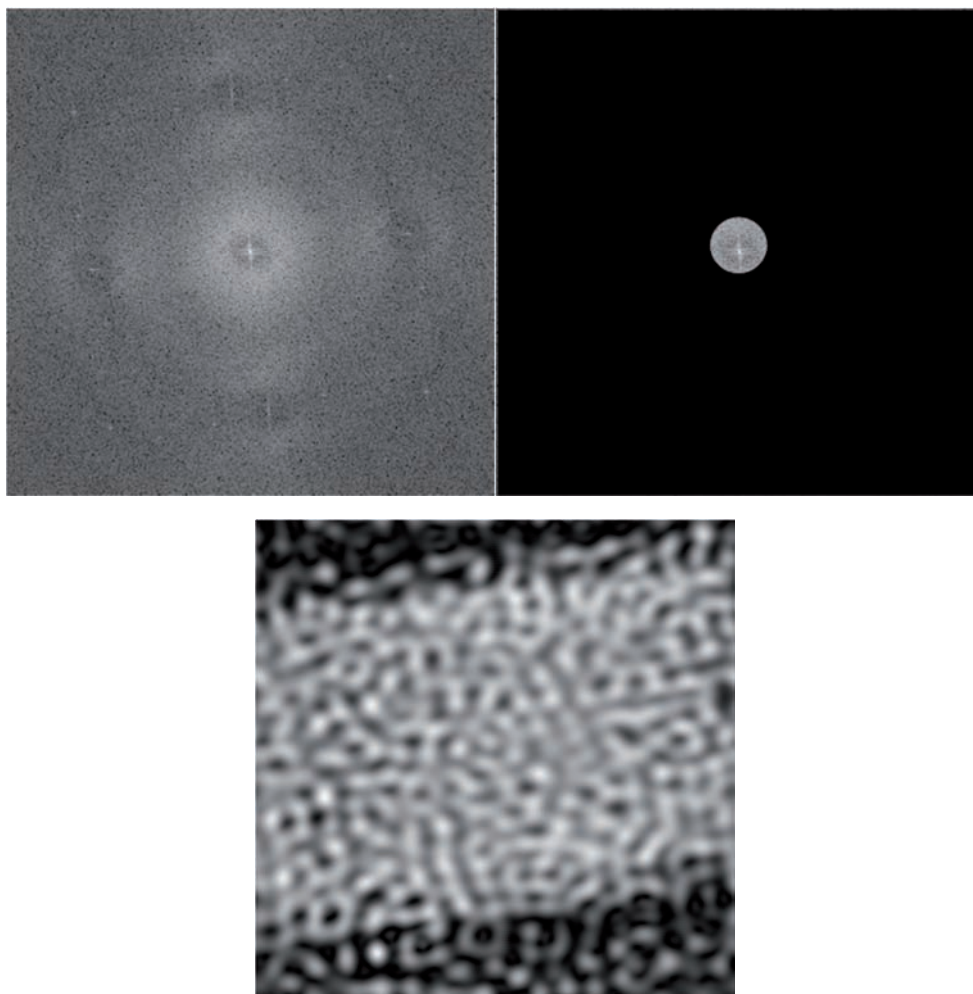
Nakon inverzne Furijeve transformacije dobija se slika 2.39 koja je u prostornom domenu sa uklonjenim elementima visoke frekvencije.



Slika 2.39 Rezultat maskiranja prikazan u prostornom domenu

Ovako obrađena slika daje jasnu predstavu o rasporedu ivica rasterskih tačaka, tako da su struktura tačke i potencijalni problemi sa perimetrima tačke jasno uočljivi.

Ukoliko se ista slika maskira tako da prikaže samo delove slike niske frekvencije, tj. kada se u frekventnom domenu uklone sve površine sa visokom frekvencijom, rezultat je slika u prostornom domenu sa *low-pass* efektom, koji je često u upotrebi kada se želi uraditi aproksimacija ljudskog vizuelnog sistema.



Slika 2.40 Maskiranjem visokih frekvencija u frekventnom domenu aproksimira se HVS

2.5.1.2 Primena Furijevih transformacija

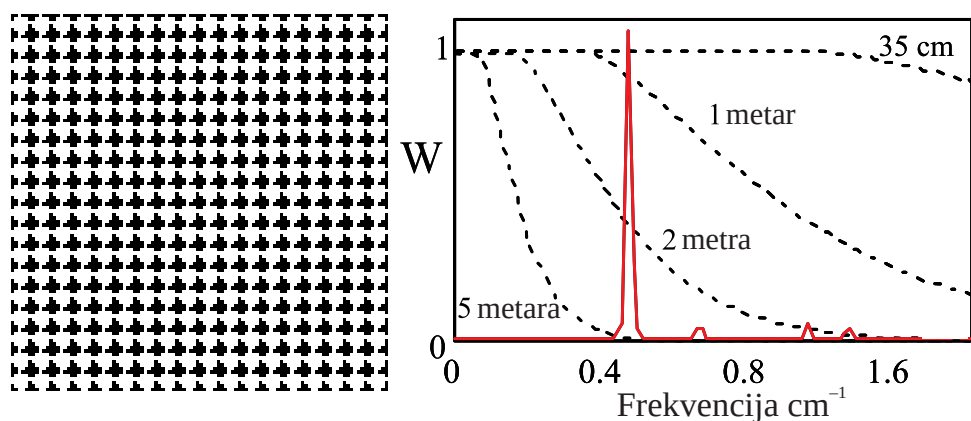
Raster je tip tačkastog šablona i može biti objektivan izvor šuma na slici. U cilju smanjivanja vizuelne percepcije tog tipa šuma, potrebno je povećati frekvenciju rasterske tačke kako bi se ona pomerila u spektar frekvencija koje ljudsko oko nije u mogućnosti da percipira. Ljudski vizuelni sistem bez naprezanja raspoznaje objekte u veličinama od 0,8 do 1 mm na standardnoj udaljenosti čitanja od 35 cm. Veličina elemenata od 0.23 mm je granična veličina koju ljudsko oko može da raspozna kao zaseban element. Ova veličina odgovara linijaturi rastera od 110 lpi. Sada je jasno razumeti zašto je kao standard industrije za linijaturu rastriranja određen 150 lpi raster, koji proizvodi tačku nešto manju nego što je ljudsko oko u stanju da razazna, 0,169 mm. U tabeli 2.5 su prikazane linijature AM rastera i veličina rasterskih tačaka koje su rezultat odgovarajuće linijature.

Tabela 2.5 Prikaz povezanosti linijature rastera, veličine rasterske tačke za datu linijaturu i ciklusa po milimetru

LPI	mm	Cik/mm
12	2,21	0,472
35	0,726	1,378
72	0,353	2,835
85	0,299	3,346
100	0,254	3,937
110	0,231	4,331
120	0,212	4,724
150	0,169	5,906
220	0,115	8,661
300	0,085	11,811
600	0,042	23,622
1200	0,021	47,244
2400	0,011	97,488

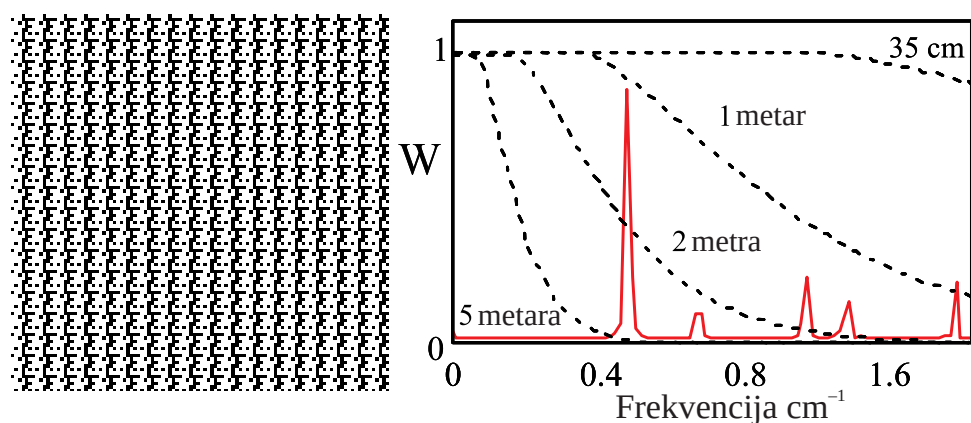
Furijeve transformacije pružaju mogućnost analize stepena vidljivosti rasterske strukture različitih metoda rastriranja i njihovo poređenje. Upotrebom snage spektra Furijevog šuma W , statističke varijanse refleksije na slici merene za svaku frekvenciju koja se na slici nalazi. Snaga šuma omogućava pregled raspodele šuma po frekvencijama na taj način da je moguće predvideti na kojoj frekvenciji će doći do šuma koji je vidljiv ljudskom oku.

Na slici 2.41 prikazano je polje rastrirano AM rasterom. Na grafiku pored slike se može videti da je snaga šuma na slici skoncentrisana na frekvenciji od 0,47 ciklusa/mm. To je frekvencija rasterske tačke koja je prikazana na slici. Iz grafikona se vidi da je šum dobijen sa ovom frekvencijom vidljiv posmatračima na udaljenosti od skoro 5 metara. Tek na većoj udaljenosti od 5 metara ovaj šablon rastera će poprimiti kontinualni ton, tj. rasterska struktura neće biti vidljiva (James, 1977).



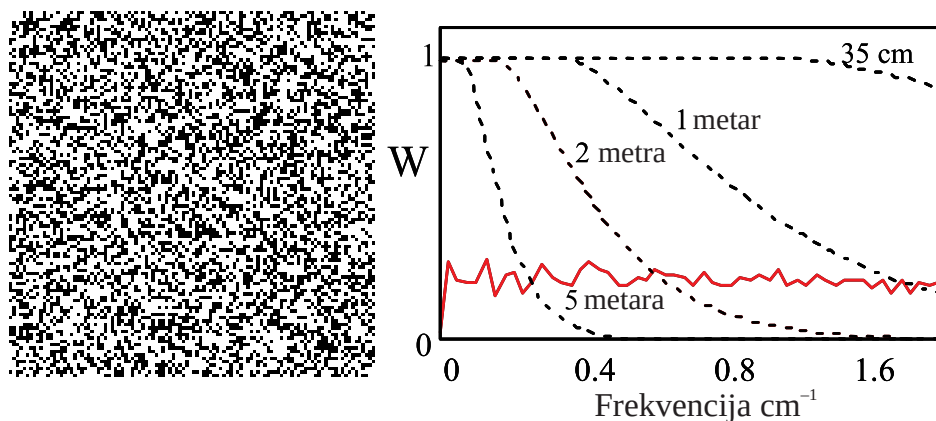
Slika 2.41 AM rasterski šablon i njegova prezentacija preko snage šuma

Analiza snage šuma prikazuje frekvenciju i snagu. Na Slici 2.41 se može videti da je snaga najveća na frekvenciji od 0,47 ciklusa/mm. Na toj frekvenciji nalazi se rasterski šablon. Niska frekvencija je vidljiva ljudskom oku tako da je ovako generisani šablon vidljiv i sa većih udaljenosti, kako je prikazano na slici 2.41. Udaljenost veća od 5 metara, donosi naglu promenu u vidljivosti šablona, tj. šablon postaje neprepoznatljiv ljudskom oku.



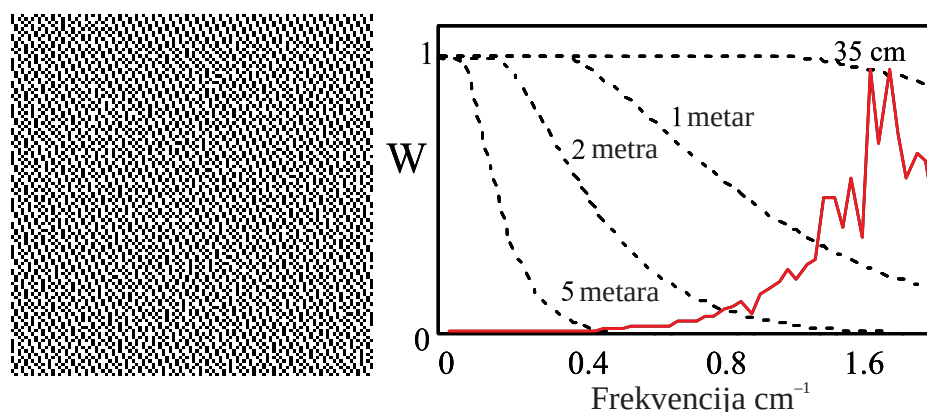
Slika 2.42 Rasterski šablon i njegova snaga šuma raspoređena po frekvencijama

Na slici 2.42 može se videti još jedan matrični šablon, sitnije gradacije. Rezultat veće frekvencije rasterskih elemenata može se videti i na grafikonu. Osim jednog ekstremnog vrha, frekvencija elemenata na slici se pomerila ka višim vrednostima. I dalje se na frekvenciji od 0,47 ciklusa/mm nalazi prilično veliki šum, ali ovog puta može se primetiti da je on vidljiv sa udaljenosti od 2 metra i manje (Rosen, 2006).



Slika 2.43 Rasterski šablon belog šuma i njegova snaga šuma raspoređena po frekvencijama

Na slici 2.43 je prikazana rasterska struktura dobijena uz pomoć belog šuma (Ulichney, 1999). Beli šum ima jednaku energiju u svim talasnim dužinama. Ova energija uključuje i delove koji se nalaze u niskim frekvencijama tako da je kod rastriranja ovom tehnikom vidljiv šum. Ukoliko se slika posmatra sa stanovišta udaljenosti posmatrača od rastera, iz grafika se može videti da će se snaga šuma ostati ista bez obzira na udaljenost.



Slika 2.44 Floyd-Steinbergov algoritam rasterizacije i njegova snaga šuma raspoređena po frekvencijama

U prikazu snage šuma (slika 2.44) Floyd-Steinbergovog algoritma, može se primetiti da je veći deo šuma premešten na više frekvencije. To znači da se sa mnogo manje udaljenosti može posmatrati struktura rastera, a da on deluje kako ujednačeni ton. Veća frekvencija elemenata je manje vidljiva ljudskom oku tako da ovaj algoritam prikazuje najbolje vizuelne karakteristike. Za ovu veličinu rasterske tačke vidljivost rastera postaje visoka tek sa udaljenošću manjom od 35 cm. Sa grafika se može videti da veličina rasterske tačke odgovara 1,6 ciklusa/mm što odgovara linijaturi od 35 LPI, tako da možemo reći da je u pitanju prilično krupan raster.

2.5.2 Standardna devijacija

Za potrebe ocenjivanja šuma fotografija razvijen je način analize preko standardne devijacije slike. Rezultat je vrednost standardne devijacije koja može poslužiti kao merilo šuma na slici i kod rastriranih slika. Međutim treba imati na umu da jedna vrednost ne može zameniti složen stimulus slike, ali je upotrebljiva kod analize različitih struktura rastera tj. njihove vidljivosti na određenim udaljenostima. Reprodukciju je nakon štampe potrebno digitalizovati sa uređajem koji ima veću rezoluciju nego što je linijatura štampane reprodukcije (kako bi se svi podaci o rasterizaciji sačuvali). Postoje dva načina izračunavanja standardne devijacije koja se međusobno razlikuju. Oni zavise od kalibracije uređaja i mogu biti standardna devijacija refleksije σ_R ili standardna devijacija optičke gustine σ_D .

$$\sigma_R = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{j=1}^N (R_j - \bar{R})^2} \quad (31)$$

$$\sigma_D = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{j=1}^N (D_j - \bar{D})^2} \quad (32)$$

Vrednosti $\bar{R}$ i $\bar{D}$ su srednje vrednosti refleksije i optičke gustine slike, R_j i D_j u pojedinačne refleksije za svaku lokaciju piksela slike j , dok je N je ukupan broj piksela na digitalizovanoj slici.

Standardna devijacija ne uzima u obzir filtriranje frekvencije koje se događa u ljudskom vizuelnom sistemu i kao takva ne pruža dodatne informacije o vidljivosti rasterske strukture. Kako bi se standardna devijacija šuma mogla koristiti i u toj nameni potrebno joj je pridodati jednačinu koja će aproksimirati ljudski vizuelni sistem. Aproksimacija se vrši preko funkcije vidljive kontrastne osetljivosti ili vizualne transfer funkcije (VTF) za udaljenost posmatrača od 35 cm. Frekvencija za horizontalni, ω , i vertikalni, v , pravac je uključena u analizu.

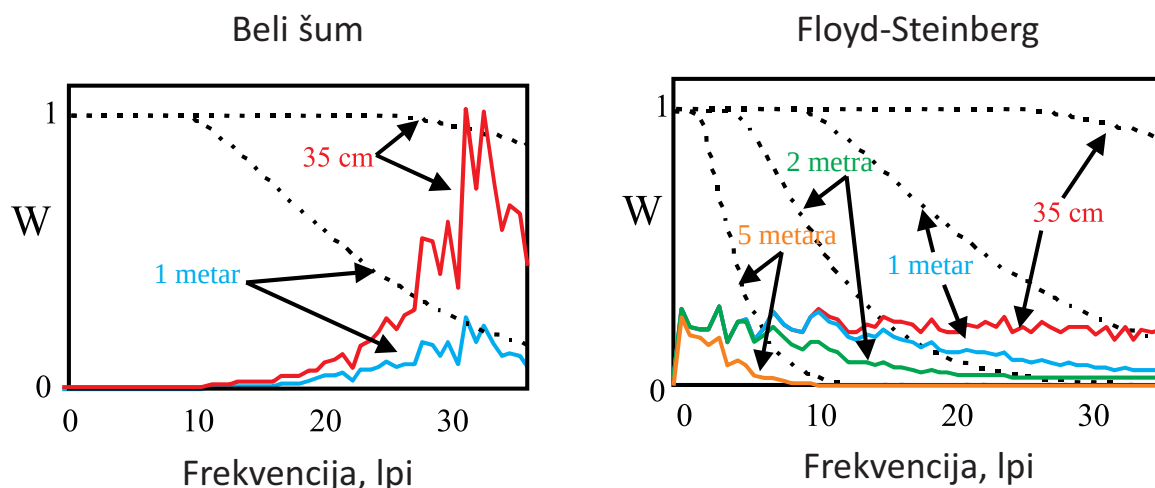
$$\sqrt{\omega^2 + v^2} > \frac{1 \text{ ciklus}}{\text{mm}}, VTF(\omega, v) = 5.05 \cdot (e^{-0.84\sqrt{\omega^2 + v^2}} - e^{-1.45\sqrt{\omega^2 + v^2}}) \quad (33)$$

$$\sqrt{\omega^2 + v^2} \leq \frac{1 \text{ ciklus}}{\text{mm}}, VTF(\omega, v) = 1 \quad (34)$$

Kako slika ima dve dimenzije $R(x, y)$ rezultat Furijeve transformacije je dvodimenzionalna spektar snage šuma, $W(\omega, v)$. Nakon filtriranja rezultat je kvadratni koren standardne devijacije šuma koji je vidljiv ljudskom vizuelnom sistemu.

$$\sigma_V^2 = \iint_{\omega, v} W(\omega, v) VTF(\omega, v) d\omega dv \quad (35)$$

Iz jednačine se može videti da se spektar snage šuma, W , množi sa vizuelnom transfer funkcijom (VTF). Integral proračunava vrednost polja ispod krive vidljivosti. Površina ispod svake krive je mera standardne devijacije σ_v koju ljudsko oko može detektovati, na odabranoj udaljenosti posmatrača. Na ovaj način σ_v menja snaga šuma u zavisnosti od udaljenosti posmatrača. Za slike belog šuma i Floyd-Steinbergovog algoritma rezultujući grafici su prikazani na slici 2.45.



Slika 2.45 Prikaz rezultata analize rasterizacije standardne devijacije šuma (Rosen, 2006)

Standardna devijacija šuma se upotrebljava u metrikama za kvalitet slike koji matematički proračunavaju kvalitet kao što su MSE (Mean squared error), PSNR (Peak Signal to Noise Ratio) i RMS (Root mean Square). Metrika zasnovana na matematici se koristi zbog jednostavne upotrebe i rezultujućih vrednosti, mada se nije pokazala visoka korelacija sa ispitanicima (Wang, Bovik, Sheikh, & Simoncelli, 2004).

Razlog slabije korelacije sa ispitanicima jeste što matematičke metode uzimaju u obzir idealne uslove koji podrazumevaju rastersku tačku potpuno ispunjenu i sa oštrim ivicama. U procesu štampe, koja god tehnika da je u pitanju, ovi idealni uslovi su nedostižni. Porast raster-tonskih vrednosti doprinosi širenju tačke i smanjenju oštrote ivice tačke što doprinosi smanjenju snage šuma. Kako štampa podrazumeva reprodukciju više otisaka stabilnost procesa štampe igra značajnu ulogu u određivanju kvaliteta rastera. Stepenn stabilnosti otiska štampe često zavisi od rasterskog šablona koji se štampa. Neki rasteri su stabilniji u procesu štampe od drugih. Štampa sitnijih tačaka prouzrokuje nestabilniji sistem od štampe sa većim rasterskim elementima. Upravo uz pomoć objektivne analize kvaliteta odštampane slike kao i instrumentalnih merenja cilj je ostvariti što bolji kvalitet ne narušavajući stabilnost procesa štampe.

2.5.3 ΔE razlika boje

Merenje razlike obojenja (ΔE_{ab}^*) pripada grupi metrika na bazi matematičkog proračuna. To je jedna od najčešće korišćenih formula za razliku u boji za CIELAB prostor boja. U ovom prostoru boja moguće je definisati udaljenost dve boje jedna od druge upotrebom Euclidean-ove udaljenosti. ΔE_{ab}^* uzima uzorkovane vrednosti CIELAB, L_r^* , a_r^* , b_r^* za referentnu boju i ostvarenu boju L_o^* , a_o^* , b_o^* i proračunava razdaljinu između njih (Fairchild, 2005).

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (36)$$

gde su $\Delta L^* = \Delta L_o^* - \Delta L_r^*$, $\Delta a^* = \Delta a_o^* - \Delta a_r^*$, $\Delta b^* = \Delta b_o^* - \Delta b_r^*$.

ΔE_{ab}^* je poznata kao apsolutna razlika boja gde je komponenta ΔL^* razlike u svetlini, Δa^* razlika na crveno-zelenoj osi boje i Δb^* razlika na žuto-plavoj osi boje.

CIELAB formula daje zadovoljavajuće rezultate prilikom merenja uniformnih uzoraka boje. Kako je HVS manje osetljiv na promene boje kod finih detalja u poređenju sa većim površinama, vrednosti razlike boje bi trebale da uračunaju ovu karakteristiku ljudskog vizuelnog sistema. Međutim CIELAB formula će predvideti iste vizuelne razlike jer ne sadrži prostornu komponentu. Zbog svoje primene u kontroli štamparskog procesa ΔE_{ab}^* se može upotrebiti i kod analize slika u boji. U poređenju dve slike u boji proračunava se razlika za svaki piksel, a srednja vrednost ovih razlika definiše se kao indikator razlike između dve analizirane slike.

$$\overline{\Delta E_{ab}^*} = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{m-1} \sum_{y=0}^{n-1} \Delta E_{ab}^*(x,y) \quad (37)$$

gde su x , y pozicije piksela, M i N visina i širina slike. Zbog svojih nedostataka predloženo je nekoliko nadogradnji ove metrike. Prva je izvršena primenom ΔE_{94}^* , zatim ΔE_{00}^* , međutim zbog veće kompleksnosti izračunavanja i dalje se često koristi bazna ΔE_{ab}^* .

2.5.4 S-CIELab

Metrika zasnovana na ljudskom vizuelnom sistemu se oslanja na funkciju kontrastne osetljivosti. Sa druge strane primena kontrastne osetljivosti tj. ljudskog vizuelnog sistema se odvija pre samog proračuna kvaliteta slike koji je matematički. Ove metrike se mogu posmatrati kao nadogradnja matematičkih modela sa aproksimacijom ljudskog vizuelnog sistema. Kako je nedostatak metrike razlike boje CIELAB to što nije prilagođena vizuelnom aparatu, njena nadogradnja u ovom delu jeste upravo S-CIELAB koja u sebi sadrži upravo prostorne proračune. S-CIELAB u sebi sadrži prostornu komponentu zamućenja. Međutim, CIELAB kalkulacija se primenjuje za veće uniformne površine (Zhang, Wandell, 1996). Slika se prvo podlaže promeni prostora boja RGB u CIEXYZ a zatim u naspramni prostor boja O_1 , O_2 i O_3 .

$$O_1 = 0,279X + 0,72Y - 0,107Z \quad (38)$$

$$O_2 = -0,449X + 0,29Y - 0,077Z \quad (39)$$

$$O_3 = 0,086X - 0,59Y + 0,501Z \quad (40)$$

Slika na ovaj način sadrži tri kanala, O_1 sa podacima o svetlini, O_2 sa odnosom između crvene i zelene komponente i O_3 sa odnosom između plave i žute komponente. U ovom prostoru boja se zatim primenjuje prostorni filter koji podatke svakog kanala filtrira sa dvodimenzionalnim prostornim kernelom:

$$f = k \sum_i w_i E_i \quad (41)$$

gde je

$$E_i = k_i e^{\left[-(x^2+y^2)/\sigma_i^2\right]} \quad (42)$$

Parametri w_i i σ_i imaju drugačije vrednosti u zavisnosti od ravni prostora boja, svetline, crvene-zelene i plave-žute ravni. Posle prostornog filtriranja slika se transformiše u CIEXYZ prostor boja gde se vrši proračun razlike boje ΔE_{ab}^* . Rezultat S-CIELAB metrike jeste razlika boja za svaki piksel, gde se u daljem postupku ove vrednosti pretvaraju u jednu prosečnu vrednost razlike između analiziranih slika. Ovo je jedna od retkih metrika koja je bila prvobitno namenjena analizi odštampanih rastriranih reprodukcija. Nadogradnja S-CIELAB metrike ogleda se u drugačijem načinu implementacije ljudskog vizuelnog sistema kao što je S_{DOG} -CIELAB ili S-CIELAB_j.

S-CIELAB je često primenjuje kod analize rastriranih reprodukcija, gde joj je dodatni kvalitet upravo to što analizira slike u boji. Negativna strana jeste da promena prostora boja dovodi do promene u svetlini slike tako da postoje određena odstupanja kada je u pitanju korelacija ove metrike sa ispitanicima (Johnson, Fairchild, 2002).

2.5.5 SSIM

Metrike zasnovane na razlici boja analiziraju sliku u njenim nižim frekvencijama, u skladu sa prirodom ljudskog oka da se ponaša kao *low-pass* filter. Međutim drugi tip metrike pretpostavlja se kao HVS sistem prilagođen da izvlači i prepoznaje informacije i strukture iz slike. Jedna od prvih metrika zasnovana na analizi strukture slike tj. njihovim razlikama je SSIM (Structural Similarity Image Metrics). SSIM određuje vidljive razlike između originalne slike i izmenjene slike. Svaka izmena u strukturi slike na ovaj način se može kvalifikovati, bez obzira da li je izvor te izmene kompresija slike, filtriranje ili rasterizacija. Algoritam posmatra strukturu slike nezavisno od njene svetline i kontrasta. Krajnji rezultat je kombinacija razlike u tri komponente, svetline, strukture i kontrasta.

$$SSIM(x, y) = \frac{(2\mu_x\mu_y + C_1)(2\sigma_{xy} + C_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2)} \quad (43)$$

gde je μ srednja vrednost intenziteta signala x i y , a σ standardna devijacija signala x i y . C je konstanta definisana kao

$$C_1 = (K_1 L)^2 \quad (44)$$

$$C_2 = (K_2 L)^2 \quad (45)$$

gde je L dinamički opseg slike, $K_1 \ll 1$ i $K_2 \ll 1$ su konstante.

SSIM metod je prilagođen analizi slike na njenoj jednoj veličini. Rezultat je prihvatljiv ukoliko se uzme u obzir odgovarajuća veličina slike, koja zavisi od rezolucije slike i udaljenosti posmatrača. MSSIM (Multi scale SIM) određuje indeks strukturalne sličnosti za više veličina tj. rezolucija.

$$MSSIM(X, Y) = \frac{1}{W} \sum_{j=1}^W SSIM(x_j, y_j) \quad (46)$$

Pritom su X i Y su oznake za referencnu i izmenjenu sliku, x_j i y_j su elementi slike u prozoru j a W označava ukupan broj prozora kojima se analizira slika (Wang, Simoncelli, & Bovik, 2003).

Kako MSSIM kod proračuna uzima u obzir više različitih uslova posmatranja, može se reći da će rezultati strukturalne sličnosti sa MSSIM algoritmom više odgovarati subjektivnim rezultatima tj. imati veću korelaciju sa ispitanicima.

2.5.6 Algoritmi za određivanje kvaliteta slike – metrika kvaliteta slike

Određivanje kvaliteta prilično je složen proces. Subjektivna ocena kvaliteta zavisi od mnogo različitih faktora vezanih za ispitanike, način ispitivanja, uslove ispitivanja, vremena ispitivanja itd. Može se reći da je subjektivno ocenjivanje priznatim i prihvaćenim metodama veoma veliki izazov. Pored ograničavanja svih promenljivih uticajnih parametara kako bi se dobio reprezentativni uzorak, najčešći problem ovakvog tipa ispitivanja jesu sami ispitanici, njihov broj i vreme koje je potrebno za izradu eksperimenta, kako za pojedinačnog ispitanika tako i za ukupan broj ispitanika.

Zbog svih svojih negativnih propratih karakteristika bilo je potrebno naći odgovarajuću zamenu za subjektivno ispitivanje kvaliteta slike. Merenje kvaliteta slike bilo je potrebno prebaciti u objektivne metode, gde će se kvalitet slike odrediti izmerenim parametrima digitalizovane slike. Napraviti algoritam koji će „videti“ ono što i ljudski ispitanici prilikom ocenjivanja kvaliteta otiska jeste vrlo težak zadatak. Prvo pitanje koje se postavlja jeste šta je kvalitet slike?

Kada se govori o kvalitetu on se često definiše kao mera zadovoljenja postavljenih zahteva. Ukoliko je određen predmet lošeg kvaliteta, znači da ne zadovoljava zahteve koji se pred njega postavljaju, tj. ne može da ih izvrši. ISO standardi definišu kvalitet kako sposobnost skupa bitnih

karakteristika proizvoda, sistema ili procesa da ispuni zahtev prosečnog kupaca i drugih zainteresovanih strana.

Kvalitet slike se definiše još od prvih početaka optike tj. još u šesnaestom veku, od pronalaska optičkih instrumenata kroz koje se prikazivala slika. Slike tada nisu mogle da se zabeleže tj. nisu bile stalne, ali je kvalitet slike koju su pružali optički uređaji bio definisan time što se kroz njih moglo videti.

Dalji razvoj istraživanja kvaliteta slike bio je podstaknut pronalaskom fotografije, televizije i digitalnih prikaza slike pa sve do svemirskih istraživanja omogućena uz pomoć digitalne slike koje se primaju iz dubokog svemira. Primena digitalnog oslikavanja i fotografije je svoje prve primene našla u medicini i pripremi grafičke proizvodnje, dok se razvojem personalnih računara raširila na sve sektore društva.

Kvalitet štampe je parametar koji je definisan ISO standardom 12647. On se kvalitetom bavi sa stanovišta kontrole parametara u grafičkoj industriji, sa stanovišta mernih vrednosti i tolerancija. Kada je u pitanju kvalitet štampanog otiska nekoliko parametara se postavljaju kao merodavni. Usklađenost sa specifikacijama koje se tiču stvarnog izgleda slike i usaglašenost sa tolerancijama kontrolnih vrednosti, izvrsnost otiska odnosi se na realističnost tj. vernost realnom prikazu, trajnost otiska tj. njegova sposobnost da se ne promeni pod uticajem svetlosti, hemikalija ili vlage. Naravno pored samog izgleda otiska, kako je grafička industrija proizvodna industrija, kvalitetan otisak podleže elementima koji su vezani za realnu proizvodnju: rokovi proizvodnje i cena.

U svojim istraživanjima Engeldrum je dao predlog kruga kvaliteta slike, koji određuje korake koji su potrebni kako bi se ispunili zahtevi postavljeni pred sliku, tj. kako bi se odredio njen kvalitet (Engeldrum, 2004). On postavlja u centar kvaliteta potrošača prema kome se trebaju podesiti parametri tj. varijable u tehnologiji. Ova prva veza između preferencija potrošača u pogledu kvaliteta i određivanja procesa izrade slike je često određena subjektivnim istraživanjem. Problem je u tome što kod svake promene parametara sistema potrebno je praviti nova istraživanja. Krug kvaliteta određen je na drugu stranu nizom koraka koji se mogu objektivno izmeriti. Percepcija atributa kvaliteta od strane potrošača se oslanja na parametre slike kao što su svetlina, oštrina i zrnasta struktura slike. Fizički parametri slike su kvantitativne funkcije i parametri kojima se opisuje kvalitet slike kao što su boja, optička gustina, porast raster tonskih vrednosti ili sivi balans. Varijable u tehnologiji su parametri koji se menjaju pre samog procesa izrade a u mnogome utiču kako na krajnji rezultat tako i na proces izrade u pozitivnom ili negativnom smislu. Ovi parametri uključuju rezoluciju, linijaturu, veličinu čestica boje, parametri podloge itd.

Ova četiri elementa slike međusobno su povezana modelima, tj. algoritmima koji su prikazani u elipsama na slici 2.46. Modeli kvaliteta slike su empirijski i statistički modeli koji se odnose na percepciju potrošača a vezani su za svetlinu, oštrinu ili zrnaste strukture. Ovaj model u matematičkom smislu opisuje kompromise koje potrošači prave prilikom ocenjivanja kvaliteta slike. Vizuelni algoritmi određuju vrednosti koje imaju određeni atributi kvaliteta u zavisnosti od fizički izmerenih vrednosti. Model tehnike izrade slike predviđa fizičke parametre slike u zavisnosti od varijabli u tehnici. Model na osnovu zadatih parametara u tehnologiji određuje kakav izlazni rezultat se može očekivati.



Slika 2.46 Krug kvaliteta slike spaja određivanje kvaliteta subjektivnim i objektivnim metodama kako i tehnologiju tj. njenu kompleksnost

Kao što se može videti različiti načini merenja, kako subjektivnih tako i objektivnih, su potrebni kako bi se došlo do relevantnih podataka o kvalitetu slike, tj. reprodukcije. Kombinacija objektivnih i subjektivnih metoda i dalje je neprevaziđena kada se radi o predviđanju kvaliteta reprodukcije i njenoj korelaciji sa ispitanicima. Cilj kruga kvaliteta slike jeste da prikaže kvantitativnu vezu između perceptualnih atributa slike i promenljivih parametara tehnologije u procesima reprodukcije.

Modelovanje ukupnog kvaliteta slike bazirano na sakupljenim podacima o atributima kvaliteta je zahtevno, kako za izvođenje eksperimenata tako i vremenski. Kreiranje objektivnih metoda za merenje ukupnog kvaliteta slike je aktuelna tema koja čeka neka nova rešenja. Engeldrum zaključuje da je kvalitet slike funkcija percepcije atributa kvaliteta slike, a ne fizičkih parametara slike. Istraživanja vezana za kvalitet rastera trebalo bi usmeriti u ovom pravcu, te istraživanjem percepcije određenih pozitivnih i negativnih atributa kvaliteta koji su zavisni od rastera doći do zaključka da li je potrebno dodatno ulaganje kako bi se uveli drugačiji metodi rasterizacije u grafički sistem. Kao što se može videti iz kruga kvaliteta jasno je da i parametri koji se tiču tehnologije izrade utiču na ukupan kvalitet slike, tj. tip rastera koji se bira određuje i određene teškoće ili duži vremenski period izrade, koje takođe treba uvrstiti u određivanje kvaliteta slike. Podizanje kvaliteta slike dok se na strani proizvodnje onemogućava dobijanje kontinualnih kvaliteta ili otežavanje proizvodnje, na globalnom nivou ne dovodi do ukupnog poboljšavanja kvaliteta. Kako perceptivni kvalitet slike tako i tehnologija izrade moraju biti u optimalnom odnosu kako bi se dobijeni kvalitet zadržao u okviru zadatih tolerancija a sama proizvodnja zadržala profitabilnost. To bi značilo da u proizvodnji mora postojati dovoljna tehnička opremljenost za postizanje zahtevanog kvaliteta, tehnička i stručna podrška za usvajanje novih ili unapređenih metoda rastriranja, te sistem koji će moći obezbediti konstante uslove proizvodnje kako bi se održao postignuti kvalitet.

Kako bi metrika samostalno mogla da odredi kvalitet slike tj. reprodukcije potrebno je da bude napravljena tako da odgovara onome što može biti percipirano od strane ljudskog vizuelnog sistema. Samo na taj način metrika će moći zameniti istraživanja sa ispitanicima i na taj način ubrzati i olakšati ocenu kvaliteta reprodukcije.

Ona se ne odnosi na procesnu kontrolu parametara u toku štampe, nego da kontrolu rezultata upravo nakon promena varijabli u tehnologiji, bez obzira da li su te promene bile uvedene kako bi poboljšali kvalitet reprodukcije ili ubrzali proizvodnju, olakšali izradu proizvoda i sl.

Shodno ulaznim parametrima metrika za kvalitet slike može se podeliti na dva tipa. Prvi tip je metrika koja kao ulazni parametar ima samo reprodukciju i samo na osnovu nje određuje kvalitet. Ovakav tip metrike često se naziva bez-referencna metrika. Ukoliko osim reprodukcije kao ulazni parametar postoji i originalna slika koja se reprodukovala onda se ta metrika naziva referencnom metrikom. Dalja podela metrike se može uraditi po tome da li analiziraju slike u boji ili monohromatske slike, da li metrika sadrži aproksimaciju ljudskog vizuelnog sistema, ili je bazirana na strukturalnoj analizi slike i matematički bazirani algoritmi (Pedersen, Hardeberg 2009).

U svom radu Eerola i grupa autora uz pomoć ispitanika analiziraju stepen korelacije različitih tipova metrike za određivanje kvaliteta slike referentnom metrikom (Eerola et al., 2010). Ocenu vizuelnog kvaliteta baziraju na poređenju sa originalnom slikom koja predstavlja idealni kvalitet.

Istraživanje su obavili na grupi ispitanika kojoj su prezentovali odštampane uzorke slika, koja je imala mogućnost da pregleda reprodukcije i da ih nakon toga oceni po zadatim kriterijumima. Slike nisu prezentovali na računaru kako bi ispitanicima dali više slobode prilikom analize reprodukcija. Nakon ispitivanja uradili su statističku analizu koja im je poslužila kako bi rangirali ispitivane metrike u skladu sa stepenom korelacije sa ispitanicima.

Eerola ispituje i upotrebu metrike za ocenu kvaliteta slike, kada su u pitanju odštampane reprodukcije. Upoređivanje dve digitalne slike, kada je u pitanju npr. ocena kvaliteta kompresije, je jednostavno po pitanju upotrebe metrike, jer kompresovana slika nije prošla kroz promene sistema boja, kako je slučaj kada je u pitanju poređenje sa odštampanom reprodukcijom. Pored drugačijeg sistema boja (RGB i CMYK) odštampana reprodukcija prolazi kroz diskretizaciju tj. rasterizaciju i menja svoju prostornu strukturu, što još više komplikuje poređenje. Kako bi se uporedili original i reprodukcija, reprodukcija se mora vratiti u digitalni oblik. Vraćanje u digitalni oblik stvara još jedan tip prelaza na koji utiču različiti tehnički faktori. Kao što se može primetiti različiti faktori se moraju uzeti u obzir kako bi poređenje između reprodukcije i originala, tj. metrika za kontrolu kvaliteta slike mogla biti korišćena. U radu se predlažu sledeći koraci. Prilikom pretvaranja slike u digitalni oblik treba odabrati skener koji će imati veću rezoluciju od rezolucije štampe. Na taj način se sprečava da proces skeniranja ne menja strukturu odštampanog rastera, nego da se prenesu sve informacije sa otiska u digitalnu formu. Takođe opseg boja skenera treba prilagoditi odštampanim uzorcima upotrebnom odgovarajućih profila boja. Slika se prebacuje u CIELab sistem boja koji je više prilagođen ljudskom vizuelnom sistemu nego RGB. Posle ovog koraka predlaže se pretvaranje skenirane slike u sliku kontinualnih tonova kako bi se reprodukcija prilagodila originalu koji je takođe slika kontinualnih tonova. Upotrebom algoritama koji će ukloniti visoke frekvencije slike koje sadrže podatke o rasterskoj strukturi vrši se inverzna rasterizacija. Ovim korakom uklanjaju se sve informacije o rasteru i način na koji se primenjuje imaće uticaj na poređenje sa originalom. Prostorne deformacije skenirane reprodukcije, kao što su skaliranje, rotacija i translacija, uslovljene su optikom skenera i ne mogu se izbeći, te je potrebno uraditi upasivanje, tj. obezbediti preciznu registraciju reprodukcije i originala kako bi im se prostorne strukture poklapale. Ukoliko su strukture originala i reprodukcije identične, ali se prostorno ne podudaraju metrika će ih registrovati kao različite jer se oslanja na prostorne koordinate elemenata na digitalizovanim slikama, što će dovesti do pogrešnih rezultata o sličnosti. Predlažu se dve metode za registraciju slike. Prva metoda predlaže korišćenje kontrolnih tačaka koje se dodaju izvan slike koja se reprodukuje i nakon registracije se uklanjaju, dok druga predlaže korišćenje lokalnih tačaka na slici. Iako se dodavanje tačaka na slici može smatrati dodatnim korakom pokazalo se kao boljim jer korišćenje lokalnih tačaka je problematično kada se porede slike sa kontinualnim tonovima.

Prilikom odabira metrike za određivanje kvaliteta slike treba voditi računa da ne bude previše osetljiva na promene koje se mogu javiti usled neodgovarajućeg registra, jer se greške mogu javiti na nivou piksela. Greške koje se javljaju kod subjektivnog ispitivanja najčešće su ukoliko se reprodukcija gleda kao odštampani uzorak a original prikazuje digitalno na monitoru.

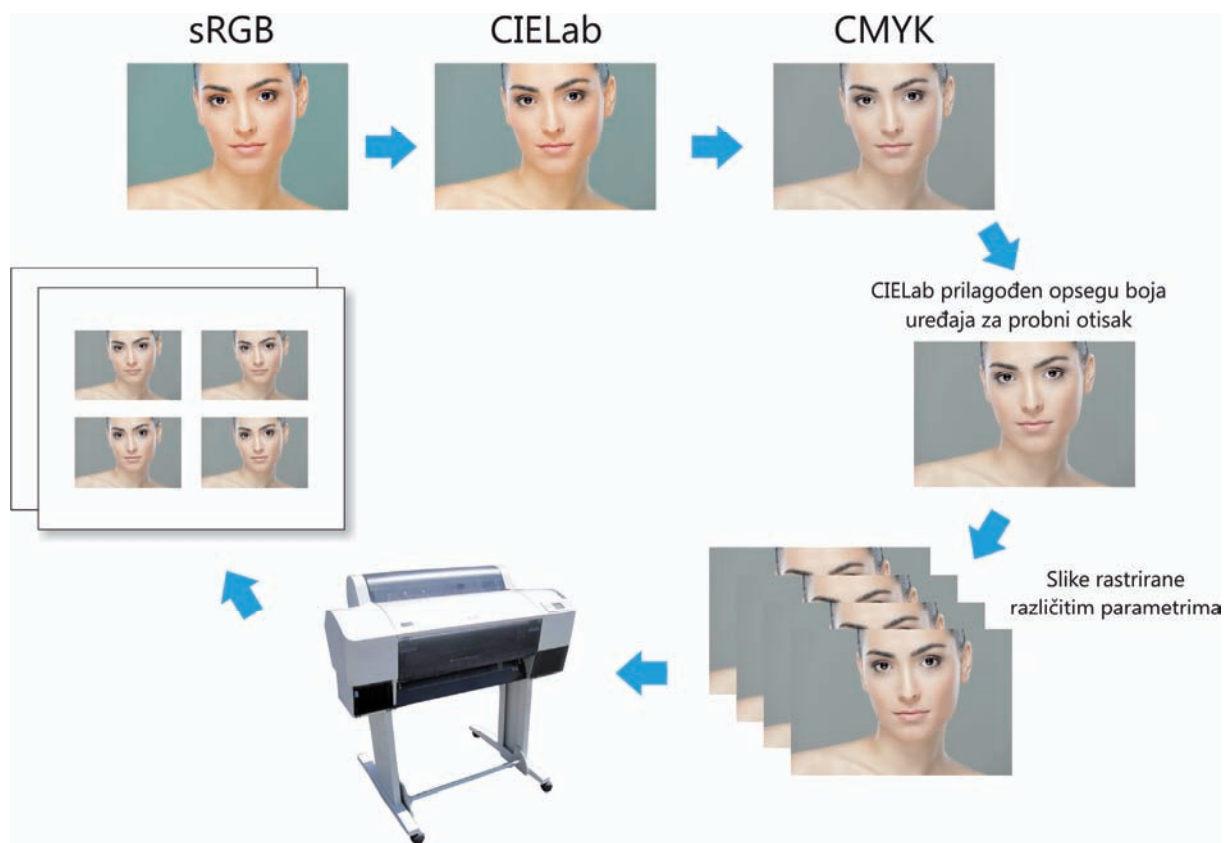
Kod metrika koje simuliraju ljudski vizuelni sistem (HVS) prilikom izračunavanja razlike između reprodukcije i originala signal slike se deli na čist signal i signal greške. Greška se zatim kroz funkciju kontrastne osetljivosti analizira i definiše joj se značajnost. Nekoliko bitnih ograničenja prati modele metrike koji se oslanjaju na HVS. Može se reći da nije potvrđeno da je signal greške koji se javlja kako rezultat jednak sa gubitkom kvaliteta koji se percipira kod ispitanika. Sa druge strane, modeli osetljivosti funkcije ljudskog oka kreirani su psihofizičkim eksperimentima na jednostavnim teksturama radi generalizacije funkcija i nije poznato koliko se oni mogu uspešno primeniti na posmatranje složenih struktura prirodnih slika. Primena HVS je potrebna u cilju korelacije metrike sa ispitanicima ali je do sada njena primena uslovljena kvalitetom simulacije ljudskog vida i kao takva je veoma zahtevna računarski a sa druge strane previše generalizovana.

Poređenjem psihofizičkih i metričkih rezultata, kod odštampanih slika korišćenjem ink-džet tehnike kao i elektro-fotografije, neki od zaključka su se mogli izvući (Oittinen et al., 2008). Kada je u pitanju pregled koeficijenata korelacije, metrike koje se ističu su UQI (*Universal quality index*), SSIM (*Structural similarity metric*), MS-SSIM (*Multiscale Structural similarity metric*) (Wang et al., 2003) zasnovani na razlikama u strukturama posmatranih slika, što je u skladu sa pretpostavkom da je HVS zavistan od strukturalnih informacija. Algoritmi zasnovani na statističkoj obradi takođe su pokazali dobru korelaciju. IFC (*information fidelity criterion*) se zasniva na prepoznavanju prirodnih slika u odnosu na veštački kreirane (tekst, računarski generisane slike, umetničke slike itd.) tj. pronalaženju statističkih informacija zajedničkih za originalnu i reprodukovanu sliku, dok je VIF (*visual information fidelity*) proširenje IFC-a sa HVS modelom. Što se tiče metrike koja u sebi sadrži neki vid HVS algoritama, najveću korelaciju prikazali su NQM (*Noise Quality measure*) koja koristi HVS sistem zasnovan na Pelijovoj piramidi kontrasta (Peli, 1990) i VDP (*Visible differences predictor*) (Daly, 1992).

U drugom eksperimentu poređene su mogućnosti različitih tipova metrika da predvide prag na kojem će količina informacija koja se nalazi na slici biti dovoljna kako bi ispitanici prepoznali sadržaj slike (Rouse & Hemami, 2008). Rasterizacija utiče na strukturu informacija na slici. Gubitak informacija može dovesti do percepcije nedostatka informacija kao greške u reprodukciji ili čak može dovesti do ne prepoznavanja entiteta na reprodukciji. Mogućnost uočavanja praga na kojem će određeni objekti na slici biti prepoznatljivi veoma je značajno za ocenu kvaliteta slike. Ni jedan algoritam za određivanje kvaliteta slike zasnovan na HVS psihofizičkim osobinama nije bio u mogućnosti da odredi prag prepoznatljivosti informacija na reprodukciji. Algoritmi zasnovani na strukturi podataka na slici su i u ovom aspektu najuspešniji.

Algoritmi za određivanje atributa kvaliteta slike MS-SSIM su pogodni za određivanje praga prepoznavanja jer je utvrđeno da zadržavaju visoko frekventne elemente slike po kojima se vrši prepoznavanje.

Ole Norberg u svojim istraživanjima uticaja papira na percepciju kvaliteta štampe uzorke na različitim materijalima. Za pripremu pre same štampe daje predlog i pregled rešenja (Norberg & Andersson, 2009). Prvo se slika transformiše u CIELab prostor boja uz korišćenje D50 osvetljenja i 2° posmatranja standardnog posmatrača. ICC profili koji su generisani za uređaj za štampu upotrebljeni su za pretvaranje iz CIELab prostora boja u CMYK preko perceptualnog načina prilagođavanja opsega boja. Kreirani ICC profili su zatim iskorišćeni za prebacivanje iz CMYK prostora boja nazad u CIELab uz pomoć relativnog načina prilagođavanja opsega. Ovako pripremljene digitalne slike su poslate na izmenu određenih parametara koji će biti ispitivani. Nakon manipulacije slike su prebačene u konačni CMYK prostor boja zavistan od uređaja uz pomoć relativnog prilagođavanja opsega. Slika 2.47 prikazuje korake u pripremi štampe za eksperiment.



Slika 2.47 Koraci za kreiranje test alata za subjektivno ispitivanje

Istraživanja su pokazala da su male razlike u opsegu boja i oštrini dovoljne kako bi se primetile i uticale na kvalitet otiska. Gradijent boja samo delimično utiče na percipirani kvalitet, tj. kada tonski prelazi postignu određeni nivo kvaliteta njihov uticaj prestaje. Može se reći da ukoliko tonski prelazi prikazuju velike nedostatke, oni će uticati na smanjenje kvaliteta reprodukcije ali čim njihov kvalitet poraste na prihvatljiv nivo, povećanje kvaliteta neće biti percipirano od strane ispitanika.

3. Predmet, problem i cilj istraživanja

Frekventno modulirani rasteri pružaju mogućnost podizanja kvaliteta grafičkih proizvoda kako u tehničko-tehnološkom tako i u tržišnom pogledu. Nesumnjivo je da ofset tehnika pruža kvalitet otisaka koji sadrži veliki broj atributa kvaliteta, kako na jednom otisku, tako i kroz ceo tiraž. Prateći razvoj tehnike digitalne štampe i poboljšanja otiska kako elektrofotografskim postupcima tako i ink-džet tehnike, može se doći do zaključka da su upravo ove tehnike najviše profitirale od upotrebe FM načina rasterizacije. Kako bi se kvalitetom nametnula iznad nadolazećih novih tehnika ofset štampa treba da iskoristi mogućnost upotrebe novih načina rastriranja i na taj način parira digitalnim tehnikama.

Prednosti FM rastera potvrdile su se kako objektivnim tako i subjektivnim metodama. Jedna od najvećih prednosti je uklanjanje moiré šablona zbog čega je posebno pogodan kod reprodukcija koje sadrže određenu periodičnu strukturu ili se na takvu štampaju. Fini tonski prelazi, veći broj detalja, manja osetljivost na pogrešan registar boja, su samo neke od prednosti koje se postižu upotrebom FM rastera. Interesantna su i istraživanja vezana za količinu boje koja se može uštedeti upotrebom stohastičkog načina rastriranja (Colour Splash n.d.), koji iskorišćava tanji nanos boje na podlogu. Na ovaj način pored uštede novca, vodi se računa i o zaštiti okoline. FM omogućava da se slike niže rezolucije štampaju u visokom kvalitetu bez negativnih pojava.

Problemi u proizvodnji koji se vezuju za odabir frekventno modularne rasterske tehnike su njegova matematička kompleksnost, tj. trajanje procesa rasterizacije. Ovo vreme je prilično smanjeno upotrebom sve bržih računara. Porast raster tonskih vrednosti je jedan od najvećih negativnih aspekata FM rastera. U analizi dosadašnjih rezultata mogao se primetiti razvoj različitih modela za predviđanje porasta rasterskih vrednosti, kako fizičkih tako i optičkih. Pregled je obuhvatio i analizu uticaja porasta rasterske tačke na obojenje na otisku. Porast rasterske tačke, nema toliko veliki uticaj na ukupno obojenje jer se sa porastom tačke smanjuje visina nanosene boje na podlogu. Samim tim smanjuje se njena optička gustina te je uticaj na ukupnu devijaciju boje smanjen. Takođe, izmereni porasti raster tonskih vrednosti mogu biti smanjeni ukoliko se u izradu štamparske forme uračunaju kompenzacione krive kojima se vrednosti rastera mogu postaviti na željene.

Istraživanje i razvoj različitih tehnika rastriranja pokretani su potrebom za praktičnom primenom. Osim što omogućuje proces štampe, rasterizacija ima za cilj da obezbedi što je moguće veći kvalitet za zadate uslove. Kvalitet otiska može se meriti objektivno i subjektivno. Objektivne metode merenja kvaliteta otiska zasnivaju se fizičkim merenjima otiska, tj. na upotrebi mernih instrumenata (spektrofotometar, denzitometar...), kojima se postižu parametri štampe definisani standardima (ISO 12647, GRACoL, PSO, Fogra, System Brunner...). Svi ovi standardi pored, mernih polja, na test kartama sadrže i fotografije za vizuelnu evaluaciju otiska. To pokazuje vrednost subjektivne ocene kvaliteta. Kako je subjektivna ocena kvaliteta zahtevna, kako vremenski tako i po pitanju ljudskih resursa, javila se potreba za objektivnom ocenom kvaliteta koja će zameniti subjektivnu, a biti u visokoj korelaciji sa njom. Kako bi se to postiglo, osim matematičkog proračuna greške ili šuma na slici potrebno je uvesti i uticaj ljudskog sistema vida (*human visual system*). HVS se aproksimira funkcijom prostorne osetljivosti (*spatial sensitivity function*) poznate kao funkcija kontrastne osetljivosti (*contrast sensitivity function*) (Rovamo & Kankaanpa, 1999) (Wang et al. 2004). Uloga HVS filtera jeste da pruži informaciju da li će određena frekvencija šuma biti vidljiva ljudskom oku na određenoj udaljenosti i da procenu uvrsti u ocenu kvaliteta reprodukcije, zajedno sa izmerenim vrednostima. Međutim, funkcija kontrastne osetljivosti ne može biti direktno upotrebljena zbog kompleksnosti struktura slika, tako da najbolji algoritmi za ocenu slike ne sadrže HVS nego su zasnovani na strukturalnim razlikama ili razlikama u informacijama (Eerola et al., 2010). Na osnovu analiziranog može se postaviti pitanje, da li postoje još neki parametri koji utiču na percepciju rasterskih struktura kod posmatrača.

3.1 Problematika implementacije frekventno modularnog rastera u proizvodni proces

Implementacija FM rasterske tehnike u proizvodni sistem je mnogo više od podešavanja CTP uređaja. Uvođenje novog procesa rasterizacije treba da ima uticaja na čitavu strukturu proizvodnog i upravljačkog lanca sistema. Komercijalisti imaju mogućnost da proizvode diferenciraju od ostalih na tržištu, grafička priprema i štampa, nove tehnike, treba da upotrebe kako bi stabilizovali i optimizovali proizvodni proces. Rezultat unapređenja mora biti vidljiv u smanjenju proizvodnih troškova i povećanju kvaliteta.

Svaki od delova sistema mora biti prilagođen novom tipu rasterizacije. Štamparske forme moraju omogućavati oslikavanje tačaka od minimum 20 mikrona. Takođe treba se omogućiti stabilno osvetljavanje štamparskih formi sa CTP uređajem koji takođe može da odgovori zahtevima za kreiranje sitnih rasterskih elemenata. Laseri u osvetljivaču moraju imati debljinu laserskog snopa od 10 mikrona. Boje koje se koriste u toku štampe trebalo bi takođe prilagoditi, kako pigmenti i ostali elementi boje ne bi bili previše veliki i samim tim onemogućavali kvalitetno otiskivanje.

Grafička proizvodnja mora biti stabilna i pouzdana. Proces štampe ne bi trebalo koristiti kao uređaj za korekciju boje, nego otisak mora biti predvidljiv i očekivan. Da bi se to postiglo proces kalibracije i pripreme grafičke proizvodnje i upravljanja bojom ne bi trebalo da bude proizvoljan.

Prilikom implementacije potrebno je kreirati korekcione krive za odabrani FM raster. Implementacija nove tehnike rastriranja bi trebalo da bude stalna, tj. da se ne meša sa konvencionalnom jer su podešavanja sistema i parametri kontrole drugačiji.

Podešavanje parametra štampe, sredstva za vlaženje, je bitno za pravilan prenos boje na štamparsku formu i sa štamparske forme na podlogu. FM rasterske tačke su manje osjetljive na veću količinu boje koja se nanosi, u odnosu na konvencionalne rastere, ali su osjetljivi na količinu sredstva za vlaženje koje okružuje rasterske elemente, kao i parametre same tečnosti za vlaženje: pH vrednost, temperatura, provodljivost i kontaminaciju sistema za vlaženje. Valjci sistema za vlaženje, redovnom kontrolom, kako fizičkih oštećenja tako i temperature, omogućavaju nesmetani tok tečnosti za vlaženje i sprečavaju njeno emulgiranje. Sredstvo za vlaženje treba da onemogući prenos boje na neštampajućim elementima, ali prevelika količina može da ugrozi prenos boje na sitnim FM rasterskim elementima, tako da je ovde precizna kontrola neophodna.

AM raster je karakterizovan kroz veličinu tačke, za određenu linijaturu, i broj ciklusa po jedinici dužine. Veza između AM i FM nije toliko prosta zbog stohastičke strukture FM rastera. Finoća FM rastera se meri veličinom tačke koju on proizvodi tako da se određeni ekvivalent može postići uz pomoć informacije koje oba rastera sadrže. Informacija se može prikazati kao broj detalja koji se nalazi na otisku. Upoređivanjem količine informacije koje ovi rasteri sadrže ekvivalenti su sledeći.

FM 21 μm = 500 lpi

FM 26 μm = 325 lpi

FM 35 μm = 275 lpi

Ova poređenja su definisana na osnovu matematičkih metoda. Ukoliko bi u kalkulaciju bili uračunati i način ponašanja rastera u grafičkom sistemu, tada bi razlika bila manja.

FM 21 μm = 385 lpi

FM 26 μm = 240 lpi

FM 35 μm = 205 lpi

Treba napomenuti da ovo nisu apsolutne vrednosti, ali su dobar indikator promene koja se može očekivati uvođenjem FM tehnike rastriranja i očekivanog porasta kvaliteta. Minimalna veličina rasterske tačke direktno je povezana sa tehničkim karakteristikama CTP uređaja, tj. podešavanja rezolucije osvetljivanja. Tako da se u literaturi mogu pronaći različite veličine FM tačaka 10,6; 20; 21; 25; 26 μm ...

U eksperimentalnom delu rada biće ispitana dodatna veza između AM i FM strukture rastera koja će uključivati S-CIELab metriku. Uz pomoć objektivne metode određivanja kvaliteta otiska, tj. razlike između originala i rastrirane slike, napraviće se veza između dva tipa rastera i tada će dodatno moći da se uporede njihove karakteristike.

Prilikom kreiranja štamparske forme, rade se interne provere načina na koji će se otisak ponašati, tj. kreiraju se kompenzacione krive. Dobro kreirane kompenzacione krive, pored stabilnih mehaničkih i hemijskih uslova, omogućiće dobijanje otisaka u skladu sa implementiranim standardom. Standard može biti interni, a mogu se primeniti i prihvaćeni internacionalni standardi za kvalitet štampe.

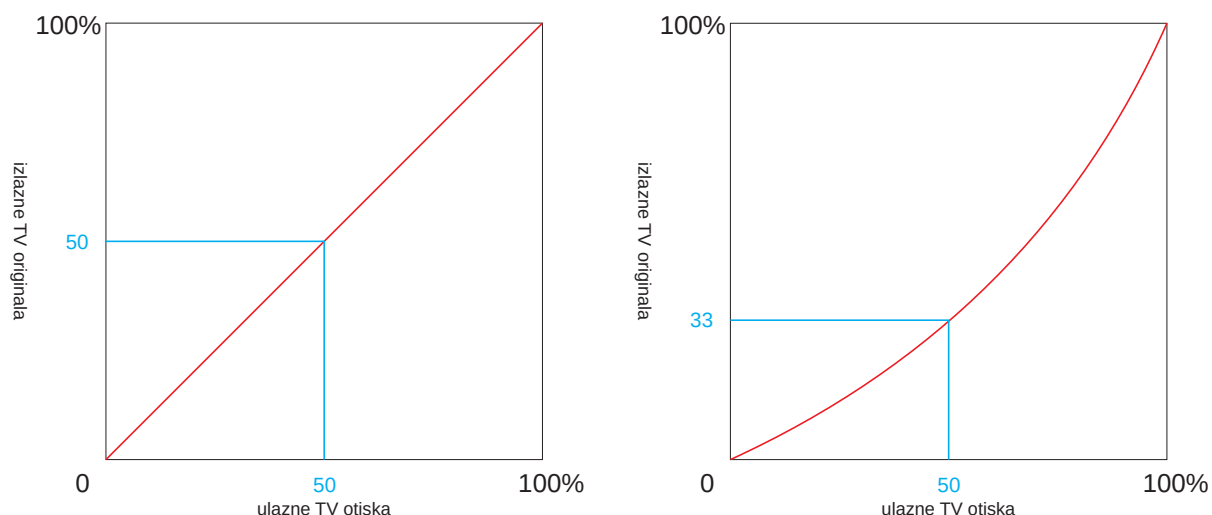
Kreiranje kompenzacione krive omogućava dobijanje predvidljivih devijacija u toku procesa izrade. U eksperimentalnom delu biće definisani koraci za izradu kompenzacionih krivi. Primena kompenzacionih krivi treba da omogući smanjenje uticaja porasta rasterske tačke kao i povećanje opsega boje.

Povećanje gamuta otiska, kao i broja detalja koji su rezultat FM rastriranja, omogućava dodatnu promenu parametara u pripremi štampe kako bi se iskoristili novi potencijali. U procesu upravljanja bojom, mogu se napraviti novi profili za konverziju iz RGB u CMYK sistem boja koji je prilagođen širem opsegu boje. Takođe, kako bi se iskoristili veće mogućnosti prikaza detalja, rezolucija slika u pripremi se može povećati sa standardnih 300 na maksimalno 600 dpi.

Kada je u pitanju ofsetna boja, na tržištu ne postoji boja koja je prilagođena štampi sa FM rasterom. Na osnovu karakteristika parametara FM rastera treba odabrati i odgovarajuću ofsetnu boju. Pozitivna karakteristike ofsetne boje za štampu FM rastera je nizak viskozitet i visoka tečljivost. Nizak viskozitet omogućava boji lakše cepanje i bolji transfer na podlogu. Zbog male površine rasterske tačke, olakšano cepanje boje omogućiće očuvanje rasterske tačke na podlozi i smanjiti otiranje štampanih elemenata sa štamparske forme. Smanjenje viskoziteta u proizvodnom procesu se može postići dodavanjem boji mineralnih ulja, koji su nosioci pigmenta, zatim povećavanjem udela sredstva za vlaženje u emulziji i povećavanjem temperature boje. Dodavanje mineralnih ulja boji, teško je kontinualno kontrolisati i analizirati njihov uticaj na prenos boje na podlogu, tako da će se bolji rezultati smanjenja viskoziteta postići kontrolisanjem temperature valjaka prenosača. Takođe balans vode i boje, povećanjem količine sredstva za vlaženje može biti narušen, tako da se ovaj parametar može menjati tek ako povećanje temperature ne daje rezultata. Najbolji rezultati postižu se minimalnom količinom sredstva za vlaženje, kako sa minimalnim nanosom boje, dovoljnim za postizanje željene optičke gustine.

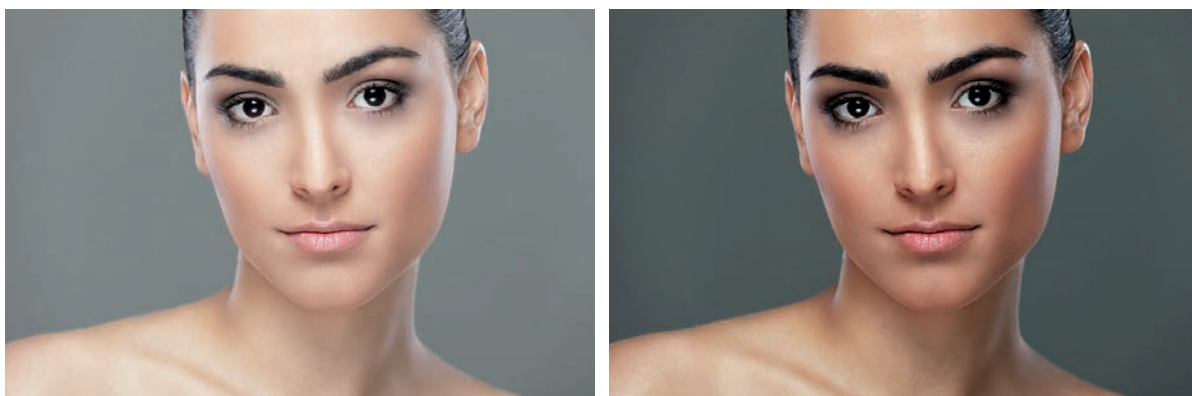
3.2 Kompenzacija porasta raster tonskih vrednosti

Linearizovani CTP izlazni uređaj, osvetljava polje na isti način kako je ono zadato u grafičkoj pripremi. Rastersko polje od 10% u pripremi na štamparskoj formi biće osvetljeno kao 10%, polje od 20% na štamparskoj formi će biti 20%, 50% kao 50% i tako za sva ostale procenke rastera. Linearizacijom uređaja na štamparskoj formi se dobijaju identične tonske vrednosti. Međutim u štampi, usled porasta raster tonskih vrednosti, dolazi do promene tonskih vrednosti, tada ona postaju tamnija (pokrivenost podloge rasterskom tačkom se povećava).



*Slika 3.1 Levo: linearizovana kriva gde svaka ulazna vrednost ima identičnu izlaznu vrednost
Desno: kompenzaciona kriva gde se ulazna vrednost menja u manju izlaznu tonsku vrednost*

Porast rasterskih tačaka, tj. porast raster tonskih vrednosti je neizbežna posledica više parametara u toku štampe. Ako su parametri štampe stabilni, tada će i porast tonskih vrednosti biti konstantan. Tek tada je moguća upotreba kompenzacionih krivi. Kompenzacionim krivama se kontroliše veličina rasterske tačke koja se osvetljava na štamparskoj formi i na taj način utiče na tonske vrednosti koje će se naći na otisku.

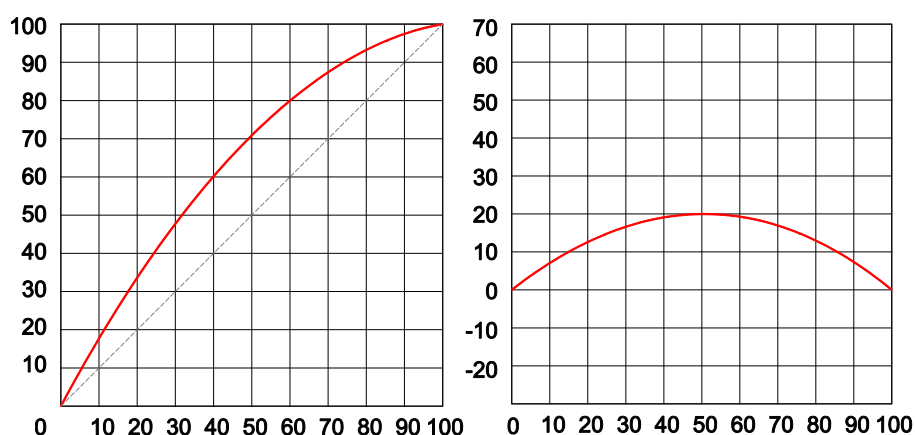


Slika 3.2 Promena rasterizacije dovodi do promene tonskih vrednosti za iste parametre štampe zbog promene u porastu rasterske tačke

Ukoliko se želi smanjiti uticaj porasta rasterskih tačaka na promenu tona, tada se kompenzacionim krivama smanjuju rasterske tačke, da bi one posle otiskivanja i neizbežnog porasta, ima željenu vrednost tona. Kalibraciona kriva je sastavni deo radnog toka i potrebno ju je izraditi svaki put kada se menjaju parametri štampe kao što su: tip štamparske forme, tip papira, oblika rasterske tačke i naravno, tip rastriranja. Svaki od ovih parametara utiče na tonsku skalu i kontroliše se kompenzacionim krivama. Jasno je da se kalibracija tonskih vrednosti ne može vršiti na sistemu koji nije stabilan, a sa druge strane kalibracija ne može stabilizovati sistem. Kalibracione krive se primenjuju isključivo prilikom podešavanja tonskih vrednosti

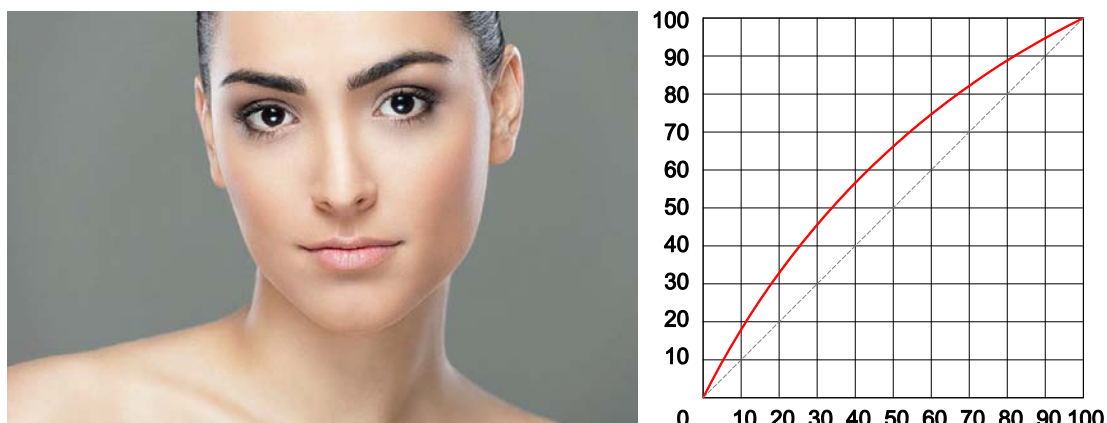
stabilnog grafičkog sistema. U sklopu postavljanja podloga za postavke eksperimenta urađene su test štampe na osnovu kojih su se potvrdile teorijske osnove iz različitih literaturnih izvora (Pinčjer, Nedeljković, Nedeljković, 2010), (Heidelberg, 2007), (C.E.Kodak, 2006), (He, 2004), (Slavuj i drugi 2013), (Fleming i drugi 1994), (Moslavac, i drugi 2006) (Hauck, 2015).

Ton otiska se menja prilikom porasta raster tonskih vrednosti (Slika 3.2). Kontrola raster tonskih vrednosti sama za sebe nije cilj nego upravo korekcija tona, tj. promene tona otiska. Kako se ton otiska ne može generalizovati, porast raster tonskih vrednosti je parametar koji se kontroliše i nalazi u standardima. Međutim, kada je u pitanju kalibracija grafičkog sistema, ton je ključni parametar stimulusa otiska, tj. da li se traženi ton nalazi na mestu gde bi trebao. Tonske vrednosti u štampi pokazuju porast obojenja za svaku vrednost od belog polja bez štampe do punog tona. Meri se za svaku separaciju ponaosob. Kriva tonskih vrednosti pokazuje uticaj porasta rasterske tačke tako da se može prikazati i na taj način.

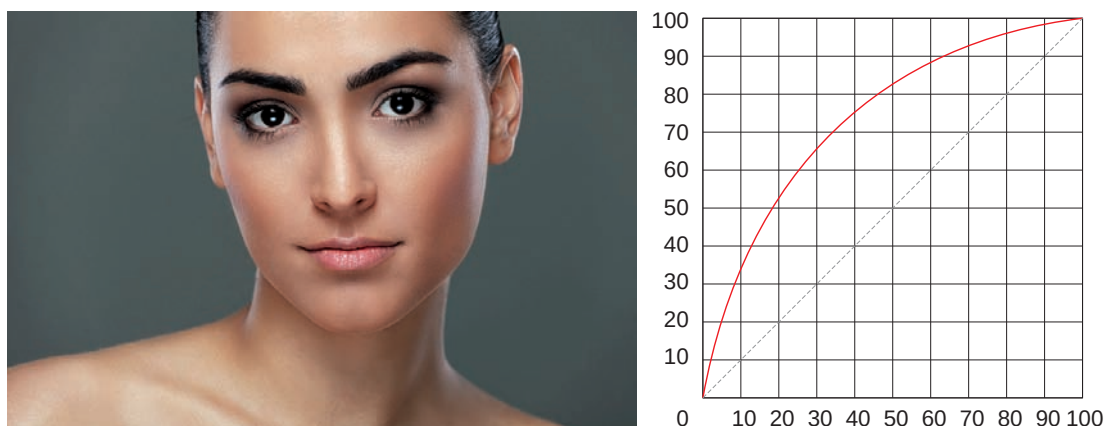


Slika 3.3 Dva različita načina prikaza izmerenih podataka tonska kriva i porast rasterske tačke

Kako bi se kreirala karakterizaciona kriva potrebno je definisati profil otiska koji se želi postići. Željeni profil može biti profil uređaja za probni otisak, profil boja pre primene novog tipa rasterizacije ili profil koji je u skladu sa nekim od postojećih standarda. Merenjem tonske skale otiska sa profilom koji se želi postići dobija se željena tonska kriva (Slika 3.4 i 3.5).

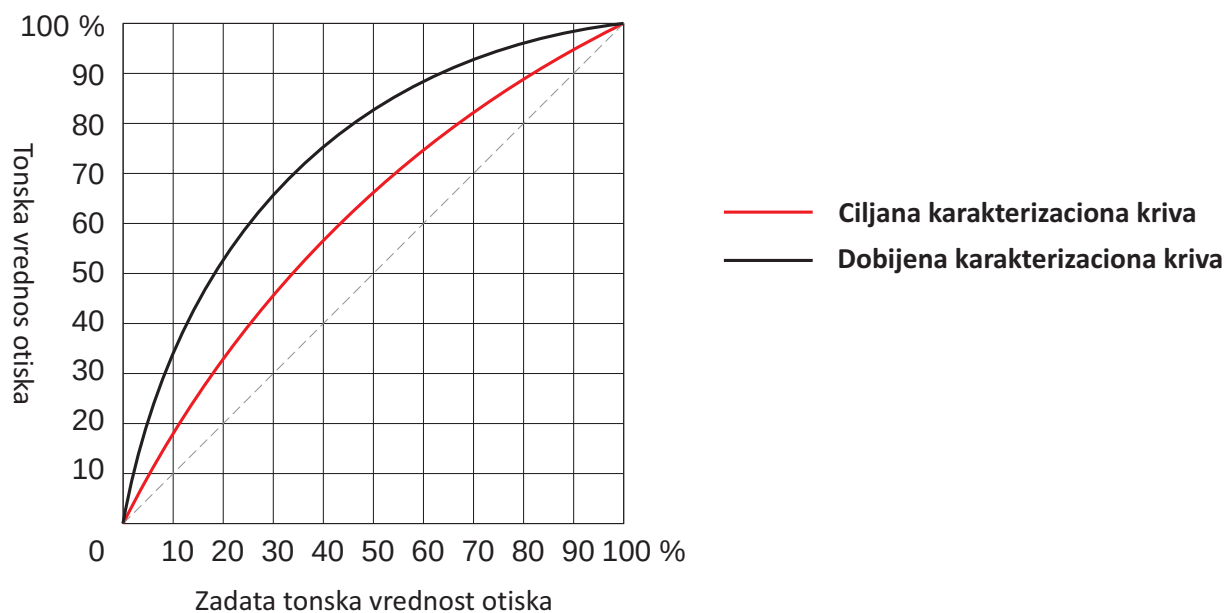


Slika 3.4 Prikaz karakterizacionih krivi tonskih vrednosti pre primene nove tehnike rasterizacije



Slika 3.5 Izrada karakterizacionih krivi za željene tonske vrednosti nakon primene nove rasterske tehnike

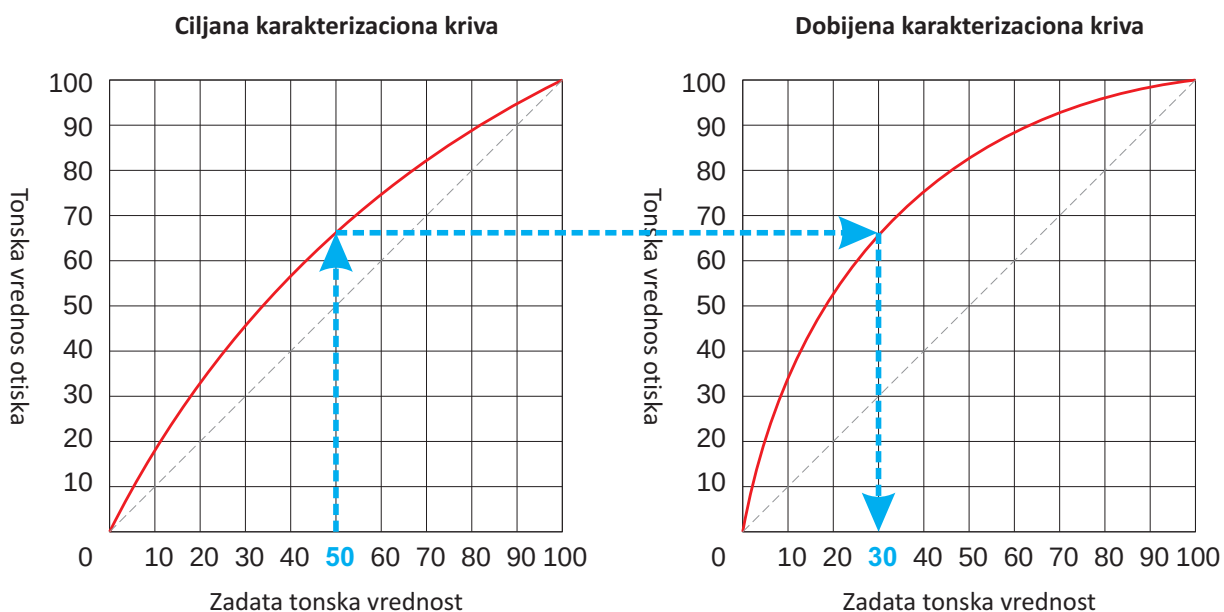
Nakon što se definišu željene tonske vrednosti meri se otisak sa promenjenim parametrima rastriranja, npr. otisak FM rastera. Posle promene rasterske tehnike vrednosti porasta rasterske tačke se menjaju tako da tonska skala pokazuje odstupanja od željenih vrednosti (Slika 3.6). Cilj kompenzacije jeste da bez obzira na drugačiji porast rasterskih vrednosti, tonska skala bude ista kao i pre promene parametara rasterizacije.



Slika 3.6 Poređenje dve karakterizacione krive sa vidljivim razlikama prouzrokovanim drugačijim porastom rasterske tačke

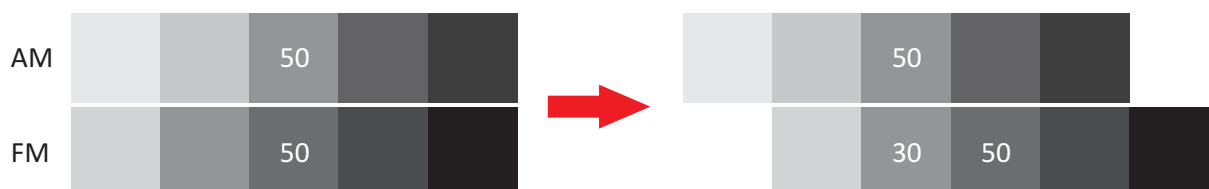
Poređenjem karakterizacionih krivi između željenih vrednosti i vrednosti nakon primene FM rastriranja uočava se njihova razlika, kao što je prikazano na slici 3.7. Treba napomenuti da jedini parametar koji treba da bude menjan jeste tehnika rastriranja, što znači da optička gustina boje, papir kako i grafički sistem treba da ostanu konstantni. Za obe karakterizacije

krive se zatim vrši unakrsno poređenje tonskih vrednosti. Za istu rezultujuću tonsku vrednost, na osnovu ovog poređenja, može se utvrditi kolike su ulazne vrednosti bile potrebne na ciljanoj krivi, a kolike na FM karakterizacionoj krivi.



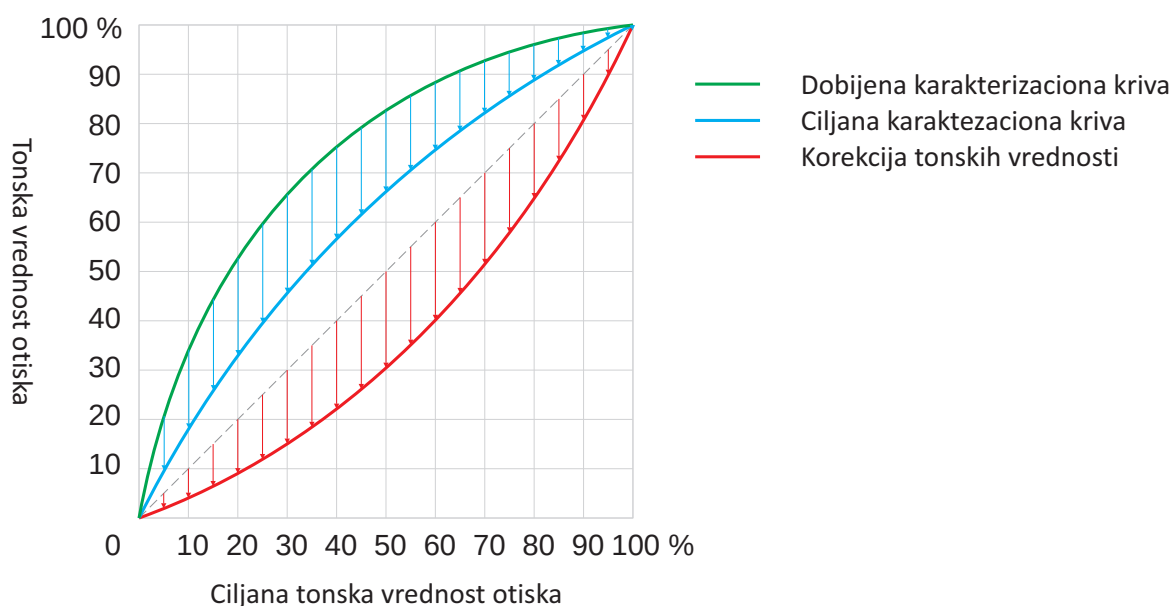
Slika 3.7 Poređenje vrednosti karakterizacionih krivi

Poređenje između vrednosti skala trenutne i željene krive se vrši na tonskim vrednostima koje se nalaze na kontrolno-mernoj traci, ali sa korakom ne manjim od 10%.



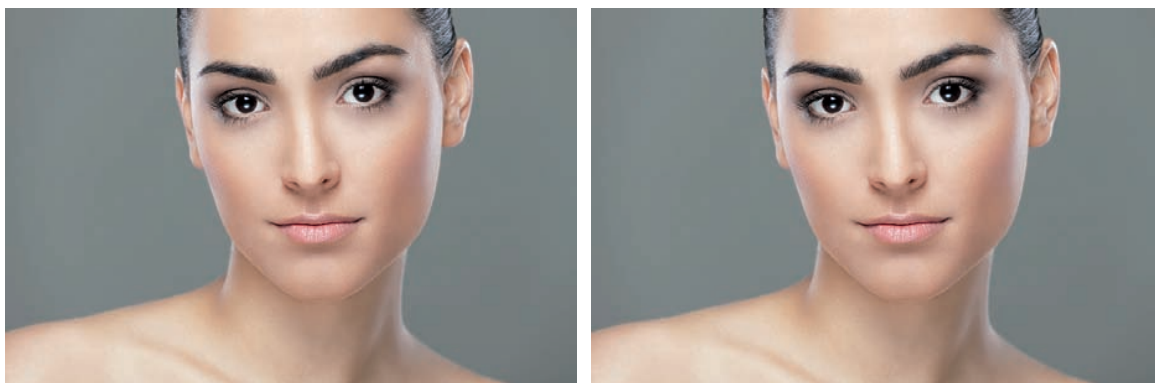
Slika 3.8 Ujednačavanje tonskih vrednosti

Kada se merenja urade za svako tonsko polje, biraju se one vrednosti skale koje su dale željene rezultate (Slika 3.8). Nove vrednosti se upisuju u LUT tabelu na osnovu koje će se nove vrednosti birati prilikom izrade nove štamparske forme. Na taj način se vrednost tona iz originalnog fajla menja novom pokrivenošću polja koja će rezultirati istom tonskom vrednošću koja se dobijala i pre promene rasterizacije. LUT tabela kreira kompenzacionu krivu za raster tonske vrednosti (Slika 3.9).



Slika 3.9 Kreiranje kompenzacione krive sa LUT vrednostima

Kompenzaciona kriva se primenjuje pri svakom sledećem osvetljavanju štamparske forme za odabrane parametre grafičkog sistema. Ovako kreirana kompenzaciona kriva rezultiraće istim tonskim vrednostima za dve tehnike rastriranja, AM i FM, bez obzira na njihovu razliku u porastima rasterske tačke (Slika 3.10).



Slika 3.10 Original i rezultujući otisak sa ujednačenim tonskim vrednostima

3.3 Odabir odgovarajućeg rastera štampe

Štampa obuhvata veoma širok spektar proizvoda kao što su knjige, časopisi, plakati, ambalaža, novine, katalozi, magazini, etikete, brošure... Tiraži ovih proizvoda variraju od nekoliko miliona do nekoliko primeraka (za proizvode kao što su godišnji izveštaji ili reprodukcije umetničkih dela). Podloge tj. materijali na kojima se vrši otiskivanje su takođe veoma različiti. Od velike količine različitih tipova papira, kartona, fleksibilnih i metalnih materijala, do kompleksnih laminiranih materijala za pakovanje hrane. Boje sa kojima se vrši štampa moraju biti prilagođene kako vrsti štampe tako i materijalima na kojima se štampa. One treba da omoguće

dobro otiskivanje, tj. prenos boje na podlogu, dobar protok boje kroz mašinu i dobro sušenje koje neće usporavati ili čak onemogućiti proizvodnju. Pored ovih zahteva boje se razlikuju u sastavu, otpornošću na svetlost, hemijske i mehaničke elemente u toku eksploatacije.

Jedan od značajnih aspekata uvođenja novih tehnika rastriranja u grafički sistem jeste ekonomski aspekt. Pored forme grafičkog proizvoda ekonomski aspekti u velikoj meri diktiraju koja tehnika i materijali će biti upotrebljeni pri izradi određenog proizvoda. Tiraž koji može biti nezavistan od tipa proizvoda, često je odlučujući faktor pri odabiru tehnike štampe. Magazin, na primer, može biti štampan u manjem tiražu elektrofotografskim procesom. Ukoliko se zahteva veći tiraž, isti magazin se može štampati u ofset tehnici. Ofset tehnika će sa porastom tiraža biti isplativija opcija od digitalne štampe. Ukoliko bi se zahtevao još veći broj primeraka, u određenoj veličini tiraža, duboka štampa bi mogla biti odgovarajuća u pogledu ekonomičnosti. Prelomna tačka koja se nalazi između dve tehnike štampe je tačka u kojoj su obe tehnike podjednako isplative. Veličina tiraža ne govori samo o količini proizvoda koju je potrebno napraviti nego i o ceni proizvoda. Tiraž i cena pojedinačnog proizvoda su obrnuto srazmerne, tako da što se tiraž veći, cena pojedinačnog proizvoda pada.

Tip grafičkog proizvoda i tiraž, uslovljavaju odabir materijala i procesa štampe. U okviru ovako zadatih parametara potrebno je odrediti odgovarajući kvalitet. Ukoliko bi upoređivali istu sliku štampanu u novinskom članku i magazinu, moglo bi se reći da je slika u časopisu kvalitetnija. Sigurno je da bi slika u magazinu imala visoku zasićenost boja, oštrije detalje i veću realističnost. Međutim u okviru postavljenih ograničenja namene proizvoda i tiraža, tj. procesa i materijala, obe reprodukcije bi se mogle smatrati vrhunskim. Ovde se mogu uvesti dodatne odrednice kvaliteta koji bi se odnosio na razred. Višim razredom bi se smatrali procesi i sistemi koji obezbeđuju najviši kvalitet, dok bi se nižim razredom smatrali procesi i mašine čiji je kvalitet ograničen.

Uvođenjem dodatnih elemenata moguće je oplemeniti otisak i na taj način još više podići nivo njegovog kvaliteta. Ubacivanjem dodatnih boja, koje bi povećale mogući opseg boja koje mogu biti otisnute povećava se i percepcija kvaliteta same štampe. Upotrebom FM rastera omogućava se veća fleksibilnost primene ovakvih načina oplemenjivanja jer rasterizacija nije ograničena uglovima rastera.

Uloga operatera na mašini mora biti ograničena. Različita podešavanja mašine omogućavaju operateru određene mogućnosti kontrole obojenja, nanosa boje i registra koje igraju značajnu ulogu u kvalitetu otiska. Ukoliko operater, želeći da doprinese boljem kvalitetu otiska, po sopstvenom nahođenju menja podešavanja mašine, tada se gubi mogućnost upravljanja bojom u čitavom grafičkom procesu. Strategija optimizacije štampe kako bi se postigao najveći mogući opseg boje i preciznost štampe trebaju biti ograničeni zahtevima konstantnosti štampe. Uključujući u sebe standardne vrednosti parametara štampe, strategija optimizacije, omogućiće ponovljivost rezultata za optimalan kvalitet. Tek nakon postizanja optimalnog otiska u pogledu tona, zasićenosti, optičke gustine, oštine, koji odgovara zadatim standardima u obzir mogu da dođu sekundarna podešavanja koja se konkretno tiču sadržaja tabaka, želja klijenata, vremena štampe itd.

3.4 Redosled štampe

Kako je objektivni deo eksperimenta podrazumevao štampu na štamparskoj mašini u pripremnim istraživanjima obrađeni su bitni uticajni faktori koji se javljaju u toku štampe. Redosled po kojem se separacije nanose na otisak naziva se redosled preštampavanja. ISO 12647-2 preporučuje CMY raspored gde se pozicija K može menjati u zavisnosti od preferencija. Veličina opsega boje zavisi i od redosleda preštampavanja. Smanjenje opsega boje može uslediti ukoliko se žuta boja štampa preko crne, jer će to uticati na ukupni D_{max} . Samim tim može uslediti smanjenje štamparskog kontrasta, problema kod postizanja željenog tona, čak i oštine slike. Otisak dobija zelenkastu nijansu koja se ne može izbeći korigovanjem ostalih separacija (Field, 1987). Različite konstrukcije mašina (jednoboje, dvoboje, četvoroboje) kao i tehnike štampe koriste različite rasporede obojenja, ali je bitno da raspored preštampavanja bude konstantan, tj. da se menja samo u specijalnim slučajevima.

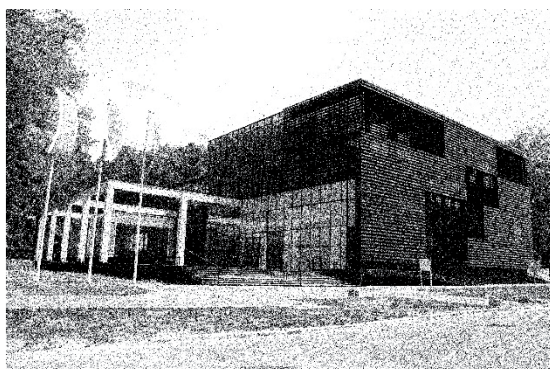
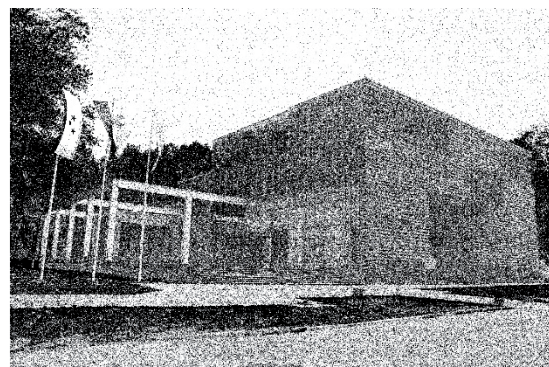
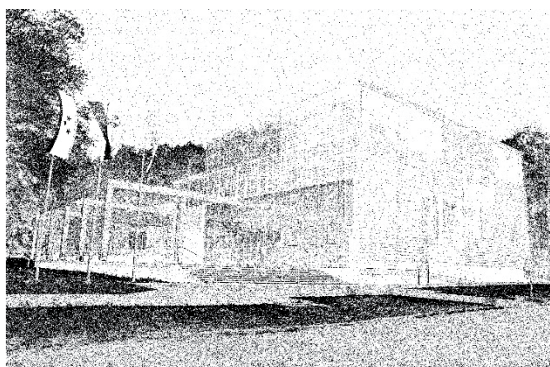
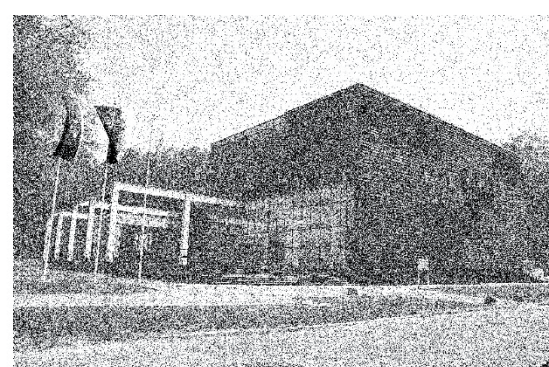
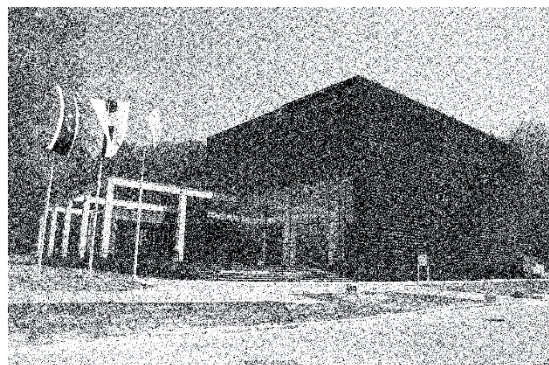
3.5 UCR koncept

UCR koncept (*Undercolor removal*) omogućava bolje preštampavanja boja, principom mokro na mokro. UCR podrazumeva uklanjanje cijan, magente i žute separacije kada se one štampaju u tamnim delovima slike zajedno sa crnom (Lee, 2005). Uklanjanje obojenja se vrši smanjivanjem procenta boja, sa punog tona na 55 % za žutu, 55 % magentu, 65 % cijan i 85 % crnu. Na taj način je ukupna pokrivenost sa 400 % spuštena na 260 %. UCR nije uslovljena povećanjem kvaliteta, nego ekonomičnošću štampe. Jasno je videti da smanjenje ukupne pokrivenosti utiče na štamparski kontrast, tako da reprodukcije mogu izgledati blede na tamnijim tonovima, ali se postiže ušteda na brzini sušenja, ušteda na količini utrošene boje i jednostavnijem procesu štampe, pogotovo na materijalima lošijeg kvaliteta. Cilj UCR koncepta je smanjiti debljinu nanosa boje i na taj način uticati na gore pomenute parametre.

3.6 GCR koncept

GCR (*Gray component replacement*) se razlikuje od UCR koncepta po tome što se uklanjanje boje ne zadržava samo na tamnim partijama slike. Ovaj proces se upotrebljava ne samo da poboljša preštampavanje boja i smanji ukupnu potrošnju, nego može doprineti smanjenju varijacije boja u toku izrade tiraža. Teorija na kojoj je zasnovan GCR jeste da separacije cijana, magente i žute zajedno u određenim procentima rezultiraju sivom komponentom. Ukoliko se separacija sa najmanjim procentom u potpunosti ukloni, tada se uklanjanjem ostalih separata u istom procentu, koji je formirao sivi ton, taj isti ton može dobiti dodavanjem samo crne boje. GCR poboljšava preštampavanje na isti način kao i UCR. Ukoliko se GCR proces poveća, može se očekivati najveća pokrivenost na crnoj separaciji. Druga prednost GCR procesa je smanjenje varijacija u obojenju za cijan, magentu i žutu boju u toku štampe. Ova prednost je posebno vidljiva kada se štampaju nijanse blizu neutralnoj sivi. Najveći problem sa GCR i UCR procesima jeste smanjenje optičke gustine u tamnijim delovima. Pokrivenost od 300 % je svetlija od pokrivenosti od 400 %, tako da se veličina upotrebe UCR i GCR može definisati na osnovu

sadržaja tabaka. Kako standardi isključuju mogućnost štampanja 400 % nanosa boje, tako je upotreba UCR komponente u pripremi skoro standardna.



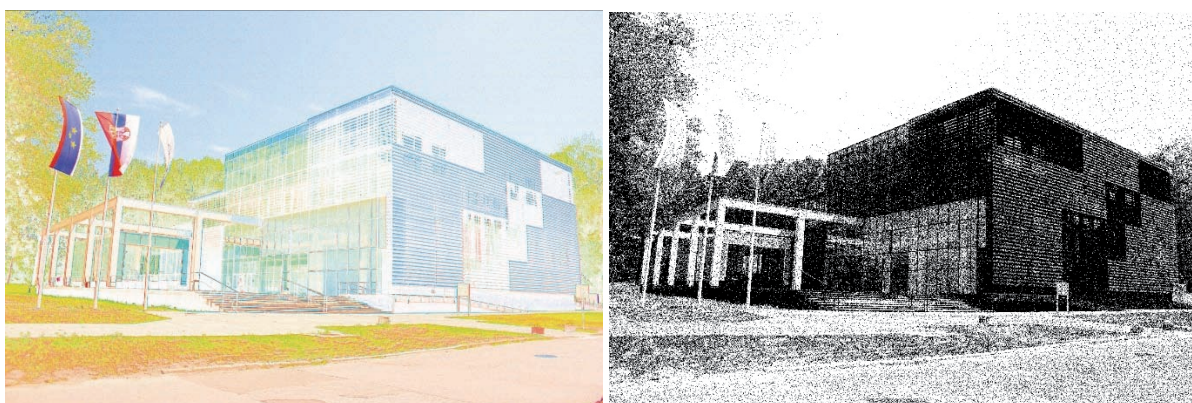
a)

b)

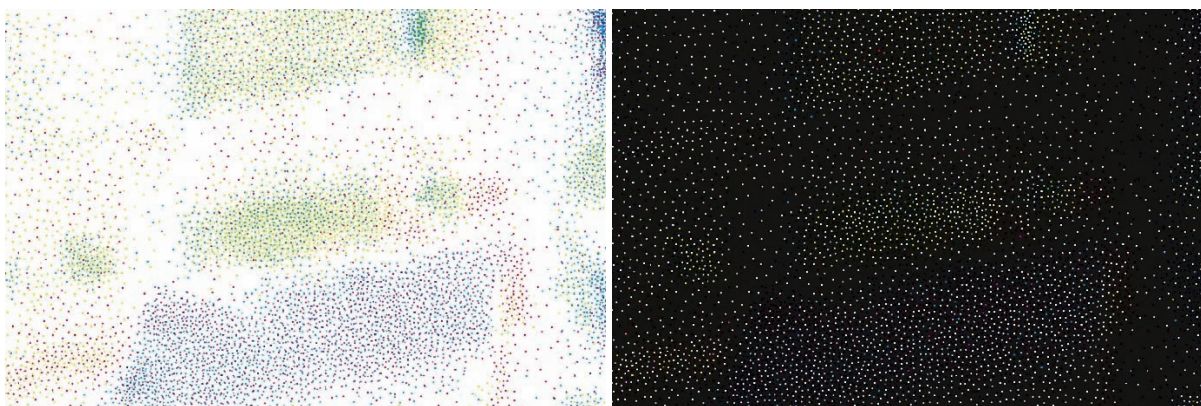
Slika 3.11 a) GCR, b) UCR CMYK separacije



Slika 3.12 Spojeni kanali sa GCR procesom



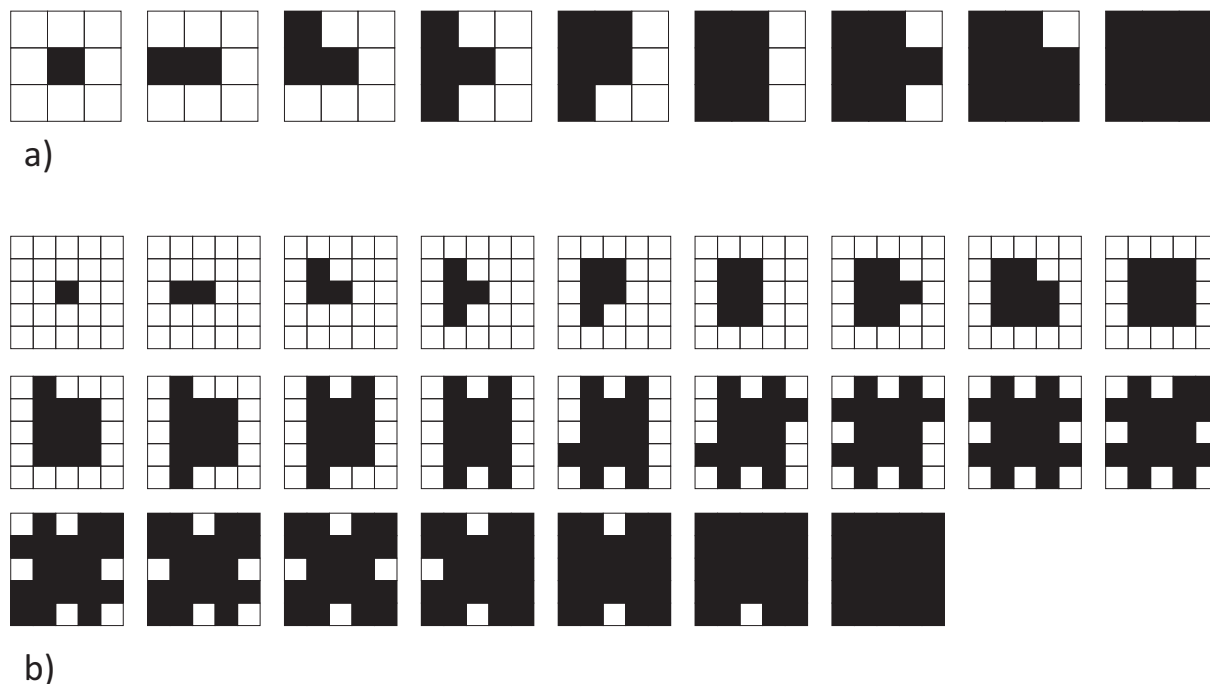
Slika 3.13 Kanali CMY bez crne i K separacija



Slika 3.14 Levo: detalj sa slike CMY Desno: isti detalj sa dodatom K separacijom

3.7 Veličina rasterskih elemenata

Veličina rasterskih elemenata je bitna iz dva razloga. Prvi razlog jeste nivo detalja koja može biti prikazana. Što je veća rezolucija više detalja može biti prikazano na otisku. Količina informacija koja se sačuva na rastriranoj slici je veća i samim tim manja je razlika između originala i reprodukcije. Druga prednost manjih rasterskih elemenata jeste mogućnost prikazivanja više različitih tonskih vrednosti. Veća rezolucija omogućava izgradnju sitnih rasterskih elemenata koji će povećati količinu različitih nivoa boje koje sistem može da reprodukuje. Na slici 3.15 je prikazano koliko manja rezolucija utiče na broj detalja koji se mogu prikazati.



Slika 3.15 Poređenje broja detalja kod a) manje rezolucije i b) veće rezolucije

Veličina tačke kod FM rastera je odrednica njegove finoće. Kod AM rastera to je svakako linijatura, ali treba napomenuti da i kod AM rastera veličina tačke može biti mikronska i kreće se i do 8 μm . Digitalne tehnike imaju značajnije veće rasterske tačke od ofset postupka (Tabela 3.1). Upravo iz ovih razloga ofset postupci treba da iskoriste mogućnosti FM rastera i pored mikronskih rasterskih elemenata iskoriste i mogućnost njihovog rasporeda van zadate mreže.

Tabela 3.1 Prikaz odnosa između rezolucije, veličine tačke i koraka tonskog prelaza
(Simonian 2003)

Proces štampe	Rezolucija uređaja	Najmanja veličina rasterskog elementa	Koraci tonskog prelaza
Konvencionalna ofset tehnika	3386 dpi	8 μm	cc. 256
HP Indigo	812 dpi	31 μm	cc. 64
Xeikon, Xerox DC 70	600 dpi	42 μm	cc. 49
Océ, Xerox DC 40	400 dpi	64 μm	cc. 36

U tabeli 3.1 su prikazane i rezolucije izlaznog uređaja, tj. u slučaju ofset štampe, CTP uređaja. Način izrade štamparske forme veoma je bitan kada je u pitanju veličina rasterske tačke koja se može dobiti. Ukoliko se štamparska forma osvetljava indirektno, tj. preko filma, finoća rasterskih tačaka se smanjuje. Kod AM rasterizacije to uslovljava smanjenje linijature.

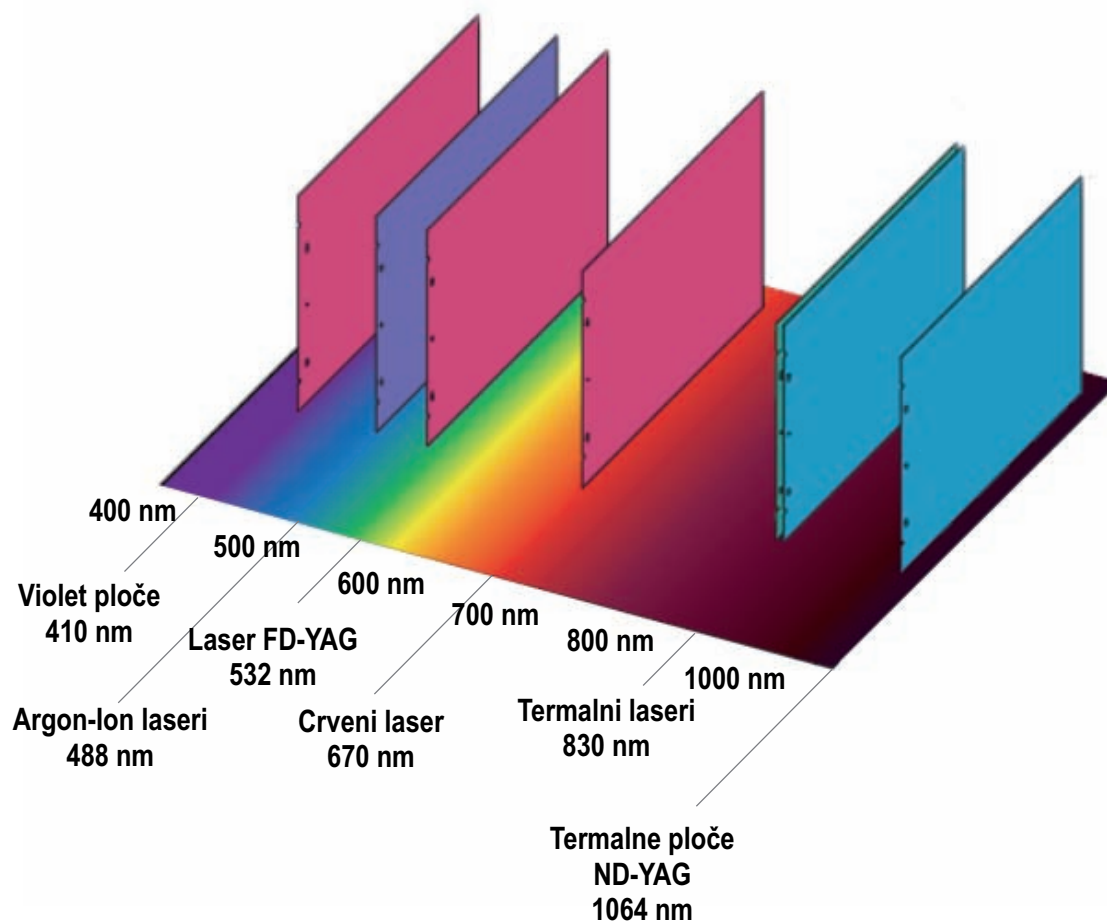
Broj tonskih prelaza od 100% K do 1% K zavise od rezolucije uređaja. Koliki broj je potreban kako ljudski vid ne bi mogao da razazna pojedinačne korake zavisi od osetljivosti oka i promene osvetljenja, tj. da razlikuje različite tonske vrednosti bliske jedna drugoj. Eksperimentalnom metodom je pokazano da ljudsko oko može da razazna promenu reflektanse od 0.5% za prostornu frekvenciju oko 1 ciklus/mm (Cornsweet, 1971). Inverzna vrednost ovih jedva primetnih modulacija u tonskim prelazima pretvorena je u maksimalni broj tonskih prelaza koje ljudsko oko može da razazna. Taj broj se kreće oko 200 nijansi (Roetiling, 1976). Broj nijansi sive tj. tonskih prelaza koji je potreban da bi se percipirao ujednačen tonski prelaz je definisan na 200 nijansi. Iz tog razloga veoma je bitno da grafički sistem obezbedi mogućnost prikaza više od 200 tonskih prelaza kako bi se izbegla vidljivost koraka.

Efektivna linijatura koja se može dobiti direktno zavisi od rezolucije CTP uređaja. Ukoliko je rezolucija CTP uređaja mala (600 dpi) očekivana linijatura bi bila oko 65 lpi. Ukoliko bi se na istoj rezoluciji pokušala dobiti veća linijatura, rezultat bi bio smanjenje tonskih prelaza, tj. nijansi sive koje se mogu postići. Veće linijature rastera zahtevaju CTP uređaje sa većom rezolucijom, tako 150 i 175 linijski rasteri mogu da se dobiju na rezolucijama CTP uređaja od 2400 dpi i više. Linijature rastera preko 220 lpi zahtevaju i rezolucije koje idu i do 3600 dpi.

3.8 Štamparske forme

Za izradu FM rastera koriste se konvencionalni CTP uređaji čija je rezolucija dovoljna za izradu željene veličine rasterske tačke. Najmanja veličina rasterskog elementa na rezoluciji osvetljivača od 2540 dpi je 10 mikrona. Rasterski element od 10 mikrona predstavlja jednu adresibilnu jedinicu osvetljivača. Veličina rasterskog elementa u ovom slučaju je najmanja moguća površina koja se može osvetliti. Veličina rasterske tačke koju bi bilo optimalno osvetljivati na datoj rezoluciji bi bila 20 mikrona. U tom slučaju laserski snop osvetljava četiri adresibilne jedinice i greška prilikom osvetljavanja je manja nego u prvom slučaju.

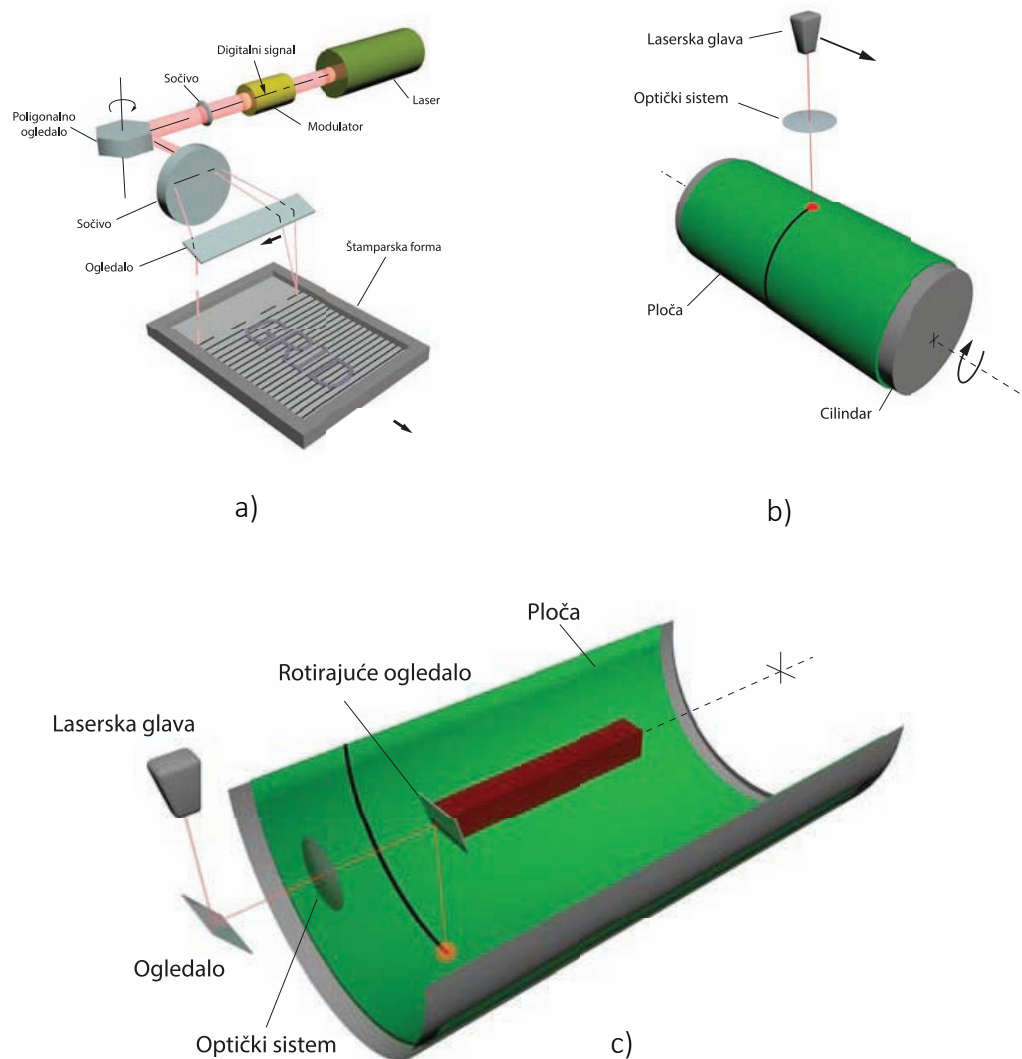
Kod odabira tipa štamparske forme treba voditi računa o najvećoj linijaturi koje su definisane za određeni tip. Sa najvećim postignutim linijaturama do 450 lpi, termalne ploče se izdvajaju kao optimalno rešenje koje će omogućiti, uz dobru rezoluciju CTP uređaja, oslikavanje stabilnog rasterskog elementa. Sama cena štamparske forme je jedini razlog zbog kojeg bi se u obzir mogla uzeti UV tehnologija. Ukoliko je potrošnja štamparskih formi srednja, a zahtev za kvalitetom visok tada je termalna tehnika osvetljavanja štamparskih formi optimalan izbor.



Slika 3.16 Talasne dužine koje se koriste pri osvetljavanju štamparskih formi

CTP sa termalnom tehnikom osvetljavanja koristi najviše energije za lasere (Slika 3.16). Kao rezultat toga su rasterski elementi koji su postojani i oštri. Ove karakteristike su veoma potrebne kada su u pitanju mikronski rasterski elementi.

Sama konstrukcija CTP uređaja takođe igra ulogu u preciznosti. Kod CTP uređaja sa unutrašnjim cilindrom glava za osvetljavanje je postavljena tako da se glava za osvetljavanje pomera paralelno centralnoj osi unutrašnjeg cilindra, obezbeđujući na taj način idealno pozicioniranje svake tačke na štamparskoj formi. Rezultat ovakvog osvetljavanja je ujednačena gustina, veličina, oblik i oštrina rasterske tačke bez obzira da li se ona nalazi na sredini štamparske forme ili na njenim krajevima. Kod CTP-a sa unutrašnjim osvetljivanjem, cilindar ne rotira, tj. štamparska forma je fiksirana. Umesto nje rotira se glava za osvetljavanje. Sistem se sastoji od ogledala i prizmi koje projektuju svetlost lasera na štamparsku formu.



Slika 3.17 CtP konstrukcije osvetljavanja štamparske forme a) ravna, b) sa spoljašnjim cilindrom i c) sa unutrašnjim cilindrom (Novakovic, 2013)

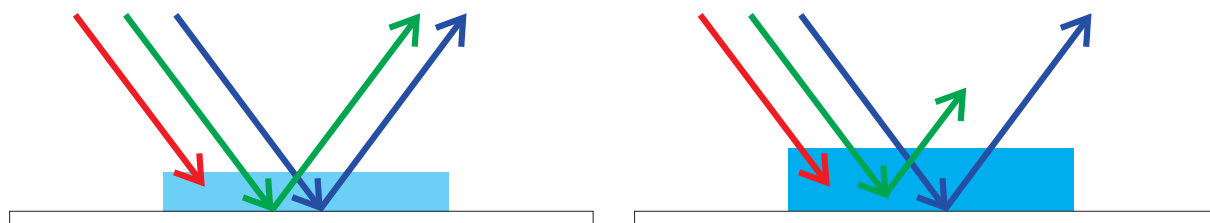
CTP uređaj sa unutrašnjim cilindrom konstrukcijski obezbeđuje najbolje rezultate kada je u pitanju preciznost, brzina i ponovljivost osvetljavanja, posebno kada je u pitanju sistem kod kojeg se koristi rotirajuća glava umesto sistema sa ogledalima.

Podloga na koju se štampa, takođe ima uticaja na rezoluciju, tj. veličinu generisane rasterske tačke. Ukoliko je podloga neravna ili neravnomerna tada je za štampu bolje koristiti rasterske strukture veće veličine.

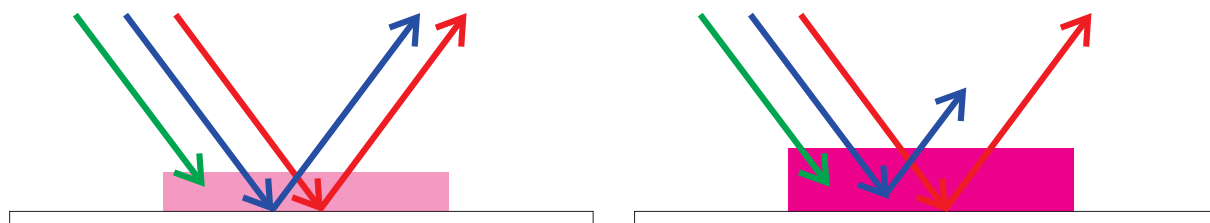
3.9 Opseg boja

Opseg reprodukovanih boja štampanog materijala zavisi od više faktora. Prvi faktor je svakako tip boja koja se koristi u štampi. Zatim čitav niz parametara koji zajedno rezultuju dobijanjem određenog opsega boje. Matematički jedna separacija na podlozi bi trebala da apsorbiruje jednu trećinu ukupnog spektra svetlosti koji padne na nju, a da reflektuje ostalih dve trećine. Na taj način boju na podlozi možemo posmatrati kao filter koji filtrira određeni spektar svetlosti dok drugi propušta. Propušteni deo spektra se odbija od bele podloge i zatim dolazi do posmatrača. To nije slučaj u praksi. Različita količina svetlosti se odbija do posmatrača usled preklapanja boja, transparentnosti boje za štampu, sjaja podloge, pigmenta boje, načina rastriranja, rasipanja svetlosti unutar podloge, stepena beline podloge, upojnosti podloge i debljine nanosa boje,. Opseg boje čine sve moguće talasne dužine koje se mogu reflektovati o podlogu. Nabrojani uticajni parametri na opseg boja mogu biti kontrolisani i određivani po načinu na koji utiču na opseg, da li ga povećavaju ili smanjuju. Osim čistoće boje za štampu na koje se u proizvodnom procesu ne može uticati, ostali parametri su podložni promenama. Boja podloge za štampu može biti kontrolisana i odabrana ona koja ima najveću belinu. Kako je bela boja definisana najvećim stepenom odbijanja svetlosti, tako se i belina papira može definisati količinom svetlosti koja se reflektuje sa podloge.

Promenom debljine nanosa boje menja se i obojenost polja. Kako se obojenje dobija odbijanjem svetlosti od podloge na kojoj se nalazi boja, ali i od same podloge tako se može zaključiti da će se propustnost svetla menjati sa promenom debljine sloja boje kroz koji svetlost treba da prođe. Zbog osobine boje da ne apsorbiruje samo željenu talasnu dužinu svetla, veći nanos cijana će na podlozi dodatno apsorbirati zelenu komponentu svetlosti i samim tim reflektujuća svetlost će biti bliža plavoj boji. Na isti način veći nanos magente apsorbiraće više plave komponente pa će rezultat biti boja bliže crvenoj.



Slika 3.18 Veći nanos cijana rezultiraće promenom obojenja ka plavoj nijansi



Slika 3.19 Veći nanos magente rezultiraće promenom obojenja ka crvenoj nijansi

Najmanja promena obojenja kod povećanja nanosa se može očekivati kod žute boje jer njena reflektansa veoma brzo dostiže maksimum (X-rite, 2000). Može se očekivati veoma malo pomeranje ka narandžastoj nijansi. Ovi podaci su veoma bitni kada istraživanje obuhvata opseg boja, jer su to parametri koji mogu značajno smanjiti ili povećati opseg boje otiska a nisu vezani za raster.

Tabela 3.2 Prikaz pomeranja obojenja dobijenih denzitometrijskom analizom (X-rite, 2000)

% rasterske tačke	Magenta otisak		Cijan otisak	
	Promena obojenja	Siva komponenta	Promena obojenja	Siva komponenta
100	57	12	30	10
70	60	15	41	13
50	61	14	47	14
30	58	14	52	13

Promena obojenja se izračunava se kao:

$$\% O = \frac{S-M}{V-M} \times 100 \quad (47)$$

$$\% G = \frac{M}{V} \times 100 \quad (48)$$

gde su O promena obojenja, S – srednja izmerena optička gustina, M – najmanja izmerena optička gustina, V – najviša izmerena optička gustina čije je obojenje kontrolno polje koje se meri. Merenjem jednog polja dobijaju se sve tri vrednosti koje se unose u jednačinu. Promena obojenja govori o tome koliko je određeni odštampani uzorak procesne boje udaljen od teoretskog obojenja, tj. koliko odštampano cijan kontrolno polje sadrži magente i žute. Siva komponenta pokazuje koliko crne boje ima u teoretski čistoj boji. Kontrola promene obojenja i sive komponente može pomoći u kontroli konzistentnosti otiska, kako za različite poslove tako i kroz ceo tiraž. Kontrola se takođe može primeniti na različitim materijalima.

Očekivane promene obojenja za cijan, magentu i žutu su prikazane u tabeli 3.3.

Tabela 3.3 Očekivane promene obojenja za ofset tehniku (X-rite, 2000)

Ofset tehnika	Cijan		Magenta		Žuta	
	Promena obojenja	Siva komponenta	Promena obojenja	Siva komponenta	Promena obojenja	Siva komponenta
100	20	14	46	14	5	6

Kontrolisanim povećanjem nanosa boje povećava se optička gustina i time povećati kontrast na slici i oštrinu detalja. Zasićenost boje se takođe povećava, ali do određene tačke kada zasićenost počinje da opada. Međutim, nekontrolisano dodavanje štamparske boje rezultovaće zatvaranjem rastriranih površina što može prouzrokovati i probleme sa sušenjem boje.

3.9.1 Greška proporcionalnosti

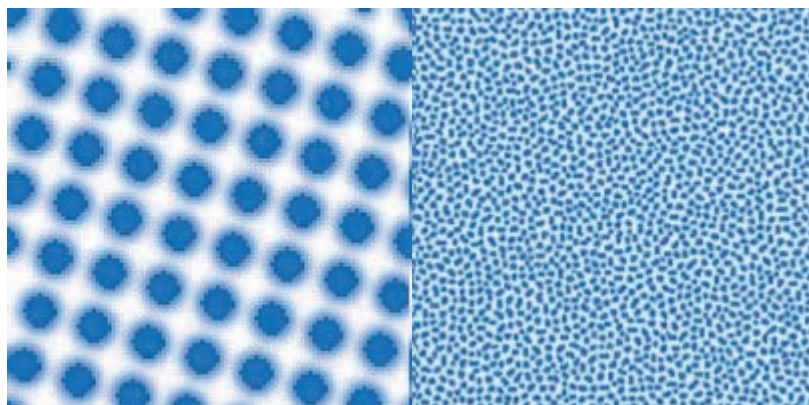
Greška proporcionalnosti se javlja kod rastriranih slika. Proporcionalne vrednosti refleksije se menjaju kada se umesto punog tona, posmatra rastrirano polje. Što je linijatura manja, ova greška je izraženija zbog veće neodštampane površine (Kang, 1999). Kod slike kontinualnih tonova ova greška se neće javljati. Greška nastaje kada oko „spoji“ odštampanu rastersku tačku sa okolnim neodštampanim papirom. Tada se povećava promena obojenja i siva komponenta za posmatranu separaciju. Kako je uticaj neodštampane površine velik na ovu grešku, najmanja greška se javlja kod veće pokrivenosti. Gušća FM rasterska struktura obezbeđuje veću pokrivenost podloge tako da se može očekivati javljanje manje greške u odnosu na AM rastersku strukturu. Greška je direktno povezana sa putanjom fotona, koji prolazi kroz nanos boje na podlozi, ulazi u podlogu gde se reflektuje i izlazi do posmatrača kroz neodštampani deo. Greška proporcionalnosti je najuočljivija na cijan separaciji, a najmanje efekta ima na žutoj.

Greška proporcionalnosti koja se odražava na sivu komponentu negativno se odražava na opseg boja. Zbog prirode same greške, najviše će uticati na smanjenje opsega kada je u pitanju reprodukcija koja sadrži čiste tonove, srednje i visoke svetline. Dodatna peta i šesta boja svetla cijan i svetla magenta mogu se uvesti u reprodukciju kako bi se smanjio negativan uticaj na opseg boja.

Drugi način smanjenja negativnog efekta greške proporcionalnosti jeste upotreba FM stohastičkog rastera. Zbog fragmentirana struktura stohastičkog rastera perimetar rasterskog elementa je mnogo veći nego kod AM rasterske tačke. Iako je veći perimetar razlog zbog kojeg je stohastički raster podložniji porastu rasterske tačke, kako fizičkom, tako i optičkom. Upravo optički porast rasterske tačke, prekriva neodštampane delove podloge i umanjuje negativan efekat greške proporcionalnosti. Još jedna karakteristika FM rastera smanjuje ovu grešku. Činjenica da je manja količina boje koje se nalaze da rasterskim elementima podložnija potiskivanju pritisknog cilindra koji time smanjuje debljinu nanosa boje u delu slike gde se nalazi raster i širi rastersku tačku po podlozi. Na ovaj način nijansa boje postaje izraženija.

3.9.2 Uticaj FM rastera na opseg boja

Kao što je prikazano u pregledu literature FM opseg boja je veći od AM opsega. Kako na konačni opseg boja utiče više parametara koji rezultiraju dobijenim opsegom, može se govoriti o tome da FM rasterska struktura manje utiče na smanjenja opsega boja nego što to čini AM struktura (Rosenberg, 1999). Iz tog razloga odštampana reprodukcija u FM tehnici ima veći opseg boje. Funkcija boje na podlozi jeste da filtrira svetlost, a obojenje koje će se videti zavisi od toga koji je spektar svetlosti filtriran kroz nanos boje. Kako je već bilo prikazano mehanizam refleksije zavisi od putanje fotona. Fokus u ovom delu će biti na fotone koji se reflektuju samo od podloge. Ova nefiltrirana svetlost se meša sa svetlošću odbijenom od obojenih delova i utiče na njenu čistoću. Ovaj uticaj se ogleda u smanjenju zasićenosti reflektovane svetlosti, tj. povećanju njene sive komponente. Kako FM rasterska struktura pokriva veću površinu, više svetla se filtrira kroz obojene delove nego što je to slučaj sa AM strukturom (Slika 3.20). Mnogo je manje neodštampane površine između tačaka koja će reflektovati nefiltriranu svetlost i na taj način uticati na reflektovanu svetlost sa pokrivenih površina.



a)

b)

*Slika 3.20 Veličina neodštampane površina kod a) AM rastera i b) FM rastera
(www.hidefcolor.com, 2015)*

Još jedna karakteristika FM rastera omogućava veći opseg boje. Većom debljinom nanosa boje smanjuje se mogućnost filtracije svetlosti. Umesto od podloge, svetlost se tada odbija od samu površinu boje, rezultujući spekularnim osvetljenjem. Manja količina nanosa boje omogućuje FM rasteru bolje filtriranje tj. manje smanjenje zasićenosti reflektovane svetlosti. Slika 3.21 pokazuje razliku u debljini nanosa boje između AM i FM rastera.



a)

b)

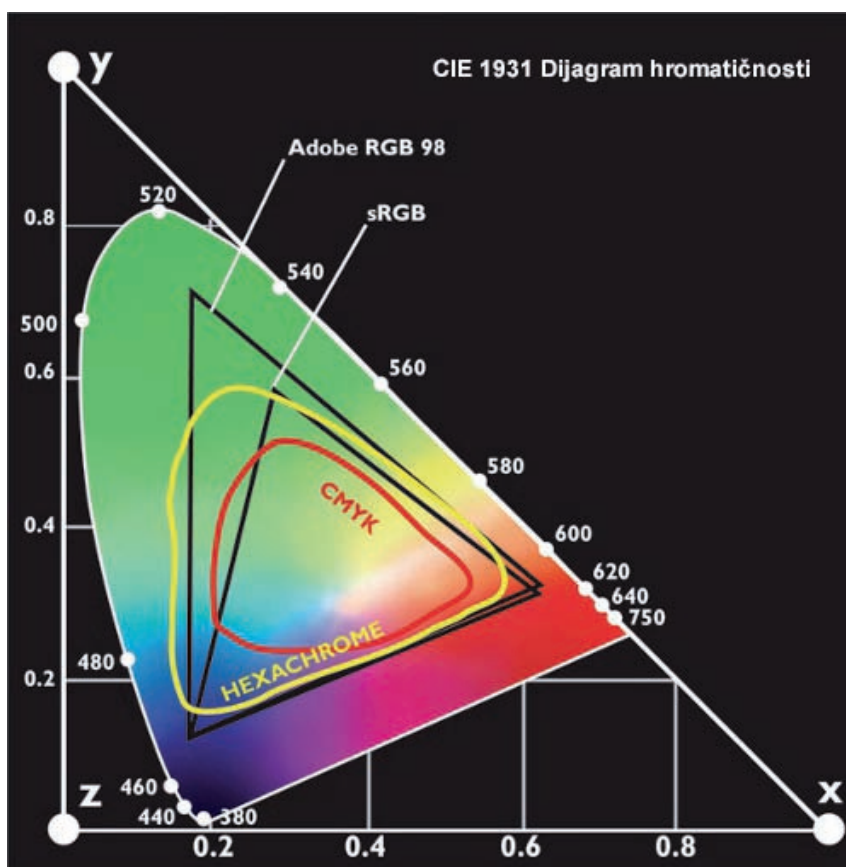
*Slika 3.21 3D prikaz debljine nanosa boje za a) AM i b) FM rastersku strukturu
(www.PrintPlanet.com, 2010)*

3.10 Povećanje vrednosti otiska

Naknadna obrada otisaka se često vezuje upravo za povećavanje njegove korisnosti, estetskog izgleda, dugotrajnosti i upotrebljivosti. Malo se pažnje poklanja povećanju vrednosti otiska u toku procesa otiskivanja. Nekoliko pokušaja da se doda vrednost otisku bilo je kroz dodatne boje, koje bi se pored cijana, magente, žute i crne, našle na otisku. Ovakav sistem obojenja za cilj je imao proširenje opsega boja otiska kao i ukidanje potrebe za posebnim bojama, koje su

se kao „spot“ boje dodavale standardnoj CMYK separaciji. Različiti prilazi su se upotrebljavali koji su obuhvatali štampu šest ili osam boja. Povećanje broja boja podrazumevalo je skuplji proces izrade, te je samim tim, odnos između kvaliteta i cene uvek bio merodavan kod kreiranja ovakvih unapređenja. Dodatak određenih boja bio je direktno ili indirektno vezan za povećanje opsega boja. Primer direktnog povećanja opsega bi bio dodavanje boja koje su van CMYK sistema, kao što su zelena i narandžasta, kao boje koje se najteže mogu dobiti korišćenjem četiri CMYK separacije. Indirektno povećanje opsega postizalo se uklanjanjem nekih od nedostataka konvencionalnog načina štampe, kao što je greška proporcionalnosti. Uvođenjem svetlih verzija cijana i magente, smanjila se greška proporcionalnosti i na taj način indirektno povećao opseg boja.

Korišćenjem AM rastera, primena i dodavanje novih boja sa sobom je nosilo mogućnost pojave previše izraženog moiré efekta. Upotrebom dodatnih boja kao što su svetlo cijan i svetlo magenta izbegnut je problem dodavanja novih uglova jer su dodatne boje koristile uglove svojih nepromenjenih boja. Ovakva unapređenja su široko prihvaćena u digitalnoj ink-džet štampi iako ona nije ograničena na AM rastery. Proširenje ovakvog sistema obuhvatalo bi i dodavanje sive boje, koje bi dodatno smanjile greške u proporcionalnosti. Naravno uvođenje dodatne boje, podrazumevalo je značajno povećanje troškova proizvodnje.



Slika 3.22 Povećanje opsega boja upotrebom Hexachrome sistema

Dodatne svetlije boje (LC i LM) se u srednjim tonovima slike štampaju kao pun ton, dok se boje standardnih svetlina ne štampaju u svetlim partijama otiska. Na taj način se pun ton određene separacije, u tamnijim tonovima prešampavao istom standardnom separacijom, dok se u svetlijim tonovima, standardno obojenje u potpunosti zamenjeno sa odgovarajućom svetlijom separacijom. Ovakav proces obojenja potencijalno je neupotrebljiv iz perspektive neprekidnosti štampe. On omogućava pokrivenost površine materijala od čak 600%. Ovolika pokrivenost neizbežno dovodi do problema u sušenju, nakon štampe, a u toku štampe probleme vezane za smetnje u štampi.

Direktni pristup povećanju vrednosti otiska je napravljen od strane PANTONE koji je u Hexachrome sistemu uveo dodatne dve boje narandžastu i zelenu. Iako su ove dve boje povećale opseg (slika 3.22), otežana primena sistema upravljanja bojom onemogućava širu primenu Hexachrome sistema (Reid, Apostol 2004).

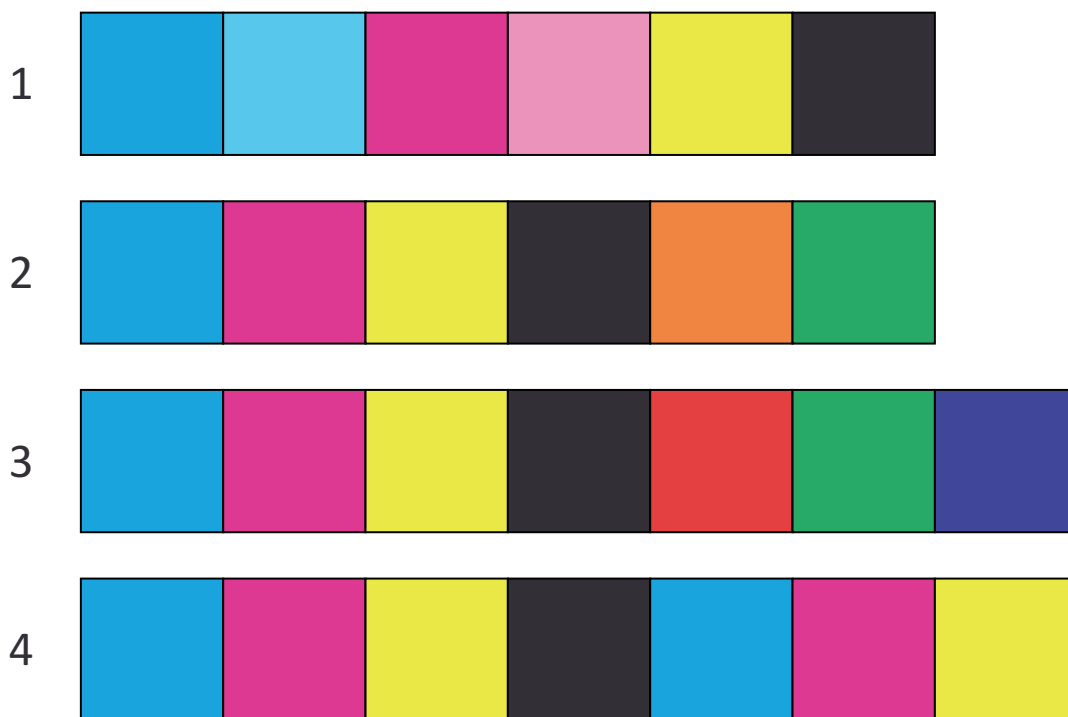
Nedostaci ovakvog sistema ogledaju se u tome što se separacija pravi za šest boja, ali se boje na otisku retko sastoje od više od četiri boje. Dalje, kreiranje šest separacija prouzrokuje gubitak zasićenosti kod komplementarnih boja (cijan i narandžaste, magente i zelene). Komplementarne boje poništavaju jedna drugu i na taj način povećavaju sivu komponentu. Hexachrom zelena separacija koristi isti ugao rastera kao i hexachrom magenta, dok hexachrome narandžasta ima isti ugao kao Hexachrome cijan zbog nemogućnosti uvođenja novih uglova rastera.

Najveći nedostatak svakako je nepostojanje standarda kao što su Gracol, SWOP ili ISO. Parametri kvaliteta kao što su porast rasterske tačke, štamparski kontrast ili gustina nisu definisani za različite materijale ili grafičke procese.

Odabir pigmenata takođe zahteva drugačiji pristup. Kod sistema koji koriste više od četiri standardne separacije, kao što je CMYKOG (CMYK + narandžasta i zelena) boje CMYK nisu iste kao i one koje se koriste kod konvencionalne štampe. CMYK hexachrom sistema su poboljšane dodavanjem fluorescentnog pigmenta. Takođe magenta pigment je sa čistijim rodamin pigmentom, a ne jeftinijim litol rubin koji reflektuje i plavi spektar svetlosti, karakteristične spektralne apsorpcije, finoće čestica kao i otpornosti na različite hemikalije i svetlost. Čak i pre razmatranja korišćenja peto-bojnih ili šesto-bojnih sistema obojenja, konvencionalni trohromatski sistem je poboljšavan upotrebom visoko pigmentiranih CMY boja. Ovakve boje su deo Hexachrom sistema, što dodatno poskupljuje čitav proces primene ovog sistema. Rezultat povećanja opsega boja u ovom slučaju svakako nije izostao, te je površina žuto-crveno-zelenog regiona sa 24% proširena na 35%.

Eksperimentisanje sa šesto-bojnim i sedmo-bojim sistemima počelo je sredinom osamdesetih godina prošlog veka. Prvi je koristio crvenu, ljubičastu i zelenu boju iskoristio kao dodatke CMYK separacijama. Predstavljan na DRUPI 1990 u Dizeldorfu ovaj sistem je koristio konvencionalni AM raster sa izbačenim crvenim, zelenim i ljubičastim delovima slike iz četvoro-bojne separacije. Dalji razvoj podrazumevao je mogućnost upotrebe čak 13 različitih boja, od kojih su se u zavisnosti od sadržaja slike štampala dodatna najviše dva ili tri. Upotrebom FM rastera

omogućena je puna primena ovog sistema koji nije više bio ograničen uglovima rastera i pojavom moiré efekta.



Slika 3.23 Sistemi obojenja 1 – CcMmYK; 2 – CMYKOG; 3 – CMYKRGB; 4 - CMYK'C'M'Y'

Pored već opisanih CcMmYK sistema koji koriste svetle varijacije cijana i magente, kao i narandžastu i zelenu dodatnu boju, pod brojem 3 na slici 3.23 prikazan je CMYKRGB. Ovaj sistem koristi crvenu, zelenu i plavu kao dodatne boje. Crvena, zelena i plava se dodaju odštampanim CMYK separacijama, s tom razlikom da se ova obojenja ne uklanjaju iz standardnih separacija. RGB boje se preštampavaju preko CMYK. Ovakav način štampanja omogućava povećanje opsega upravo u RGB delovima slike.

Na slici 3.23, pod brojem 4 prikazan je proces štampe koji podrazumeva štampanje CMY separacije dva puta. Ponovljena štampa za CMY separacije obuhvata samo ona mesta koja su puni tonovi 100% pokrivenosti, na taj način obezbeđujući povećanje zasićenosti CMY tonova i indirektno opsega boja. Ovaj proces je veoma sličan opisanom CcMmYK procesu s tom razlikom da se u ovom procesu ne koriste dodatne boje. Iste boje CMY korišćene u prvom prolazu koriste se i u drugom, bez ikakve razlike. Razlike može biti samo u nanosu boje, tj. gustini, gde se prvi prolaz štampa sa manjim nanosom kako bi se bolje prikazali srednji tonovi, dok se drugi prolaz štampa sa standardnim nanosima.

Empirijski podaci govore da se zadovoljavajući rezultati postižu upotrebom najviše sedam boja. Ključni faktor jeste odabir obojenja koje će biti korišćene. Ukoliko se i ukaže potreba za

štamptom više od šest boja, proces ponovne štampe, tj. dva prolaza kroz mašinu može se koristiti umesto korišćenja skupih osmo-bojnih grafičkih mašina.

Široki spektar proizvoda grafičke industrije prouzrokovao je različite načine štampe. Kvalitet, cena, fleksibilnost i brzina razlikuju se od procesa do procesa. Količina različitih materijala i proizvođača boje, onemogućava generalizovanje najvišeg kvaliteta štampe. Korišćenje standardizovanih boja i podloga omogućava uklanjanje nepredvidljivost štamparskog procesa i omogućava povećanje brzine proizvodnje i ponovljivost. Ne postoji najbolji metod štampe, umesto toga, mogu se istraživati najbolje kombinacije parametara vezanih za podlogu, boju i grafički sistem. Čak ni kao pojedinačne elemente jer jedino njihova kombinacija daje finalni rezultat kada je u pitanju kvalitet štampe. Kontrola parametara kao što su debljina nanosa boje, porast rasterske tačke, preštampavanje boje i registar olakšana je upotrebom sopstvenog ili nekog od definisanih internacionalnih standarda.

Rezultat kombinacije parametara štampe i rasterizacije tj. njihov međusobni odnos, uticaće na ocenu kvaliteta kod korisnika proizvoda tj. posmatrača. Shodno tome, ukupni kvalitet štampe zavisi od najlošijeg parametra u finalnom proizvodu. Ukoliko je rezolucija slike visoka, za rasterizaciju odabran FM raster sa 10 mikronskom veličinom tačke, a za materijal odabrana bezdrvena hartija, ukupan kvalitet biće određen upravo hartijom.

3.11 Strategije definisanja kvaliteta otiska

Kako bi se mogla utvrditi odgovarajuća strategija postizanja željenog kvaliteta otiska potrebno je utvrditi koji tip grafičkog štampanog proizvoda je u pitanju. Definisani kvalitet u odnosu na razred proizvoda prikazan je u poglavlju 3.3. Razred u kojem će se naći proizvod zavisi od parametara kao što su materijal, proces štampe, namena, brzina izrade, cena itd. Osim ovih razreda kvalitet se može posmatrati i na osnovu originala, zahteva i očekivanja potrošača. Kako su zahtev i očekivanja potrošača zavisni od niza faktora, ovde će biti obrađena optimalna rešenja kada je su u pitanju različiti originali. Kako je štampa zasnovana na ideji umnožavanja, reprodukcije originala, tako original kao polazna tačka može biti odrednica koja će određivati i krajnji mogući kvalitet. Original za štampu može biti elektronska fotografija, elektronska grafika, analogna fotografija ili foto negativ, umetnička slika ili određeni artikal tj. roba.

Digitalna kamera kreira elektronske fotografije koje su sastavljene od niza brojeva. Na sličan način u računaru se opisuje i elektronska grafika, koja može biti spoj vektorske grafike, bitmape i fontova. Elektronske fotografije i grafika može u toku pripreme biti izrađena ili odštampana različitim digitalnim tehnikama, kada izlazni fajlovi postaju originali i koriste se u toku štampe kao reference. Probni otisci omogućavaju transformaciju originala iz digitalnog u analogni oblik i na taj način direktno sužavaju mogućnost promene originala koja se može desiti kada je u pitanju samo njegova digitalna reprezentacija. Različite fotografske kamere snimiće različite opsege, prikaz tih opsega na različitim monitorima biće drugačiji, tako da digitalni original u ovom slučaju ima veoma jednu nestabilnu formu koja nije pogodna kao referentna u toku procesa reprodukcije. Digitalni originali bez odgovarajućeg upravljanja bojom, svojim opsegom

izlaze iz opsega koji je moguće postići u konvencionalnoj štampi, te je to još jedan razlog zbog kojeg nisu dobri kao referentni originali. Iz tog razloga svi proizvodni tokovi u sebi imaju ugrađenu mogućnost izrade probnog otiska koji bi služio kao referenca prilikom proizvodnje. Pretvaranje opsega digitalne kamere u odgovarajući ICC profil kao i kalibracija monitora su neophodni ako u procesu izrade ne postoji mogućnost izrade probnog otiska.

Kada je u pitanju digitalna grafika, ona se namenski pravi kako bi bila reprodukovana. Iz tog razloga, na samom početku izrade dizajna, identična reprodukcija originala može biti postavljena kao cilj. Dizajner može definisati boje i materijal na kojem će se vršiti otiskivanje. Ukoliko nema mogućnost odabira, dizajner mora imati na umu na kakvom materijalu i procesu će se štampati proizvod koji kreira. U procesu dizajna, ovi elementi se moraju imati na umu kako bi se odabrale boje koje su unutar opsega koje je moguće postići. Ukoliko se u proizvodnji ne mogu postići boje definisane od strane dizajnera, tj. one prevazilaze mogućnosti procesa štampe, tada se sam dizajn može smatrati pogrešnim. Za razliku od umetničkih slika koje su proizvod same po sebi, dizajn, koji je po definiciji komercijalni, je namenjen reprodukciji. Ukoliko dizajn ne može da se reprodukuje u zadatim uslovima tada je on pogrešan i trebao bi biti ponovo urađen.

Kod reprodukcija fotografija često nije potrebno postići identična obojenja kako su ona dobijena na samoj fotografiji. Fotografija je sama po sebi već reprodukcija određene scene i zavisi kako od fotoaparata, tako i od uslova pod kojim je fotografisana i njihovih podešavanja. Fotografije se mogu štampati u zavisnosti od preferencija. Velika prednost fotografija je fotomanipulacija kojom se određeni elementi ili boje na fotografijij prenaglašavaju i takva fotografija može biti referenca. Takođe, na fotografiji se mogu ukloniti određeni nedostaci tako da se granica između fotografije i digitalne grafike polako briše. Iz ovog razloga kvalitet reprodukcije se može meriti njenom sličnošću sa stvarnom scenom. Fotografija je često samo ulazni parametar prilikom izrade određenog dizajna.

Artikli ili roba su česta tema brošura i kataloga, od odeće do automobila. Očekivanja svakog ko lista katalog jeste da boja u katalogu odgovara proizvodu koji se iz njega može poručiti. Kako bi to bilo moguće uzorci samih artikala su često referenca prilikom korekcije boja. Kada je potrebno postići najviši kvalitet u pogledu sličnosti reprodukcije i originala često se procesnim bojama dodaju specijalne boje koje će povećati opseg boja. Proizvodi koji imaju kompleksnu refleksiju i boju, kao što su automobili tj. njihova farba u obzir moraju uzeti pored preciznosti boje i parametre kao što su valer, tekstura, sjaj, oštrina, ton i rezolucija, jer će se svi parametri slike ocenjivati kvalitativno a ne samo boja.

3.12 Povećanje kvaliteta otiska bez uticaja na kompleksnost štampe

Postizanje optimalnog kvaliteta u štampi podrazumeva balansiranje između različitih parametara koji su često suprotstavljeni tj. negativno srazmerni. Povećanje kvaliteta otiska u proizvodnji podrazumeva kompromis. On se ogleda poboljšanju određenih parametara koji će

posledično poremetiti balans tako da će u negativnom kontekstu uticati na druge parametre koji mogu biti povećanje vremena izrade, smanjenje tolerancija, promena obojenja ili cena.

Da bi se postigla veća oštrina otiska, potrebno je kontrolisano povećati nanos boje, koji direktno utiče na promenu tona reprodukcije, povećanje raster-tonskih vrednosti i samim tim smanjenje rezolucije slike. Smanjenje zrnastosti i neujednačenosti rasterske strukture zahteva takođe promene u nanosu boje, kao i promenu pritiska pritisknog cilindra mašine. Uzimajući u obzir sve obrađene parametre postavlja se pitanje da li je moguće poboljšati kvalitet otiska ne utičući ili minimalno utičući na ostale parametre štampe.

Upotrebom FM rastera povećava se rezoluciju otiska, što bi značilo da je potrebno smanjiti nanos boje, postaviti ga na minimum, kako bi se smanjio porast rasterske tačke a omogućiti tačan prenos svake rasterske tačke na podlogu.

Eksperimentalni deo rada će obraditi pitanje vezano za povećanje kvaliteta AM i FM rastera kroz parametar dimenzije otiska, na način koji do sada nije bio obrađivan. Analizom pozitivnih i negativnih karakteristika oba tipa rastera predložiće se rešenje koje će smanjiti negativne aspekte i jednog i drugog tipa rastera.

Povećanje kvaliteta kod AM rastera može biti dodavanjem jedne FM separacije umesto jedne AM. Kao glavni negativni efekat AM rastera javlja se moiré efekat. Idealni ugao jedne rasterske separacije u odnosu na drugu je 30° . Četvrta separacija mora biti rotirana za 15° kako se ne bi poklopila sa prvom. Pošto je ljudsko oko najmanje osetljivo na žutu boju, upravo ta separacija je postavljena pod ovim uglom. Izbacivanjem četvrte separacije AM rastera, bilo bi omogućeno smanjenje pojave moiré efekta tako što bi svi uglovi bili zakrenuti pod uglom od 30 stepeni, dok bi četvrta separacija mogla biti rastrirana sa FM rasterom.

Rastriranjem FM rasterom povećava se rezolucija otiska, tj. omogućava se prikaz više detalja i informacija koje nosi slika. Koliko količina informacija koja se nalazi na otisku utiče na percepciju kvaliteta samog otiska biće analizirano kroz eksperiment koji će uključivati ocenu kvaliteta od strane ispitanika u strogo kontrolisanim uslovima. Rastriranjem određene separacije u FM rasteru omogućiće uvođenje veće količine informacija na sliku. Iz tog razloga FM separacija treba da u sebi da sadrži ključne podatke strukture slike. Primena različitih tipova XM rastera upravo uključuje FM strukturu rastera u svetlije i tamnije delove slike. Kako je crna boja prisutna kako u najtamnijim tako i najsvetlijim delovima slike, a veoma je bitna za samu strukturu slike, detalje, kao i kontrast i prikaz detalja na fotografiji, ona se nameće kao najbolje rešenje za rasterizaciju u FM-u.

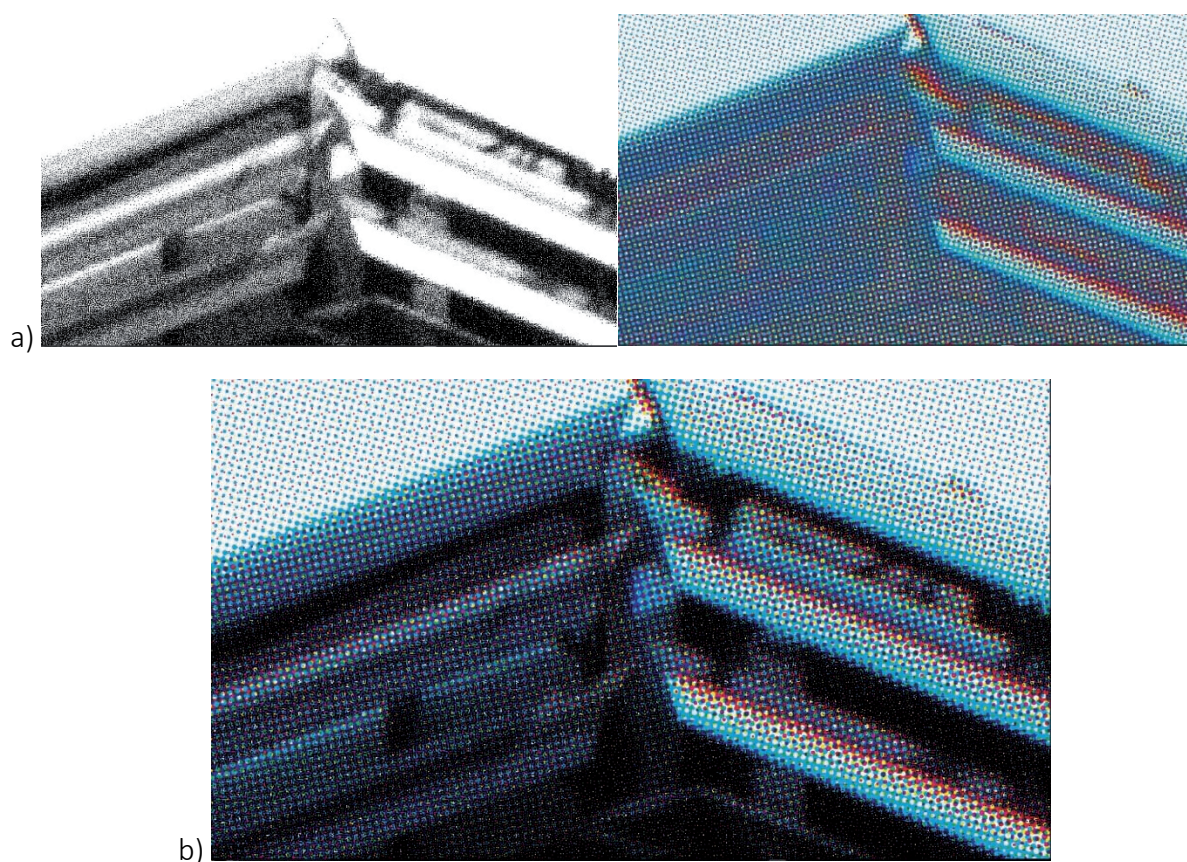
Kontrola količine delova slike koji sadrže crnu komponentu može se vršiti preko UCR i GCR procesa, kao što je bilo prikazano u poglavljima 3.5 i 3.6. Na ovaj način kontroliše se količine crne boje, tj. količina delova slike koji će sadržati FM raster, kao i njihovo međusobno mešanje.

Prednosti koje bi doneo ovakav tip rastriranja odnose se na povećanu količinu detalja u svetlim i tamnijim partijama slike, ujednačeno i konstantno obojenje u srednjim tonovima kao i visoka zasićenost punih tonova. Porast rasterske tačke, kao negativna posledica FM rastera moći će se

zasebno kontrolisati preko crne separacije. Na ovaj način pozitivne strane određenog rastera bi doprinele kvalitetu štampe ali bi i učestvovala u otklanjanju ili smanjenju negativnih karakteristika drugog tipa rastera.

Negativne karakteristike amplitudno frekventnog mogle bi da se jave u obliku šuma, koji je karakterističan za FM rasterske strukture. On je rezultat slučajnog preklapanja FM rasterskih tačaka. Kod sve četiri FM separacije, broj ovih slučajnih preklapanja je mnogo veći tako da će se upotrebom AM rastera ovaj broj u mnogome smanjiti. Međutim, bez obzira na smanjenje ova slučajna preklapanja mogu i dalje stvarati neželjeni šumu određenim partijama slike.

Na slici 3.24 su prikazani digitalni AM i FM rasteri i njihova kombinacija prema predloženom kombinovanom rasteru. Očigledan je pozitivan uticaj FM rastera na količinu detalja na slici dok će neželjeni efekti biti deo daljih istraživanja.



Slika 3.24. Kombinacija a) FM crne separacije i CMY AM separacije sa uglovima rastera b) rezultat spajanja na odštampanoj slici

3.13 Tipovi papira

Različiti tipovi papira mogu da imaju različit kapacitet u pogledu količine informacija koje mogu da prime i nose. Postoji određen broj faktora koji određuju kvalitet papira. Neki od njih su sirovi materijali unutar papira, nivo obrade i obrade površine. Kvalitet papira varira od novinskog do najfinijeg bezdrvnog duplo premaznog papira. Različiti papiri imaju različiti kapacitet nosioca informacija, tj. mogućnosti da zadrže različite veličine rasterske tačke. Najveći kapacitet da prime informacije imaju najfiniji papiri, čija je površina ujednačena, najčešće presvučena premaznim slojem. Različite površine papira podrazumevaju i različite apsorpcione karakteristike. Kako bi obezbedili optimalan kvalitet u toku pripreme štampe, kvalitet papira mora biti uzet u obzir.

Rasterske tačke, u zavisnosti od površine papira, ponašaju se drugačije. Glatkost i poroznost štamparske podloge umnogome utiče na način na koji će se boja zadržavati na papiru. Boja na podlozi povećava vlažnost podloge, šireći se i fiksirajući u različitim pravcima. Što je porozniji i grublji papir to je veća migracija boje u podlogu, te podloga na taj način utiče na konačni izgled rasterske tačke, tj. njenu nepravilnost. Što je površina podloge veće glatkosti i manje poroznosti, što se postiže premaznim slojem, to je tačka stabilnija, i promene njegovog oblika će biti minimalne. Ovi parametri podloge direktno utiču na moguću optičku gustinu koja se može postići kao i na porast rasterske tačke.



Slika 3.25 Različiti oblici tačke u zavisnosti od hrapavosti površine

Porast rasterske tačke uzrokovan podlogom može dovesti do zamućivanja slike, smanjenje broja tonskih prelaza zbog povećane pokrivenosti površine i zapušavanja rasterskih površina. U

ovim slučajevima trebalo bi smanjiti linijaturu rasterskih tačaka. Kod FM rastera moguće je povećati minimalno osvetljenu rastersku tačku. I u ovom slučaju smanjuje se rezolucija otiska, međutim zbog rasporeda tačaka koji se ne nalazi na mreži, može se očekivati mnogo manji gubitak informacija nego što je to slučaj kod AM rastera.

Eksperimentalna ispitivanja će obuhvatiti način na koji ispitanici, posmatrači otiska, reaguju na različite nivoe kapaciteta informacija, koje su postignute uz pomoć različitih linijatura, u slučaju AM rastera i veličina rasterskih tačaka u slučaju FM rasterskih tačaka.

Tabela 3.4 Prikaz odgovarajućih linijatura u zavisnosti od tipa papira
(UPM Technical guide, 2004)

LPI	65	85	100	120	133	150	170	200	254
Novinski	●	●	●						
Nepremazni			●	●	●				
Mat premazni			◐	◑	●	●	●		
Sjajni premazni			◑	◐	◑	◐	◑	◑	●

Različiti tipovi papira, osim na porast rasterske tačke utiču u na promenu optičkih gustina koje se mogu dobiti. Što je veća poroznost papira, potrebno je naneti više boje zbog penetracije boje unutar strukture papira. Za definisani nanos boje, što je veća poroznost to će, usled apsorpcije boje u podlogu, biti manja gustina obojenja.

Tabela 3.5 Optička gustina boje u zavisnosti od tipa papira (UPM Technical guide, 2004)

LPI	85	100	120	133	150	170	200	Optičke gustine			
								Cijan	Magenta	Žuta	Crna
Novinski	●	●						1.10	1.15	0.90	1.20
Nepremazni		●	●	●				1.25	1.30	1.05	1.40
Mat premazni				●	●	●		1.50	1.45	1.30	1.65
Sjajni premazni				●	●	●	●	1.65	1.60	1.45	1.90

Različiti tipovi papira različito podnose ukupne nanose boje koji se na njih mogu otisnuti. Za četvorbojnu štampu maksimalan nanos bi bio 400 %, ali problemi koji mogu nastati prevelikim nanosom boja tada su očekivani.

U prethodnim poglavljima prikazana su dva načina upravljanja ukupnom količinom nanosa na otisku uz pomoć UCR i GCR procesa. Uz pomoć njih moguće je u pripremnoj fazi štampe uticati na ukupnu pokrivenost i smanjiti je kako bi se ona prilagodila odabranom tipu papira. Ukoliko to ne bi bio slučaj mogli bi nastati problemi u proizvodnji koji bi mogli dovesti do potpunog prekida proizvodnje i nemogućnosti nastavka. Tada bi se čitav proces morao vratiti na početak, tj. pripremu, gde bi se morala uraditi korekcija sa pomenuta dva principa, zatim, ponovna izrada štamparskih formi i puštanja štampe. Mogućnost povećanja ukupnog nanosa boje zavisi i od grafičkog sistema, tj. njegove opcije sušenja boje.

Tabela 3.6 Ukupna pokrivenost boje na različitim tipovima papira (UPM Technical guide, 2004)

	Ukupna pokrivenost
LPI	Cijan + Magenta + Žuta + Crna
Novinski	240%
Nepremazni	260%
Mat premazni	270%
Sjajni premazni	320%

Pregledom različitih tipova papira može se zaključiti da se oni mogu svrstati u tri različite grupe.

U prvu grupu spadaju oslojeni, tj. premazni papiri. Oni mogu biti mat, polumat ili sjajni. Kod ovih materijala može se očekivati najveći kvalitet sa najmanjim porastom rasterske tačke i promenama u obliku. Ukoliko je potrebno dobiti najveći kvalitet sa najmanjom rasterskom FM tačkom, onda bi svakako premazni papiri bili odgovarajući izbor. Naravno cena ovih papira, zbog dodatne obrade i sadržaja je veća od ostalih i na taj način utiče na cenu proizvoda.

Druga grupa papira bi bili neoslojeni tj. nepremazni papiri, sa dodatnom obradom, koja im obezbeđuje ujednačeniju i glatkiju površinu od novinskih papira. Zbog svoje poroznosti i ovi papiri zahtevaju veći nanos boje, 50%, u odnosu na oslojeni. Porast rasterske tačke se može očekivati oko 33% u odnosu na oslojene papire. Povećanje rastvora za vlaženje dovodi do skidanja boje i smanjuje kvalitet otiska.

Treća grupa bi svakako bila novinski papiri. Ovi papiri su porozni, grubi i samo mašinski obrađeni. Potreba za nanosom boje je skoro duplirana u odnosu na premazni papir, povećanje rasterske tačke se može očekivati čak do 50%. Zbog svoje upojnosti veoma osetljivi na povećani nanos sredstva za vlaženje. Zbog svoje strukture, veoma lako može da dođe do ljuštenja boje sa podloge.

ISO standard definiše pet tipova papira i na osnovu njih određuje karakteristike. Tabela 3.7 prikazuje tipove papira definisane ISO standardom i njihove karakteristične Lab vrednosti, svetlinu i gramaturu.

Tabela 3.7 Tipovi papira po ISO12647-2 standardu

	Karakteristike					
	L*	a*	b*	Sjajni	ISO belina	Gramatura
Tipovi papira						
1: Sjajni premazni	93(95)	0(0)	-3(-2)	65	89	115
2: Mat premazni	92(94)	0(0)	-3(-2)	38	89	115
3: Sjajni premazni za rotaciju	87(92)	-1(0)	3(5)	55	70	70
4: nepremazni beli	92(95)	0(0)	-3(-2)	6	93	115
5: nepremazni žućkasti	88(90)	0(0)	6(9)	6	73	115
Tolerancija	± 3	± 2	± 2	± 5	-	-

Po pitanju sjaja i boje, tipovi papira prikazani u tabeli se koriste u ofsetnoj štampi sa određenim podelama. Tipovi papira 1 i 2 su tipični tipovi papira za tabačnu ofsetnu štampu, dok tipovi papira 3 i nisu predviđeni za tabačnu ofset štampu.

Ukoliko je krajnji proizvod podvrgnut dodatnog grafičkoj obradi to može veoma značajno uticati na boju podloge. Ukoliko se dodatna obrada radi in-line tada operater može da kontroliše krajnji rezultat. Međutim, ako se obrada radi nakon štampe tada kontrolu nije moguće vršiti u toku štampe osim ako operateru nisu dostavljeni probni otisci sa dodatnom obradom ali i bez nje.

Za reprodukciju na papirima ili kartonu za tipove papira od 1 do 5, čija je gramatura veća od deklarisanu u tabeli, koriste se Lab vrednosti koje se nalaze u zgradama.

3.14 Poređenje AM i FM rastera

Od pojave frekventno modularnog rastera, tj. omogućavanje njegove šire primene, kroz razvoj računarske tehnike, postavlja se pitanje o njegovom kvalitetu, mogućnošću primene, isplativosti i drugim atributima kvaliteta štampe. Svaka tehnika ima svoje prednosti i mane, poželjne karakteristike koje su doveli čak do njihovog objedinjavanja (Gooran 2005), (Fung & Chan 2009).

Frekventno modularni algoritmi, uzimajući u obzir diskretizaciju i gubitak podataka, daju veoma dobru reprezentaciju originala kontinualnih tonova. Rezultat je izolovana tačka koja sadrži visoku frekvenciju. Prenos ovako sitnog elementa na grafičku podlogu je gotovo nemoguće, a da pri tom omogućimo kontinuitet štampe i ponovljivost. Prenos ovakve tačke omogućen je samo kod visokokvalitetnih štamparskih sistema ili digitalnih ink-džet sistema koji imaju dobru adresibilnost. Kada je u pitanju ofset tehnika štampe izbacivanjem izrade filma iz procesa

pripreme omogućilo se kreiranje štamparskih formi direktnim osvetljavanjem. Savremeni *computer to plate* (CTP) uređaji visoke rezolucije su u stanju da odgovore izazovu ovako sitnih izolovanih elemenata, ali se problem javlja u procesu prenosa boje iz sistema za obojenje na štamparsku formu, zatim prenos boje sa štamparske forme na prenosni cilindar i na kraju sa prenosnog cilindra na podlogu i to sve pod pritiskom između svakog od nabrojanih elemenata. Dolazi se do zaključka o potrebi za smanjenjem frekvencije rasterskih elemenata i predlaže se novi pristup koji bi omogućio upotrebu stohastičkog rastera i na manje pouzdanim uređajima i procesima štampe. Rešenje smanjenja frekvencije pronašlo se upravo u korišćenju srednjih frekvencija belog šuma. Srednja frekvencija nazvana zeleni šum (*green noise*) (Lau et al. 1998) karakteristična je po aperiodičnosti, nedostatku zrnaste strukture (Fung & Chan 2013) niske frekvencije, a podložna je grupisanju rasterskih elemenata. Grupisanje piksela povećava rasterske elemente, te je to ključ mogućnosti primene stohastičkog rastriranja u konvencionalnoj ofsetnoj štampi kao i na uređajima veće nepouzdanosti. Ovakav pristup rešavanju problema u mnogim literaturama se definiše kao AM/FM rasterizacija (He 2004), ali češće kao FM druge generacije. Korišćenjem FM rastriranja druge generacije omogućava se odabir željene veličine klastera, tj. njegove grubosti. Na taj način se vidljivost rastera može smanjiti kod uređaja sa većom preciznošću dok se kod nepouzdatih uređaja grubost rastera može povećati tako da se dobijaju veći rasterski elementi koje je lakše održati konstantnima.

Jednostavnim spajanjem AM rastera u srednjim tonovima i FM rastera u svetlim i tamnim partijama, nastalo je tzv. hibridni raster (Gooran 2005), koji svoju primenu nalazi u različitim tehnikama štampe, ali zbog svoje konstrukcije i specifičnosti neće biti predmet ovog istraživanja.

Upoređivanje tipova rastera može se početi od njihovih nedostataka. Mana AM rastera jeste pojava *Moiré* efekata, koji se javlja prilikom štampe u boji, kada dođe do rotiranja jedne od bojnih izvadaka u odnosu na druge. Tada geometrijska mreža postaje jasno vidljiva za ljudsko oko i iluzija kontinualnog tona se gubi (Yu & Parker, 1997). Čak i sama rozeta koja se javlja prilikom štampe AM rastera je *moiré* efekat ali je zbog svoje visoke frekvencije prihvatljiv.

Kako je već navedeno, FM raster u potpunosti otklanja probleme koji se javljaju prilikom *Moiré* efekta, s obzirom da ne koristi rasterski ugao nego nasumičnu raspodelu tačaka. Još jedna prednost FM rastera jeste veći opseg boja koja se objašnjava njegovim sitnijim tačkama, koje pokrivaju veći procenat štampane površine (Pinčjer, Nedeljković, & Nedeljković, 2010). Međutim ova karakteristika ne zavisi samo od načina rastriranja tako da se može zaključiti da FM svojom konstrukcijom omogućava dobijanje većeg opsega boje.

Još jedna mana AM rastera jeste relativno loša rezolucija - postavljajući rasterske tačke na fiksnu mrežu, dolazi do smanjenja rezolucije odštampane slike u odnosu na rezoluciju štamparskog uređaja. Iz istog razloga dolazi do loše reprodukcije najsvetlijih i najtamnijih detalja, kao i finih detalja. Sa druge strane, kod FM rastera se mikro tačke raspoređuju nasumično, u zavisnosti od svojih suseda, čime se postiže veća rezolucija kao i reprodukcija većeg broja sitnih detalja (Dharavath et al., 2005).

Najveća mana FM rastera jeste porast rasterske tačke prilikom štampe što uzrokuje lošiju reprodukciju tonskih prelaza u srednjim tonovima. Prilikom štampe rastera, porast tačke dovodi do promene odštampanih tonskih vrednosti što dalje prouzrokuje gubitak detalja i smanjenje kontrasta. Takođe, porast tačke može da dovede i do zapušavanja rastera i promenu nijanse. Veći porast rasterske tačke u odnosu na AM prouzrokovao je zakonitostima samog porasta rasterske tačke, tj. utvrđeno je da na njega utiču odnos perimetra i površine izolovane tačke (Fung & Chan, 2009). Kako je u pitanju karakteristika pojave koja ne zavisi od tipa rastriranja ona se takođe može očekivati i u primeni AM rastera, pogotovo kada se govori o većim linijaturama. Načini redukcije ove negativne karakteristike FM rastera su pretežno adresirani na različite načine dizajna rastera a u proizvodnji na kalibraciju CTP uređaja.

S obzirom na komplikovane algoritme, FM rastriranje je, uzimajući u obzir kompleksnost izračunavanja, mnogo zahtevniji od AM rastriranja. AM raster, svakako je jednostavniji za reprodukciju ali podrazumeva manju rezoluciju i uočljiv šablon u vidu rozete. Raspored sa fiksiranim rastojanjem između tačaka koje formiraju sliku rezultuje gubitkom detalja kod AM rastera. Kod FM rastera ovaj gubitak detalja je minimalizovan, zahvaljujući njegovoj strukturi - nasumično raspoređene mikro tačke, sa malim međusobnim rastojanjima.

Prethodno napomenuta karakteristika FM rastera, tj. nasumična raspoređenost tačaka, prouzrokuje probleme prilikom prikazivanja ujednačenih tonova. Rasterske tačke raspoređene po šablonu, kao što je to slučaj kod AM rastera, više pričaju oku i ono ih definiše kao ujednačen ton (He, 2004).

Kako svaki od načina rastriranja pokazuje prednosti i mane, ovaj eksperiment daće uvid u to koliko razlike u ova dva tipa rastriranja utiču na percepciju kod posmatrača tj. koliko su primetne u svakodnevnoj upotrebi, sa posebnim akcentom na strukturu ispitanika, tj. njihovo prethodno obrazovanje.

Sa druge strane, veličina rasterske tačke, kako kod AM a tako i kod FM rastera, je konstruisana tako da ne bude vidljiva ljudskom oku. Za prag vidljivosti se uzimaju četiri ciklusa po stepenu ugla gledanja (Wang et al. 2003). Ovaj broj ciklusa odgovara linijaturi rastera od 110 lpi. Današnji štamparski procesi za ofset štampu bez problema postižu linijature rastera od 150 lpi i 175 lpi što iznosi oko 6 tj. 7 ciklusa po stepenu ugla posmatranja. Ova frekvencija je veća od granične te se može pretpostaviti da raster neće biti primetan. Na osnovu ovih saznanja, postavlja se još jedno pitanje, da li ispitanici mogu da uoče razliku u kvalitetu reprodukcija rastriranih različitim tipovima rastera (AM i FM) i njihovih varijacija u frekvenciji.

3.15 Analizirani tipovi rastriranja

Konvencionalni AM raster simulira kontinualne tonove uz pomoć individualnih tačaka čije je međusobno rastojanje ujednačeno. Različiti nivoi zacrnjenja dobijaju se isključivo promenom veličine rasterske tačke. Što je rasterska tačka veća to je veća pokrivenost tj. zacrnjenje.

Kod konvencionalnog AM rastriranja, pikseli iz originalne slike se transformišu u binarne vrednosti, grupišu se, ispunjavaju rasterske ćelije i tako obrazuju rasterske tačke. Gustina ovih rasterskih tačaka je fiksna a definisana je kao njihov broj po jedinici dužine. Razlika u tonu se postiže varijacijom veličine svake rasterske tačke (Ulichney, 1999).

Prednost AM rastera u odnosu na FM jeste mogućnost postizanja ujednačenih tonova, manji porast rasterske tačke, veća mogućnost podešavanja boje u toku procesa štampe kao i mogućnost postizanja većeg tiraža usled postojanije rasterske tačke na štamparskoj formi.

Stohastički raster je od svog nastanka pretrpeo nekoliko promena. Sve promene bile su usmerene u dobijanje što boljeg kvaliteta otiska kako u digitalnoj štampi tako i u ofset tehnici. Druga generacija FM rastera razvijena je sa ciljem da smanji negativne karakteristike prve generacije koje se najviše ogleda u nemogućnosti štamparskih sistema da održe konstantnom izolovanu tačku, tj. mikro tačku, čije se veličine kreću od 10 μm .

Tipičan moderni uređaj za osvetljivanje štamparskih formi, rezolucije 2400 dpi ima veličinu laserskog zraka od 10.6 μm , i on je u stanju da proizvede mikro tačku veličine 20.1 μm . Radi poređenja veličine tačke kod FM i AM rastera, uzima se za primer FM raster sa veličinom tačke od 20 μm – koji je ekvivalentan veličini tačke za 1% AM rastera od 150 lpi.

Iako nije u velikoj meri zastupljen u komercijalnom štamparstvu, FM raster prevazilazi mnoge probleme koje se javljaju kod AM rastera, kao što je *Moiré* efekat. Alternativni FM raster takođe otklanja potrebu za rasterskim uglovima i frekvencijom rastriranja (linijaturom), čime se dobija slika sa mnogo manje grešaka, veće rezolucije (Dharavath, Bensen, & Gaddam, 2005).

3.16 Predmet i cilj istraživanja

Predmet istraživanja je usmeren ka razvoju i karakterizaciji modela procesne analize parametara reprodukcije u zavisnosti od parametara rastriranja. Broj uticajnih parametara koji definiše kvalitet reprodukcije i stimulus otiska zahteva njihovo istraživanje. Izrada modela analize ključnih parametara omogućila bi bržu i svrsishodniju izvedbu transformacije sistema rasterizacije iz klasičnog u napredni sa naglaskom na prednosti koje se dobijaju. Primena ovakvog modela dala bi kompletniji uvid u prednosti i nedostatke koje napredne tehnike rastriranja mogu da donesu. Takođe, cilj upotrebe ovakve metode bi bio definisanje kritičnih tačaka procesa koje bi bile primenjene u kontrolnim fazama i izlazni rezultati bili uzeti u obzir

prilikom otpočinjanja sledeće faze kontrole i praćenja, implemetirane u model analize procesnih parametara.

Istraživanja obuhvataju više različitih tehnika rastriranja, klasičnih i naprednih, u zavisnosti od stabilnosti sistema i spoljašnjim uticajima kojima je sistem izložen, zatim, prikaz različitih tipova materijala a sve u cilju mogućnosti primene modela analize na što šire područje kvalitetne reprodukcije i dobijanja zadovoljavajućeg stimulusa otiska. Jednom odabrana tehnika rastriranja obezbeđuje optimalno podešavanje procesnih parametara prema rezultatima metoda analize imajući za cilj da obezbedi što je veći mogući stimulus otiska. Kvalitet stimulusa otiska može se definisati kao razlika između originala i dobijene reprodukcije. Što je manja razlika u opsegu boja i detaljima na slici to je veća uloga otiska, tj. reprodukcije kao stimulusa osećaja posmatrača.

Poseban segment istraživanja će se usmeriti na karakterizaciju procesnih parametara odštampanih materijala u ofset tehnici štampe kroz objektivne metode merenja kako kolorimetrijskih karakteristika otisaka, tako i vizuelnih karakteristika u cilju utvrđivanja uticaja promene parametara na stimulus.

Predmet istraživanja direktno je vezan za budućnost štamparskih tehnika, način na koji će se štampani materijali izrađivati kako u bliskoj tako i u daljoj budućnosti. Štamparski procesi su procesi koji se tehnički najbrže razvijaju. Ovakav trend nije slučajan. Jasna je veza između štampe i tehnološkog napretka. Istraživanja će se posebno usmeriti ka novim trendovima rasterizacije uz razvoj novih tehničkih uređaja koji će to omogućiti.

Osnovni cilj istraživanja je analiza i definisanje veze između načina rastriranja, materijala, grafičkih tehnologija i sistema kroz niz kvalitativnih i objektivnih metoda, koji će omogućiti izradu dinamičkog modela praćenja procesnih parametara pripreme i štampe, kroz koje će se vršiti implementacija savremenih tehnika rastriranja uz podizanje kvaliteta štampanog otiska i održanje konzistentnosti štampe.

Istraživanje će obuhvatiti kvantifikovanje savremenih metoda rastriranja, digitalnih procesa prenosa informacija, pripremu originala, prelazak originala iz digitalnog u analogni oblik štamparske forme i konačno praćenje kvaliteta otiska.

Planirano je da se osnovni cilj realizuje objektivnim i subjektivnim metodama istraživanja. Objektivna istraživanja će se realizovati instrumentalnim metodama. Subjektivna istraživanja će se realizovati prema priznatim metodama istraživanja čime se želi potvrditi objektivna instrumentalna istraživanja.

Očekuje se da rezultati proistekli iz ovih istraživanja mogu da pomognu u analizi opravdanosti investicija u implementiranje novih tehnika rastriranja sa jasnijim pogledom na opravdanost troškova u zavisnosti od potreba proizvodnje.

Pored priznatih tehničkih modela analize kvaliteta otiska istraživanja će obuhvatiti i ukupni kvalitet otiska – stimulus. Stimulus otiska ima ulogu da definiše ljudsku komponentu kvaliteta, tj. ljudsku percepciju ukupnog kvaliteta otiska, kroz niz analiziranih atributa. Određivanje

najuticajnijih atributa kvaliteta otiska, i definisanje njihovog vrednovanja kroz subjektivne i objektivne eksperimente biće važan korak ka ispunjavanju cilja rada, kao i ukazivanje na nove naučne pravce razvoja kvalitetnijih metrika za objektivnu ocenu kvaliteta štampanih reprodukcija, koje će imati visoke korelacije sa ispitanicima.

Subjektivna istraživanja, kod upoređivanja kvaliteta AM i FM rastera, su često davala oprečne rezultate, tako da su istraživači često zaključivali kako su dalja istraživanja potrebna kako bi se utvrdili razlozi takvih oscilacija. Očekuje se da će zaključci ovog istraživanja, proistekli iz eksperimenta, direktno doprineti boljem dizajnu subjektivnih testova, za kvalitet reprodukcije, od strane istraživača, kako bi imali što je moguće konzistentnije rezultate i jasnije zaključke u vezi ocenjivanja otiska kao stimulusa.

Studioznom analizom i istraživanjem procesa rastriranja dobijaju se smernice za određivanje mogućih pravaca u kojima će se kretati razvoj tehnike rastriranja na osnovu kvalitativnih prednosti koje svaki od njih ima da ponudi. Cilj istraživanja svakako nije davanje prednosti jednoj tehnici rasterizovanja u odnosu na drugu. U radu se želi eksperimentalno uporediti karakteristike kako bi se na osnovu njih mogli odlučiti za optimalno rešenje pri izboru tehnike za rešavanje određenih problema. Istraživanje se bazira na eksperimentalnom metodu. Svrha ovog rada je da odredi razlike koje se pojavljuju između štampanih materijala rasterizovanih FM i AM rasterom. Posebna pažnja posvećena je određivanju kvaliteta otiska, kako sa naučno-tehničkog stanovišta tako i sa stanovišta promene stimulusa kod posmatrača. U radu se istraživanje fokusira na parametre koji utiču na kvalitet i krajnji izgled štampanog materijala, kao što su oštrina otiska, porast rasterske tačke, kao i opseg boja koje mogu da se postignu sa ovim rasterima u ofsetnoj višebojnoj štampi. Istraživanje ima za cilj da približi i pobliže objasni prednosti i mane koje mogu da se jave usled korišćenja jedne od tehnika rastriranja. Svaka od tehnika ima svoje prednosti i mane, koje u zavisnosti od onoga što je potrebno odštampati, dolaze do izražaja. Poznavanje prednosti i mana svake od tehnika rastriranja omogućava pronalaženje optimalnog načina modela rasterizacije za svaki pojedinačni zadatak. Kao rezultat dokazivanja hipoteze se očekuje povećanje kvaliteta štampe, lakše upravljanje procesom štampe, ponovljivost štampe nakon određenog vremena, manje količine makulature, brža priprema mašine za štampu kao skraćanje vremena trajanja toka procesa.

3.17 Očekivani rezultati

Kao rezultat istraživanja očekuje se izrada modela implementacije novih tehnika rastriranja sa naglaskom na očekivana unapređenja koje će takva implementacija doneti kao i metode za praćenje kvalitativnih parametara koji direktno utiču na proces štampanja kod odabrane tehnike rastriranja.

Ubrzavanja procesa podešavanja proizvodnog sistema radnim uslovima, mogućnost brzog reagovanja na nastale greške u procesu proizvodnje, analiza i sistematizacija grešaka radi

podešavanja ulaznih podataka u proizvodni proces, analiza konačnog rezultata po parametrima značajnim za analizu stimulusa otiska se očekuju kao rezultati kreiranja modela analize. Na osnovu izloženog moguće je postaviti sledeću hipotezu: „ *Moguće je razviti dinamički model kontrole procesnih parametara postupaka rastriranja koji će kao rezultat imati otisak kao stimulus čime će se značajnije uticati na kvalitet otiska*“

3.18 Plan istraživanja

Uvodni deo će obuhvatiti isticanje cilja hipoteze. Analiza dostignuća u oblasti istraživanja, sastojala bi se iz analize grafičkih procesa, analize procesa pripreme i relevantnih metoda rastriranja kao i istraživanje razvoja tehnika rastriranja. Na osnovu ovih istraživanja biće definisani značajni uticajni parametri koji će dalje biti u fokusu analize za datu tehniku rastriranja. Analiziraće se razlike u tehnikama izrade rasterske tačke kod konvencionalnog tipa rastriranja, stohastičkog tipa rastriranja i njihov uticaj na stimulus otiska. Analiziraće se niz značajnih parametara vezanih za stimulus otiska, metodologije rastriranja, postavke statističke analize, postaviće se plan i metodologija izvođenja eksperimenta kroz proces pripreme, dizajna kontrolnih elemenata, kao i odabira mernih uređaja kojima će se kvalitativno i objektivno definisati kvalitet otiska.

Priprema za štampu, kao polazna osnova za kvalitetan otisak, biće praćena preko niza važećih standarda, i kao rezultat definisaće se ulazni parametri za izradu test karte, koja će na osnovu prethodnih istraživanja sadržati sve potrebne elemente za kvalitativnu analizu otiska. Najadekvatnija štamparska forma kao nosilac informacija biće određena na osnovu uvodnih ispitivanja. Vrednosti rasterskih polja dobijenih na štamparskoj formi će moći da se analiziraju mernim instrumentima i ovi izmereni podaci služiće dalje u eksperimentima kao referentni podaci pri analizi otiska. Štamparski kontrast, sivi balans i opseg boje biće predmet analize kao uticajni faktori na stimulus otiska. Vreme pripreme mašine do dobijanja otiska sa standardnim nanosom boje biće mereno i upoređivano sa različitim tehnikama rastriranja. Ovo vreme će dati uvid u kompleksnost upotrebe određenog tipa rastera u procesu štampe i samim tim adekvatnost njegove primene u proizvodnji. Nakon eksperimentalne obrade uzoraka i statističke kvantifikacije značajnih veličina biće dato objašnjenje dobijenih rezultata kroz diskusiju i upoređivanje sa trenutnim raspoloživim saznanjima iz svetskih istraživačkih centara.

Kao krajnji rezultat definisaće se dinamički model kontrole procesnih parametara koji treba da ispuni očekivane ciljeve i definisanu proceduru uvođenja naprednih tehnika rastriranja u sistem. Na osnovu modela omogućiće se analiza ulaznih parametara, na osnovu koje će se moći predložiti optimalan način rasterizacije koji će dati najveći stimulus otiska. Model će na taj način moći da predupredi greške koje se mogu javiti neadekvatnim odabirom tehnike rastriranja, kao i definisati parametre koji će dati najbolji rezultat.

4 Hipoteza istraživanja

Na osnovu prethodno navedenih teorijskih i istraživačkih elemenata, mogu se izdvojiti određeni parametri štampe koji omogućavaju nesmetanu proizvodnju. Promena bilo kog od analiziranih parametara uzrokuje nestabilnost grafičkog sistema. Nestabilnost grafičkog sistema prouzrokuje nemogućnost kontinuiteta štampe, repeticiju sa istim rezultatima, povećanje vremena i troškova proizvodnje kao i cene finalnog proizvoda.

Unapređenje proizvodnje podrazumeva povećanje kvaliteta otiska koje sa sobom nosi i promenu određenih parametara proizvodnje i narušavanje stabilnosti sistema. Kako bi se sistem vratio u stabilno stanje potrebno je izvršiti ponovno podešavanje relevantnih parametara, što opet prouzrokuje vremenske i finansijske varijacije.

Potreba za povećanjem kvaliteta ne treba da se zaustavi na instrumentalnim merenjima, nego mora imati efekta na finalnom proizvodu i da unapređenje bude percipirano od strane naručioca i krajnjih korisnika. Unapređenje načina rasterizacije donosi promene u parametrima štampe, ali i željeno povećanje kvaliteta. Koliko je to povećanje kvaliteta u korelaciji sa percepcijom krajnjeg korisnika i da li utiče na njegovu odluku u odabiru preferirane reprodukcije biće utvrđeno u toku eksperimenta. Rezultati ovog eksperimenta odrediće dalje korake prilikom definisanja metoda kontrole procesnih parametara koji utiču na kvalitet otiska. Praćenjem uticajnih parametara moguće je preciznije predvideti izlazni rezultat sistema i sprečiti greške koje se mogu javiti pogrešnim podešavanjem parametara.

Pozitivni rezultati u ovom eksperimentu daće mogućnost primene unapređenja na grafičke sisteme bez negativnih posledica nestabilnosti sistema i omogućiće povećanje kvaliteta bez povećanja troškova i vremena proizvodnje. Ovakva unapređenja se mogu očekivati kombinovanjem parametara koji su karakteristični za različite tehnike rasterizacije te će svojim kvalitetom doprineti pozitivnom stimulusu otiska.

Očekivani rezultati razvoja modela analize procesnih parametara su ubrzavanje procesa podešavanja proizvodnog sistema radnim uslovima, mogućnost brzog reagovanja na nastale

greške u procesu proizvodnje, analiza i sistematizacija grešaka radi podešavanja ulaznih podataka u proizvodni proces, analiza konačnog rezultata po parametrima značajnim za analizu stimulusa otiska. Ovi očekivani rezultati se objedinjeno mogu definisati hipotezom rada:

„Moguće je razviti dinamički model kontrole procesnih parametara postupaka rastriranja koji će kao rezultat imati poboljšanje otiska kao stimulusa čime će se značajnije uticati na kvalitet otiska“

Kao rezultat eksperimenta očekuje se izrada modela implementacije novih tehnika rastriranja sa naglaskom na očekivana unapređenja koje takva implementacija može doneti kao i metode za praćenje kvalitativnih parametara koji direktno utiču na proces štampanja kod odabrane tehnike rastriranja.

Analizom literature došlo se do definisanja odgovarajućeg štamparskog procesa, ofset štampe, koji je moguće unaprediti novim načinom odabira uticajnih parametara na kvalitet. Parametri kvaliteta prate se kroz proces pripreme grafičke proizvodnje, analizom poznatih negativnih kompromisa pri izradi konvencionalnog rastera i zamena kompromisnih rešenja novim rešenjima od kojih se očekuje unapređenje kvaliteta. Dalje su analizirani teorijski i istraživački tekstovi vezani za određivanje pozitivnih i negativnih karakteristika različitih tehnika rastriranja koji daju novi uvid u mogućnost daljeg razvoja rasterizacije. Pokazano je da idealna rasterizacija ne znači i idealni otisak te je u kreiranje novih rasterskih struktura potrebno ugraditi i parametre štampe kao i parametre ljudskog vizuelnog sistema koji će taj otisak i posmatrati. Iz svega analiziranog dolazi se do zaključka da je još uvek svaki korak u procesu rasterizacije definisan kompromisnim rešenjem tako da je značajno svako istraživanje koje ima za cilj dalje unapređenje u razumevanju i definisanju optimalnih parametara rasterizacije.

4.1 Metodologija i uzorak istraživanja

Definisanje metodologije, postavke analize, način uzorkovanja, proces pripreme, dizajna kontrolnih elemenata, mernih uređaja će biti opisani u eksperimentalnom delu praćeni rezultatima istraživanja.

Priprema za štampu, kao polazna osnova za kvalitetan otisak, praćena je preko niza važećih standarda, i kao rezultat definiše test reprodukciju, koja, na osnovu prethodnih istraživanja, sadrži sve potrebne parametre za kvalitativnu analizu otiska. Najadekvatnija štamparska forma kao nosilac informacija određena je na osnovu uvodnih ispitivanja. Vrednosti rasterskih polja dobijene na štamparskoj formi analiziraće se mernim instrumentima i ovi izmereni podaci služiće dalje u eksperimentima kao referentni podaci pri analizi otiska. Štamparski kontrast, sivi balans, opseg boje biće mereni na uzorkovanim tabacima. Vreme pripreme mašine do dobijanja otiska sa standardnim nanosom boje biće mereno i upoređivano sa različitim tehnikama rastriranja. Ovo vreme će dati uvid u kompleksnost upotrebe određenog tipa rastera u procesu

štampe i samim tim adekvatnost njegove primene u proizvodnji. Nakon eksperimentalne obrade uzoraka i statističke kvantifikacije statističkih značajnih veličina biće dato objašnjenje dobijenih rezultata kroz diskusiju i korelaciju sa trenutnim raspoloživim saznanjima iz svetskih istraživačkih centara.

Kao krajnji rezultat u poslednjem poglavlju definisaće se dinamički model kontrole procesnih parametara koji treba da ispuni očekivane ciljeve i definisanu proceduru uvođenja naprednih tehnika rastriranja u sistem.

Kako bi obezbedili valjanost uzoraka potrebno je primeniti naučne metode koje su namenjene ovakvom tipu istraživanja. Analizom procedura za test štampe i kasniju evaluaciju rasterskih otisaka obezbeđuju se istraživački ispravno uzorkovanje koje obezbeđuje relevantne rezultate.

Statističke metode ispitivanja uzoraka i definisanja njihovih razlika kao što je hi kvadrat test, biće sastavni deo analize stimulusa otiska. Na ovaj način će biti definisane relevantne razlike između različitih parametara i stimulusa, koji će se povezati sa parametrima upotrebljenim za njihovo ostvarivanje. Takođe će omogućiti definisanje koeficijenta korelacije između određenih parametara i stimulusa koji se dobijaju upotrebom istih.

Naučne metode koje će se primenjivati baziraće se na istraživanju iz oblasti rastriranja u ofsetnoj tehnici štampe, koja će biti praćena adekvatnim eksperimentalnim metodima. Eksperimenti će se vršiti u strogo kontrolisanim uslovima laboratorije sa kontrolom svih uticajnih faktora koji će imati mogućnost varijabilnog podešavanja. Eksperimentalni rad će se bazirati na detaljnoj analizi prethodnih istraživanja kao i istraživanja relevantnih autora iz posmatrane istraživačke oblasti i kroz njihovu sintezu će se postaviti odgovarajuća metodologija za objektivno praćenje procesnih parametara. Istraživanja će se izvoditi u okruženju koje će pružiti sve neophodne uslove za minimalizaciju mernih grešaka kako bi se rezultati mogli što tačnije prikazati u određenim korelacijama i analizirati njihova međusobna zavisnost. Statističke metode će biti upotrebljene za obradu rezultata analize radi utvrđivanja značajnih razlika između analiziranih uticajnih parametara. Dalje, metodom indukcije i analize najznačajnijih uticajnih faktora očekuje se sintetizovano potvrđivanje hipoteze istraživanja.

Kako bi obezbedili valjanost uzoraka potrebno je primeniti naučne metode koje su namenjene ovakvom tipu istraživanja. Analizom procedura za test štampe i kasniju evaluaciju rasterskih otisaka obezbeđuju se istraživački ispravno uzorkovanje koje će pružiti relevantne rezultate.

Statističke metode ispitivanja uzoraka i definisanja njihovih razlika kao što je hi-kvadrat test, Pearsonova korelacija, biće sastavni deo analize stimulusa otiska. Na ovaj način će biti definisane relevantne razlike između različitih parametara i stimulusa, koji će se povezati sa parametrima upotrebljenim za njihovo ostvarivanje. Takođe će se omogućiti definisanje korelacije između određenih parametara i stimulusa koji se dobijaju upotrebom istih.

Naučne metode koje će se primenjivati baziraće se na istraživanju iz oblasti rastriranja u ofsetnoj tehnici štampe, koja će biti praćena adekvatnim eksperimentalnim metodima. Postavka hipoteze istraživanja će biti detaljno ispitana i definisana preko zakonitosti koje utiču upravo na njenu istinitost. Eksperimenti će se vršiti u strogo kontrolisanim uslovima laboratorije sa kontrolom svih uticajnih faktora koji će imati mogućnost varijabilnog podešavanja. Eksperimentalni rad će se bazirati na detaljnoj analizi prethodnih istraživanja kao i istraživanja relevantnih autora iz istraživačke oblasti i kroz njihovu sintezu će se postaviti odgovarajuća metodologija za objektivno praćenje procesnih parametara. Istraživanja će se izvoditi u okruženju koje će pružiti sve neophodne uslove za smanjenje mernih grešaka na minimum kako bi se rezultati mogli što tačnije prikazati te analizirati njihova međusobna zavisnost. Statističke metode će biti upotrebljene za obradu rezultata eksperimenta radi utvrđivanja značajnih razlika između analiziranih uticajnih parametara. Dalje, metodom indukcije i analize najznačajnijih uticajnih faktora doći će se do sintetizovanog potvrđivanja ili promene hipoteze istraživanja.

Statističkim postupkom selekcije će se uzorci za ispitivanje uzimati, označavati i klasifikovati u odnosu na različitu tehniku rastriranja i dimenziju u skladu sa istraživačkim pitanjem. Klasifikacijom će se obezbediti uporedivost rezultata merenja u odnosu na odgovarajuću alternativu. Stratifikovano sistematsko uzorkovanje primeraka otisaka će biti primenjeno koji moraju ispunjavati zadate kvalitativne faktore. Svaki od uzoraka će se pripremiti prema specifikacijama i veličinama prilagođenim uređajima za analizu i merenje kako bi se sprečili spoljašnji uticajni parametri prouzrokovani neadekvatnom konstrukcijom uzoraka.

Nakon obrade rezultata statističkim metodama i procenom ispravnosti postavljene hipoteze izvršiće se analiza dobijenih rezultata i sintetizovati saznanja dobijena tačnim metodološkim istraživanjem.

5. Plan eksperimenta i metode istraživanja

Eksperiment je osmišljen tako da se odvija u pet faza koje će se nastavljati jedna na drugu. Pet faza eksperimenta mogu se podeliti u dve grupe: objektivnu i subjektivnu. U objektivnu analizu spadaju eksperimenti u kojima će biti testirani parametri rastera koji se mogu izmeriti odgovarajućim mernim uređajima i vezani su za proces reprodukcije od pripreme pa da gotovog proizvoda. Subjektivne analize uključuju metodologiju eksperimenta sa ispitanicima u kojima će rezultati objektivnih metoda dobiti svoju potvrdu i opravdanost. Takođe subjektivnim metodama je moguće ispitati parametre koji utiču na kvalitet ali koje nije moguće izmeriti instrumentalnim metodama.

Objektivno određivanje kvaliteta parametara rasterizacije obuhvata:

- Odnos između linijature AM rastera i veličine FM rasterske tačke
- Porast raster tonskih vrednosti na otisku koji je rasterizovan sa FM rasterom
- Uticaj tehnike rastriranja na opseg boja

Subjektivno određivanje kvaliteta reprodukcije obuhvata:

- Određivanje vidljivosti različitih tipova rastera od strane ispitanika, sa posebnim grupama ispitanika koji se profesionalno bave grafičkom reprodukcijom i ispitanika koji nemaju profesionalnog dodira sa grafičkom reprodukcijom
- Uticaj dimenzije otiska na određivanje kvaliteta rasterske strukture od strane ispitanika

Uređaji i merni instrumenti koji će se koristiti u svakoj od faza prikazani su u nastavku.

5.1 Uređaji i softverski alati

Za osvetljavanje ploča izabran je CTP sistem Lüscher XPose (slika 5.1). Radi se o visoko kvalitetnom osvetljivaču sa bubnjem, sa sistemom za unutrašnje osvetljavanje štamparske

forme. Ovaj sistem daje najpreciznije postavljanje rasterskog elementa kakvo je potrebno za FM raster.

Lüscher XPose poseduje automatski registar ploče tako da je kvalitet umnogome poboljšan i konstantan. Rasterska tačka se pojavljuje kako na 1 % pokrivenosti tako i na 99 %. Tokom samog osvetljavanja laserske diode se nadgledaju i po potrebi podešavaju preko dijagnostičkog sistema. Čak i ako dođe do prestanka rada jedne od dioda sistem će nastaviti sa radom, samo sa proporcijalno smanjenom brzinom, dok se dioda ne zameni. Ovakav sistem omogućava postojani kvalitet osvetljavanje ploče i time doprinosi validnosti rezultata eksperimenta.

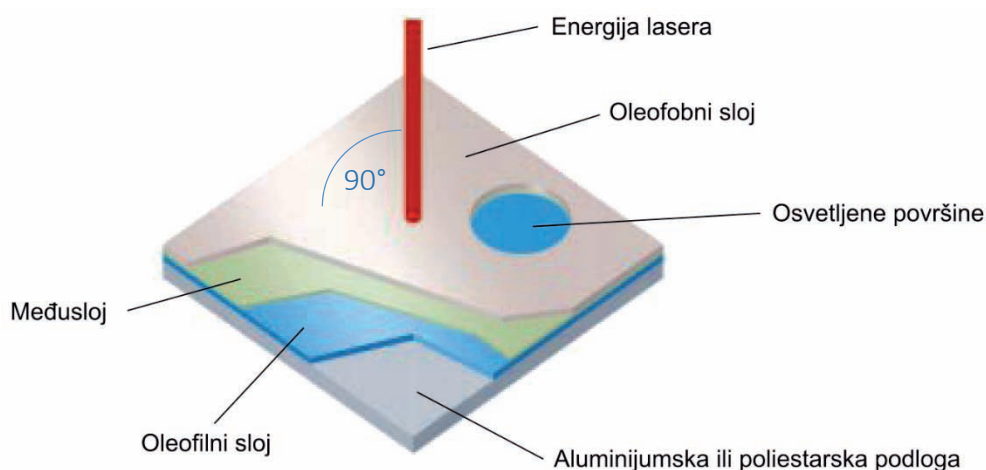


Slika 5.1 CTP uređaj Lüscher XPose

Tabela 5.1 Tehničke karakteristike osvetljivača Lüscher XPose

Maksimalna veličina ploče	1130 x 950 mm
Maksimalna površina osvetljavanja	1130 x 950 mm
Minimalna veličina ploče	500 x 360 mm
Minimalna površina osvetljavanja	neograničena
Debljina ofsetne ploče	0,15-0,4 mm
Automatski fokus	u zavisnosti od debljine ploče
Glava za osvetljavanje	64 x 830 nm diode, 1 W
Rezolucija	2400 dpi
Minimalna veličina rasterske tačke	10 mikrona
Brzina osvetljavanja	270 mm/min

Termalno CTP oslikavanje štamparske forme (slika 5.2) može se odvijati u normalno osvetljenoj prostoriji. Termalnim osvetljavanjem dobija se visok kvalitet reprodukcije, za velike tiraže, otporne na UV boje i stalnog kvaliteta izrada štamparske forme.



Slika 5.2 Princip osvetljavanja termalne štamparske forme

Prilikom izrade ploče korišten je HDS Coarse (*Harlequin Dispersed Screening*) stohastički raster koji je najpribližniji konvencionalnom rasteru sa linijaturom od 150 lpi što je najčešće korišćena linijatura prilikom korišćenja AM rastera. Ovako izrađene štamparske forme pre štampanja podvrgnute su analizi i merenju rasterskih vrednosti.

Za merenje vrednosti na štamparskim formama je korišćen uređaj SpectroPlate firme Techkon. Preciznost merenja štamparske forme određena je kvalitetom optičkog sistema mernog instrumenta i njegovim algoritmima za obradu slike. Uzorak koji se meri je uniformno osvetljen sa izvora iz samog instrumenta. Mikroskopska slika se snima preko sistema sočiva i CMOS (*complementary metal oxide semiconductor*) senzora koji se karakterišu manjom površinom prijema svetla čime su kompaktniji za ugradnju u prenosive uređaje a daju isti kvalitet kao i CCD čipovi. Obrada slike se vrši grafičkim procesorom i sofisticiranim algoritmima, čime se matematički opisuje snimljena slika. Svi relevantni podaci o merenju prikazuju se na LCD displeju ili se direktno učitavaju u računar i prikazuju na grafikonu.

SpectroPlate je u mogućnosti da očitava vrednosti kako za AM rastere, tako i za FM kao i hibridne rastere (slika 5.3). Posebno osvetljenje omogućava analizu svih vrsta štamparskih ploča, bez obzira da li su pozitivne ili negativne.

SpektroPlate je korišćen i prilikom provere test reprodukcija dobijenih na ploteru Epson Stylus Pro 7800. Odštampani uzorci su se kontrolisali *Techon SpectroPlate* uređajem kako bi se potvrdila linijatura i struktura rasterskih tačaka odštampanih reprodukcija sa zadatim parametrima.



Slika 5.3 SpectroPlate

Tabela 5.2 Specifikacije mernog uređaja SpectroPlate

Tehnika merenja	Visoko precizni optički sistem sa digitalnom kamerom visoke rezolucije i digitalnom obradom slike
Snimanje slika	1024 x 1024 piksela, 16 miliona boja, nekompresovani RGB
Merni otvor	1 x 1 mm, prikaz slike u realnom vremenu
Vreme merenja	1 sekund po merenju
Svetlosti izvor	Homogeno LED svetlo širokog spektra
Kalibracija	Fabrička
Procenat pokrivenosti površine koji meri	0 - 100%
Linijatura rastera koje meri	AM: 30 – 150 l/cm, 75 – 380 lpi; FM: 10 – 70 mikrona
Merne podloge	Ofset štamparske forme – CtP ili konvencionalne, film, odštampanu papirnu podlogu (CMYK)
Ponovljivost	±0,5 %

Posle provere štamparskih formi pristupilo se i štampanju. Štampanje je izvršeno na mašini KBA Performa 74 (slika 5.4). Ova mašina pripada tipskom redu mašina, koje su konstruisane za štampu na tabacima do formata 520 x 740 mm. Dobar parametar preciznosti registra mašine kod štampe garantuje kvalitetan otisak višebojno štampanih proizvoda na svim vrstama papira. Kvalitet štampe odgovara propisima saveznog udruženja štampara nemačke i grafičkog instituta FOGRA.



Slika 5.4 KBA Performa 75

Tabela 5.3 Boje, materijali i uslovi štampe u toku eksperimenta

Boja:	TOYO INK - TK HU NEO ERP
Pufer:	Prisco 3551 plus 2
pH vrednost :	4.9
Papir:	FEDRIGONI Symbol Freelifa gloss - 130 g/m ²
Ofsetna guma:	Vulcan Easy Plus - tvrdoća: 70° (Shore A)

Test merna karta je štampana u tiražu od 1000 primeraka, a uzorci su uzimani nasumice od trenutka kada su se postigle standardne vrednosti za nanos boje. Uzorci su uzimani tokom čitavog procesa štampe, kako na početku tako i na kraju tiraža. Zatim su tabaci bili podvrgnuti analizi. Test merna karta je izmerena uređajem Spectrolino firme GretagMacbeth (Slika 5.8). Spectrolino je precizni uređaj za merenje boje, namenjen kontroli boje tokom čitavog postupka proizvodnje. Osim kontrole tabaka u mogućnosti je da kontroliše i digitalne slike, tj. prikaze slika na monitoru. Boja, uzorci papira, transparentne podloge, karte boja i monitori se uspešno mogu kontrolisati sa ovim uređajem. Spectrolino je namenjen za profesionalnu primenu. Povezivanjem uređaja sa računarom omogućeno je preko RS 232C interfejsa i instalacijom odgovarajućeg softvera, izmereni podaci se mogu eksportovati i obraditi kako bi bili prezentovani po potrebi.

Odštampana test karta merena je na Spectrolino uređaju. Rezultati merenja koji su vršeni za svaki od uzoraka su uneti u jednu tabelu na osnovu koje je kreiran grafikon i dobila se srednja vrednost merenja. Prilikom merenja nisu uzeti u obzir tabaci koji su se svojim rezultatima nalazili na graničnim vrednostima, čime su se isključile greške nastale usled nekontrolisanih spoljašnjih

faktora. Takve greške nazivaju se slučajne greške. One predstavljaju razliku između jednog rezultata u beskonačnom nizu merenja i aritmetičke sredine rezultata tog beskonačnog niza merenja obavljenih u uslovima ponovljivosti. Slučajna greška merenja ne može se odrediti tačno, može se odrediti samo interval u kome se ona, sa datom vrednošću kreće. Takođe, slučajna greška ne može se uzeti u obzir u vidu korekcije na nekorigovani rezultat merenja, tj. ovakve slučajne greške, ako se retko pojavljuju, ne treba da utiču na ocenu kvaliteta štampe, ali se svakako mora utvrditi njihov uzrok i pristupiti njihovom otklanjanju.



Slika 5.5 Spectrolino sa na SpectroScan tabli

Tabela 5.4 Specifikacije Spectrolino mernog uređaja

Spektralna analiza	Holografška difrakciona rešetka
Spektralni opseg	od 380 do 730 nm
Fizička rezolucija	10 nm
Merna geometrija	45°/0° kružna optika DIN 5033
Merni otvor	4 mm
Svetlosti izvor	Tip A osvetljenje
Standardni posmatrač	2°, 10°
Ponovljivost merenja	0.03 ΔE^*CIE_{Lab} (D50, 2°)
Vreme merenja	2 s

Prosečna vrednost svih izmerenih uzoraka dobijena je korišćenjem softvera *GreteMacbeth ProfileMaker Pro 5.0.1* sa opcijom *Calculating – Averaging*. Na ovaj način se dobijaju u jednoj test karti srednje vrednosti za svako polje merene na uzorkovanim test kartama. Ovako pripremljeni rezultati zatim su upoređeni sa standardom DIN/ISO 12647-2 za ofset tehniku, tip papira 1 i 2, pozitiv ofsetne ploče.

Za subjektivne eksperimente odabran je softverski RIP – *StudioRIP*. Prilikom odabira načina rastriranja u obzir su uzeti najmoderniji algoritmi za generisanje FM rastera druge generacije, koji su podešavani u programskom RIP-u *StudioRIP*. Druga generacija FM rastera u sebi sadrži algoritme koji formiraju rastersku tačku na način da je ona prilagođena štampi u ofset tehnici (Ulichney 1999). Jedna od najvećih prednosti druge generacije FM rastera je što omogućava štamparskom procesu da održi veličinu tačke konstantnom, pri tome rešavajući problem neujednačenih tonova. Proizvođači softvera, svaki na svoj način pristupaju problemu generisanja FM rastera, uzimajući u obzir konstrukciju njihovih CTP uređaja te algoritme prilagođavaju istim. Iz tog razloga, zbog univerzalnosti eksperimenta, upotrebljeni su algoritmi kreirani van konvencionalnih CTP sistema. Za proces rastriranja fotografija, koje su korišćene kao uzorci za ispitivanje, izvršen je uz pomoć softverskog RIP-a kompatibilnim sa *PostScript 3* i *PDF 1.7* fajlovima baziran na *GhostScript PostScript/PDF engine*-u. Ovakav način rasterizacije je odabran zbog svoje fleksibilnosti i mogućnosti manipulacije različitim parametrima kako bi se ostvarili potrebni uslovi definisani eksperimentom. Za AM raster je izabran, u konvencionalnoj štampi najčešće, korišćen Euclidean oblik tačke, koji je baziran na rasterskoj superćeliji a karakterističan je po tome što uklanja nekontrolisani porast rasterske tačke na većim vrednostima zacrnjenja, dok se kod stohastičkog rastriranja koristi FM raster drugog reda, standardni na svim CTP uređajima, sa mogućnošću podešavanja dimenzija minimalne veličine rasterske tačke, kao i načina spajanja tačaka u klaster.



Slika 5.6 Epson Stylus Pro 7800 uređaj za probni otisak

Za potrebe subjektivnih eksperimenata štampa je vršena na uređaju za probni otisak. Prelazak slika iz digitalnog u analogni oblik je morao da sledi iste principe smanjenja uticajnih parametara na minimum. To je podrazumevalo da sve slike, bez obzira na tip rastera, moraju biti reprodukovane na isti način pod istim uslovima, na istim materijalima. Rešenje je zahtevalo upotrebu uređaja koji će moći reprodukovati zahtevane rastere a pri tom neće modifikovati zadate parametre rastera, tj. premostiće svoje rastere i upotrebiće rastere definisane RIP-om. Rešenje je pronađeno u uređaju za probni otisak *Epson Stylus Pro 7800*.

Tabela 5.5 Specifikacije Epson Stylus Pro 7800

Metod štampe	Štampajuća glava sa 8 kanala, Osmobojna (C, Lc, M, Lm, Y, Lk, LLk, + PK or MK), Droplet Micro Piezo® drop on demand ink džet
Brizgalice	180 x 8
Minimalna veličina kapljice	3.5 pikolitara, Varijabilna veličina kapljica
Resolucija	2880 x 1440 dpi; 1440 x 720 dpi; 720 x 720 dpi; 720 x 360 dpi; 360 x 360 dpi
Širina rolne	600 mm



Slika 5.7 X-rite EyeOne spektrofotometar

Kako bi obezbedili standardizovani otisak za željenu rezoluciju i tehniku rastriranja bilo je potrebno uraditi linearizaciju uređaja za probni otisak preko podešavanja zasićenosti boje uz pomoć merne trake za određivanje apsorpcione moći podloge za štampanje u odnosu na gustinu boje koju koristi izlazni uređaj. Linearizacija je vršena spektrofotometrom EyeOne (slika 5.7).

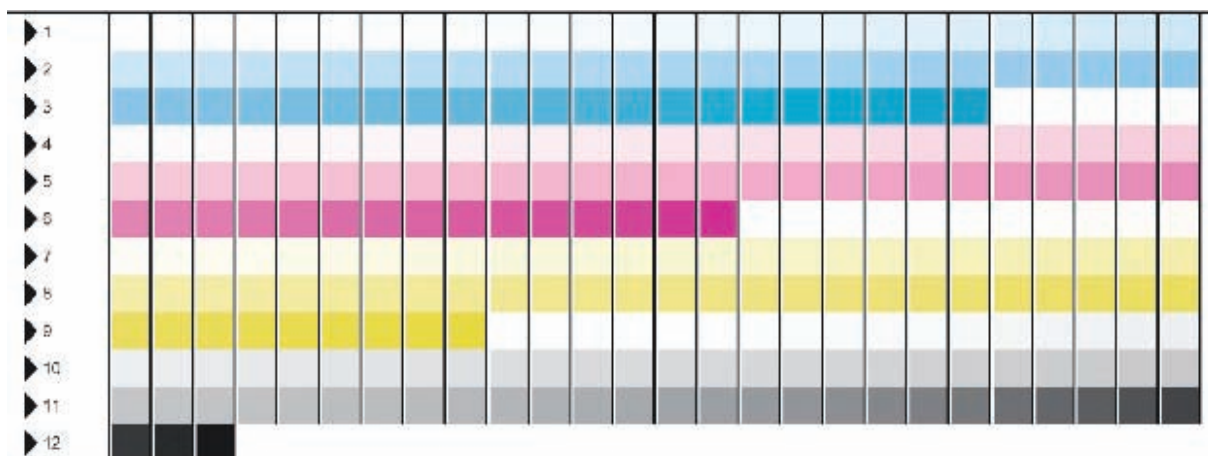
Tabela 5.6 Tehničke karakteristike spektrofotomentra EyeOne

Vrste merenja	Merenje reflektanse pojedinačno Merenje reflektanse automatsko Merenje zračenja monitora Merenje zračenja izvora svetla
Analiza spektra	Holografška difrakcija sa rasporedom dioda 128 pixelsa
Optička rezolucija	10 nm
Interval fizičkog uzorkovanja	3.5 nm, Raspon: 380...730 nm u koracima od 10 nm
Merni otvor	4.5 mm prečnik
Merna geometrija	45°/0°, DIN 5033
Svetlosni izvor	Tip A
Fizički filteri	Sa ili bez UV filtera
Ponovljivost merenja	$\Delta E^*_{94} \leq 0.1$ (D50,2°), sa merenjem 10 vrednosti CIELab svake 3 sekunde na beloј podlozi x,y: +/- 0.002 typical (CRT 5000°K, 80 cd/m ²)

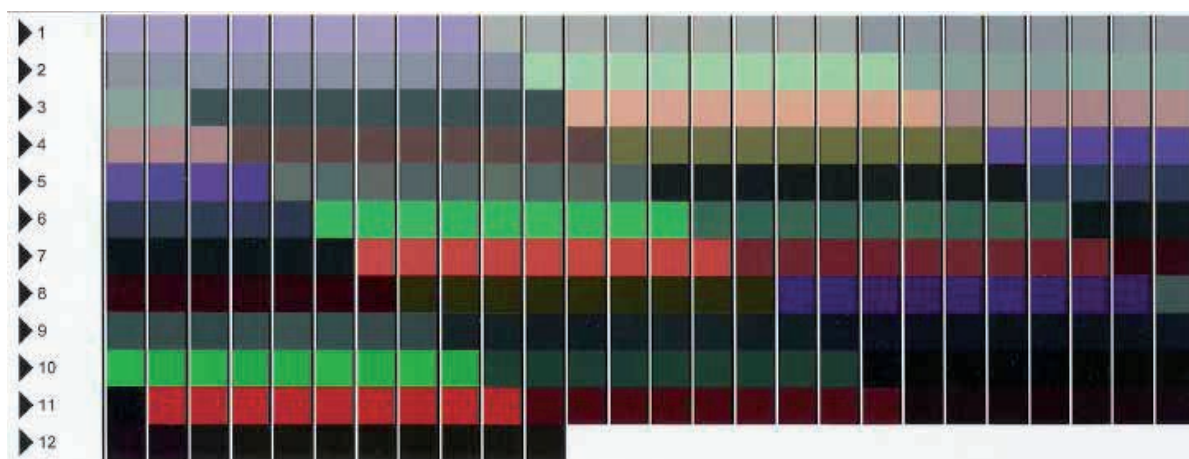
EyeOne spektrofotometar obezbeđuje merenja merno kontrolnih traka za profilisanje probnih otisaka digitalne štampe kao i otisaka reprodukovanih ofset tehnikom.

Nakon linearizacije je urađen probni otisak rastera. Ova vrsta kontrole je bila neophodna kako bi osigurali da će se odštampani raster poklapati sa njegovom digitalnom varijantom, tačno za svaku tačku, tj. Dot-by-dot. Testiranje odštampanog rastera sa njegovom digitalnom varijantom je urađena za svaki raster ponaosob.

Poslednji korak standardizacije otiska je bila kalibracija izlaznog uređaja. Kalibracija je vršena uz pomoć EyeOne uređaja i kao rezultat dobijene su kalibracione krive za svaku procesnu boju i za svaki tip rastriranja korišćen u eksperimentu. Za svaku tehniku rastriranja napravljen je probni otisak rastera kako bi se profilisao ploter za AM i FM raster



Slika 5.8 Kalibraciona merna traka za probni otisak rastera za procesne boje



Slika 5.9 Kalibraciona merna traka za probni otisak rastera za izvedene boje

Mikroskopski snimci površine odštampanog materijala snimljeni su digitalnim mikroskopom Sibress PIT uz pomoć istoimenog softvera. Slika uređaja prikazana je na slici 5.10 a tehničke karakteristike prikazane su u tabeli 5.7.

Slika 5.10 Sibress PIT**Tabela 5.7** Tehničke karakteristike Sibress PIT

Senzor	1/3" CMOS
Veličina slike	640x480 pix
Svetlosni izvor	Belo LED osvetljenje velikog intenziteta
Polje snimanja	Na uveličanju 40x 7,5 mm x10 mm Na uveličanju 140x 1,8 mm x2,5 mm
Rezolucija	4 µm na uveličanju 140X

6. Rezultati istraživanja

Eksperimentalno istraživanje bilo je podeljeno u više faza. Prva faza su bila objektivna istraživanja koja su obuhvatila instrumentalna merenja najbitnijih parametara rasterizacije. Eksperiment je obuhvatao rad u laboratoriji GRID u okviru koje je vršena štampa test uzoraka na mašini KBA Rapida 75. Vršena je kalibracija i prilagođavanje kompletnog sistema za štampu sa FM rasterom. U sklopu kalibracije grafičkog sistema vršena su instrumentalna merenja parametara štamparske forme i otisaka nakon štampe u cilju ocenjivanja rezultata kalibracije.

Nakon objektivnih merenja, pristupilo se radu sa ispitanicima, u subjektivnom delu eksperimenta. Veći broj ispitanika je analizirao otiske rastrirane AM i FM rasterom u različitim linijaturama tj. veličini rasterske tačke i davao svoju ocenu kvaliteta otiska, po dva atributa kvaliteta koja su direktno vezana za tehniku rasterizacije.

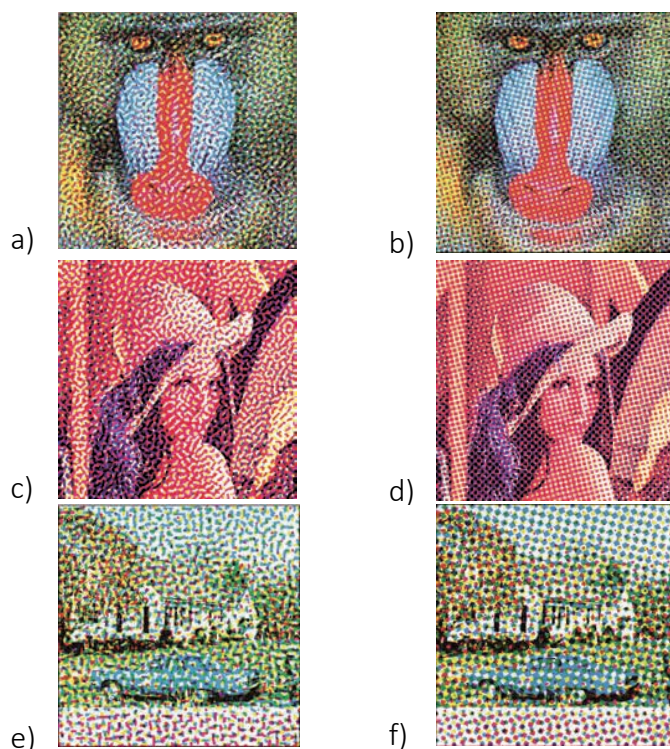
6.1 Objektivno određivanje kvaliteta parametara rasterizacije

U sklopu objektivnog određivanja kvaliteta parametara rasterizacije vršeno je nekoliko eksperimenata koji su za cilj imali da definišu odnos između AM i FM rasterske strukture, mernim instrumentima definišu razlike, prednosti ili mane ova dva tipa rastriranja.

6.1.1 Odnos između linijature AM rastera i veličine FM rasterske strukture

U eksperimentu se koristio StudioRIP softverski RIP kojim su generisane različite linijature AM rastera kao i veličine FM rastera. Sadržaj slika koje su rastrirane prilikom izrade alata za eksperiment, različit je i sastoji se od zasićenih boja, boje kože i pastelnih boja, kao i boja koje su se urezale u pamćenje ljudi (Hladnik et al. 2011). Slike su iz izvornog Adobe RGB prostora boja pretvorene u CMYK pre rasterizacije. Komparativna metrika *S-CIELab* je korišćena za poređenje razlike između originalne slike i rastrirane. Kako bi ona funkcionisala, rezolucija rastrirane slike morala je biti identična originalu. Slike su rastrirane u tri različite linijature (65,

150, 250 lpi) AM rastera kao i više veličina FM rastera druge generacije (11 μm , 25 μm , 39 μm , 52 μm , 69 μm , 94 μm i 126 μm) kako bi se poređenjem različitih vrednosti linijature i veličine pronašla odgovarajuća veza i odnos (Slika 6.1).



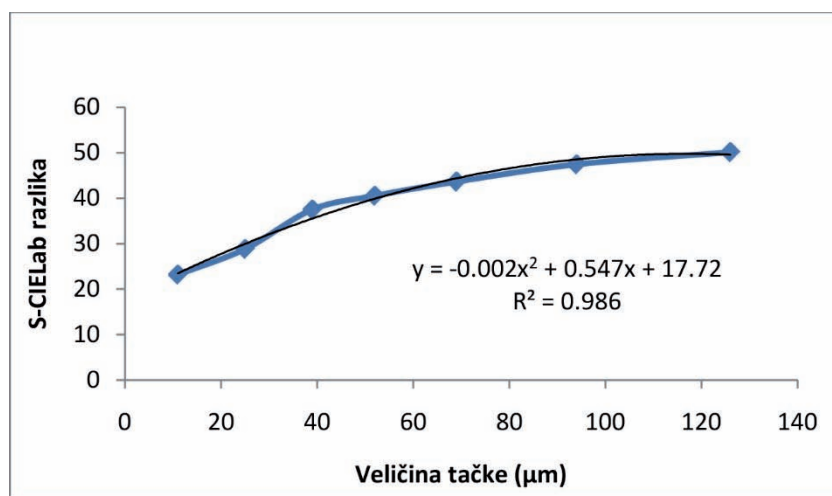
Slika 6.1 a) Test slika zasićenih boja FM rasterom b) Test slika zasićenih boja AM rasterom
c) Test slika boje kože rastrirana FM rasterom d) Test slika boje kože rastrirana AM rasterom
e) Test slika zapamćenih boja rastrirana FM rasterom f) Test slika zapamćenih boja rastrirana AM rasterom

Posle priprema slika i njihove rasterizacije, poređenje između AM i FM rastriranih slika obavljeno je u *MATLAB*-u, upotrebnom objektivne metrike *S-CIELab* komparativnom metodom. Merenjem razlike između rastrirane slike i originala, dobija se vrednost razlike. Preko ΔE vrednosti biće prikazane razlike kako AM tako i FM rastera u odnosu na originalnu sliku. Za date veličine FM rasterskih tačaka definišaće se njihova korelacija sa *S-CIELab* vrednostima i na taj način omogućiti poređenja sa bilo kojom AM linijaturom. Na taj način vrednosti *S-CIELab* povezaće linijaturu AM rastera sa veličinom rasterske tačke FM rastera.

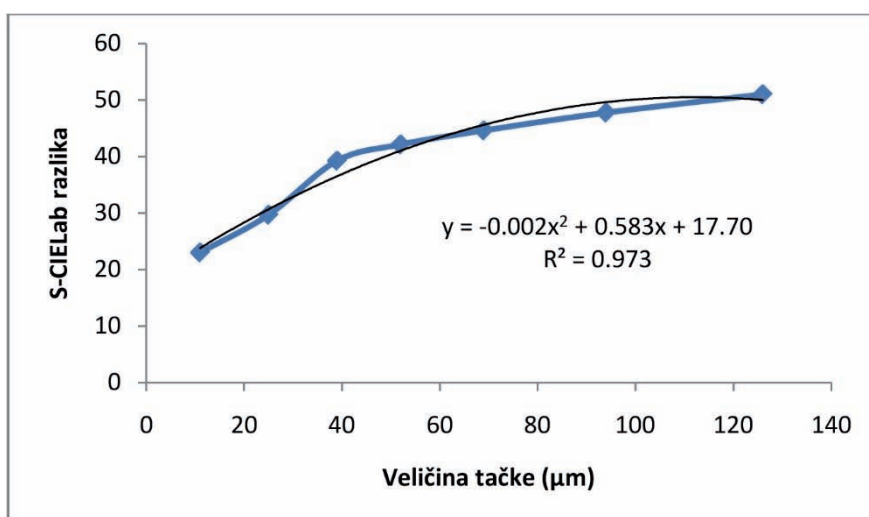
6.1.1.1 Rezultati

Prvo su izmerene *S-CIELab* vrednosti za AM raster za sve tri različite linijature. Nakon toga ista procedura je usledila i prilikom izračunavanja *S-CIELab* vrednosti za sve FM veličine. Korelacija

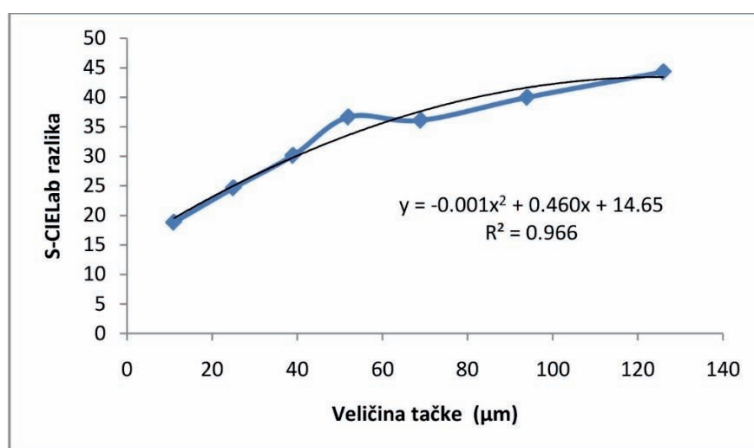
između FM veličine rasterske tačke i S-CIELab razlike za slike sa tri različita sadržaja predstavljene su na slici 6.1-6.3.



Slika 6.2 Korelacija FM i S-CIELab vrednosti za sliku zasićenih tonova



Slika 6.3 Korelacija FM i S-CIELab vrednosti za sliku boje ljudske kože



Slika 6.4 Korelacija FM i S-CIELab vrednosti za sliku pastelnih boja

Dati rezultati pokazuju zavisnost veličine tačke FM rastera i S-CIELab razlike. Kvadratna polinomna funkcija najbolje odgovara opisivanju zavisnosti ovih dveju veličina koje su analizirane. S-CIELab razlika je označena sa y , a x je veličina tačke FM rastriranja.

Funkcija koja definiše međuzavisnost definisanih veličina za sliku zasićenih tonova je:

$$y = -0,002x^2 + 0,547x + 17,72 \quad (49)$$

Koeficijent determinacije ove funkcije iznosi 0.986, što govori da se pomoću ove jednačine i jedne definisane veličine sa visokim stepenom sigurnosti može odrediti druga.

Za sliku tonova kože, funkcija ima oblik:

$$y = -0,002x^2 + 0,583x + 17,70 \quad (50)$$

sa koeficijentom determinacije 0,973.

Za sliku pastelnih i memorijskih boja dobijena je sledeća funkcija:

$$y = -0,001x^2 + 0,460x + 14,65 \quad (51)$$

sa koeficijentom determinacije 0,966.

Koeficijent determinacije za ove tri funkcije pokazuje da rezultati pokazuju veliku tačnost. Na osnovu vrednosti jedne veličine sa sigurnošću možemo da predvidimo drugu, što je predstavljalo osnovu za sledeći korak eksperimentalnog dela. Na osnovu S-CIELAB razlike odgovarajućeg oblika tačke AM rastriranja (i odgovarajuće linijature) određena je veličina tačke FM rastriranja.

Određivanje veze AM i FM rastera predstavljen je tabelama 6.1 -6.3. Na osnovu tabelarnog prikaza može se videti veličina tačke FM rastriranja koja odgovara obliku i linijaturi kod AM rastera. Dobijene veličine tački su zaokružene na ceo broj, zbog praktične primene navedenih rezultata.

Većina softverskih RIP-ova ne omogućava izbor tačnih veličina tačke, već se one biraju na osnovu podešene rezolucije osvetljavanja. Poslednja kolona u tabelama predstavlja najpribližniju veličinu koja odgovara dobijenim, a koja se može birati u programu *StudioRip*, koji je korišćen u daljem toku eksperimenta.

Rezultati za sliku sa zasićenim tonovima predstavljani su u tabeli 6.1.

Tabela 6.1 Najpribližnije vrednosti AM i FM rastera za sliku sa zasićenim tonovima

Linijatura AM rastera	AM S-CIELab vrednosti	FM veličina tačke u mikronima
65	50,90	90,81
150	42,64	57,75
250	36,1	39,2

Iz tabele 6.1 može se videti da se povećanjem linijature AM rastera smanjuje S-CIELab razlika i samim tim u skladu sa korelacijom izračunava potrebna veličina FM rasterske tačke kako bi se postigla ista S-CIELab vrednost.

Rezultati za sliku tonova kože predstavljani su u tabeli 6.2.

Tabela 6.2 Najpribližnije vrednosti AM i FM rastera za sliku tonova kože

Linijatura AM rastera	AM S-CIELab vrednosti	FM veličina tačke u mikronima
65	49,43	72,41
150	41,78	49,82
250	37,05	39,2

Kao što je prikazano u tabeli 6.2 S-CIELab vrednosti takođe opadaju sa povećanjem linijature rastera. Upoređujući dobijene vrednosti sa vrednostima dobijenim kod slika sa zasićenim tonovima, može se videti da 65 linijskom rasteru odgovara veličina FM tačke od 72,41 μm umesto 90,81 μm . Ovaj nalaz zahteva dalja istraživanja kako bi se utvrdio razlog promene veličine rasterske tačke, tj. način na koji sadržaj slike i količina detalja na njoj utiču na promene u S-CIELab vrednostima.

Rezultati za sliku pastelnih tonova predstavljani su u tabeli 6.3.

Tabela 6.3 Najpribližnije vrednosti AM i FM rastera za sliku pastelnih tonova

Linijatura AM rastera	AM S-CIELab vrednosti	FM veličina tačke u mikronima
65	48,93	93,54
150	39,24	61,74
250	32,63	43,13

U tabeli 6.3 se može primetiti isti trend, sa blagim odstupanjima. Odgovarajući FM raster za linijaturu od 65 lpi AM rasterske strukture jeste 94 mikronski FM raster. Za 150 lpi, po vrednostima S-CIELab razlike to je 62 μm dok linijatura rastera od 250 lpi odgovara FM rasteru od čak 43,13 μm .

Na osnovu dobijenih rezultata, upotrebom S-CIELab metrike u MATLAB i standarda za štampu koji se najčešće primenjuju u proizvodnji, mogu se izvesti određeni zaključci. ISO standard se zasniva na linijaturi rastera od 150 lpi. Vidljivost rastera na ovoj linijaturi je bila predmet istraživačkog rada u 3 poglavlju ove disertacije. U skladu sa tim istraživanjima, po razlici definisanoj preko S-CIELab metrike, veličina rasterske tačke kod FM sistema rastriranja bi trebala da bude od 50–60 μm . Ako se u obzir uzme da su srednje veličine FM rasterske tačke, prisutne u privredi oko 20 μm , jasno je da upotreba FM rastera može značajno smanjiti razliku između rastrirane reprodukcije i originala.

6.1.2 Porast raster tonskih vrednosti na otisku reprodukovanim FM rasterizacijom

Porast rasterske tačke teorijski je obrađen i analiziran u poglavlju 3.2 ovog rada. Nakon teorijskog istraživanja pristupilo se izradi eksperimenta koji će omogućiti preciznije utvrđivanje uticajnih parametara i mogućnost njihove kompenzacije.

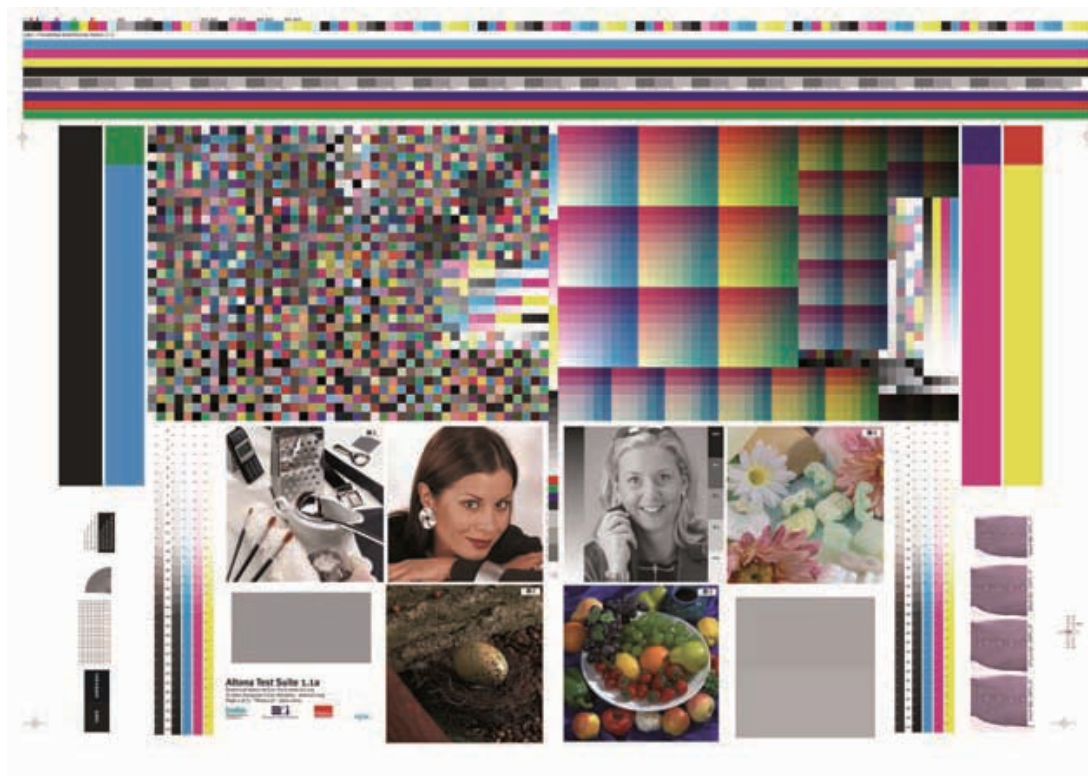
Montaža je urađena na B2 štamparskom tabaku. Test forma izrađena je od elemenata Altona Test Suite 1.1a (*measure i visual*), Grid kontrolne merne trake, ECI/bvdm *Gray Control Strip* – Fogra 43 preporučenih od strane ECI (*European Color Initiative*), bvdm, Fogra i Ugra institucija (Slika 6.5). Test forma na sebi sadrži određene elemente kontrole. Ti elementi se u toku štampe koriste kako bi se odredio kvalitet same štampe. Ovi elementi, bolje reći, kontrolna polja napravljena su tako da koriste kako subjektivne (vizuelne) tako i objektivne (merne) metode vrednovanja. Test forma se sastoji iz GRID – FTN merne kontrolne trake 1.1 na kojoj se mogu analizirati reprodukcija tona, reprodukcija optičke gustine i oštine crteža. Ova merna kontrolna traka omogućava vizuelnu i denzitometrijsku kontrolu sledećih faktora:

- kopiranje štamparske forme,
- intenzitet boje,
- ravnotežu boja,
- nanos boje,
- udvajanje i pomeranje,
- porast rasterske tačke.

Rasterska polja sa 40 % i 80 % pokrivenosti površine služe za vizuelnu, a pre svega denzitometrijsku kontrolu rasterske tačke. Pomoću ovih mernih polja, uz korišćenje polja punog tona, može se utvrditi koliko je povećanje rasterske tačke u toku procesa štampe, odnosno da li se to povećanje kreće u dozvoljenim granicama.

Kod polja za sivi balans odnos RTV vrednosti tri boje CMY treba da je takav da kada se ove boje odštampaju jedna preko druge dobija se otisak sive boje. Eksperimentalno su određene RTV za

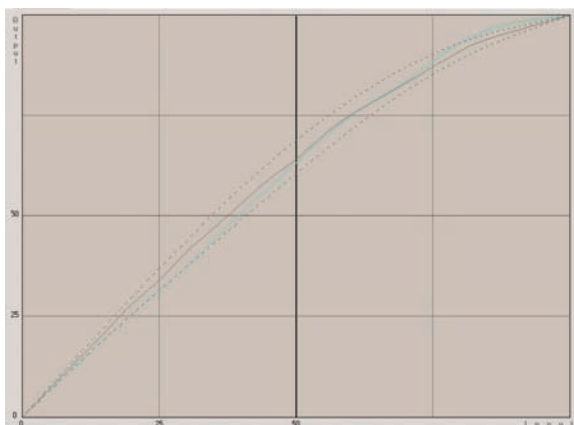
svaku od tri procesne boje (CMY) i to posebno za polje sa 40 %, a posebno za polje sa 80 % pokrivenosti površine. Ako u toku štampe polja za sivi balans nisu siva, to ukazuje da je došlo do promene ujednačenosti boja.



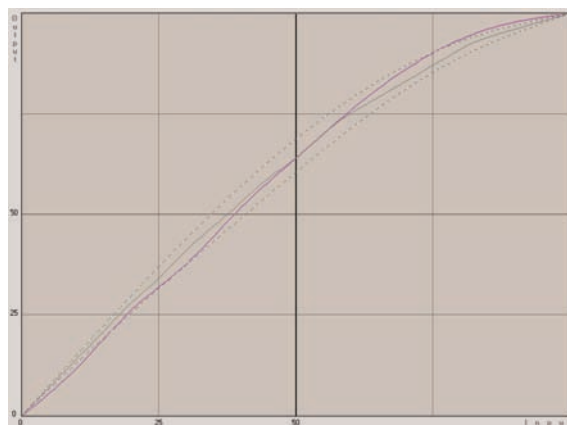
Slika 6.5 Test kontrolna merna traka korišćena u eksperimentu

Upoređivanjem vrednosti dobijenih prilikom merenja štamparske forme i vrednosti koje su ista polja imala na odštampanom uzorku, dobija se uvid u porast raster-tonskih vrednosti. Ukoliko su na određenim separacijama one veće ili manje od standardnih pristupa se podešavanju krive osvetljavanja na CTP uređaju i sam uređaj se kalibriše za željeni sistem. Nakon uspešne kalibracije raster-tonske vrednosti bi trebale biti doterane u granice propisane standardom.

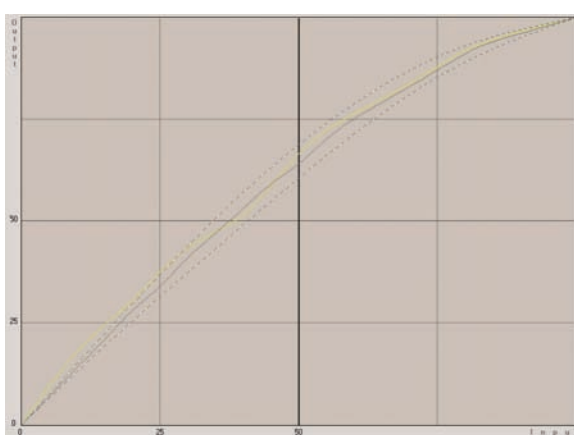
Prva merenja su bula fokusirana na definisanje krive gradacije. Negativna kriva gradacije koristi se prilikom podešavanja osvetljavanja ploče. Na grafiku se mogu videti četiri krive. Kriva u cijan boji je kriva rasterski vrednosti izmerena za cijan raster tonsku vrednost. Zatim, kriva koja se nalazi između dve isprekidane krive i iscrtana sivom bojom je kriva koju predlaže standard DIN/ISO 12647-2. Dve isprekidane krive su granične vrednosti standarda.



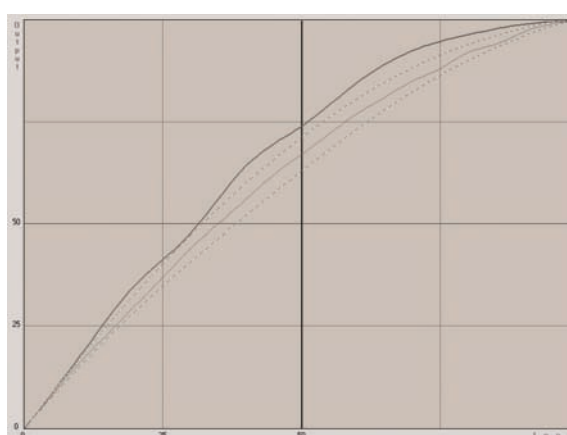
Slika 6.6 Kriva gradacije RTV za cijan



Slika 6.7 Kriva gradacije RTV za magentu



Slika 6.8 Kriva gradacije RTV za žutu



Slika 6.9 Kriva gradacije RTV za crnu

Kao što se može videti iz grafika, raster tonske vrednosti za cijan, magentu i žutu se nalaze unutar granica preporučenih standardom DIN/ISO 12647-2. Vrednosti sa crnu separaciju su nešto veće od standardnih.

Analizom dobijenih grafika može se zaključiti da porast rasterske tačke za cijan prelazi standardne vrednosti u tamnijim partijama (na 80 % pokrivenosti) i da je u tamnijim partijama došlo do zapušavanja rastera.

Isto se može zaključiti i za magentu, s tim da je magenta pokazala manji porast rasterskih vrednosti pri manjoj pokrivenosti, tj. u svetlijim partijama (do 15 % pokrivenosti).

Žuta boja, takođe, ima veći porast u svetlijim tonovima (do 25 %), ali njen porast u tamnijim partijama ne prelazi standardne vrednosti.

Crna je pokazala najlošije rezultate jer je njen porast rasterske tačke veći duž cele krive, tj. na svim rastertonskim vrednostima izlazi van standarda.

Rezultati su naime vrlo zadovoljavajući jer je poznato da FM raster zbog svoje male rasterske tačke ima neizbežno veći porast rasterske tačke.

Elementi za vizuelnu kontrolu su takođe analizirani. Kontrolna traka za sivi balans pokazuje određeno odstupanje. Polja sa hromatičnom sivom su tamnija i razlikuju se od polja sa sivom, što potvrđuje merne rezultate o van standardnom porastu rasterske tačke.

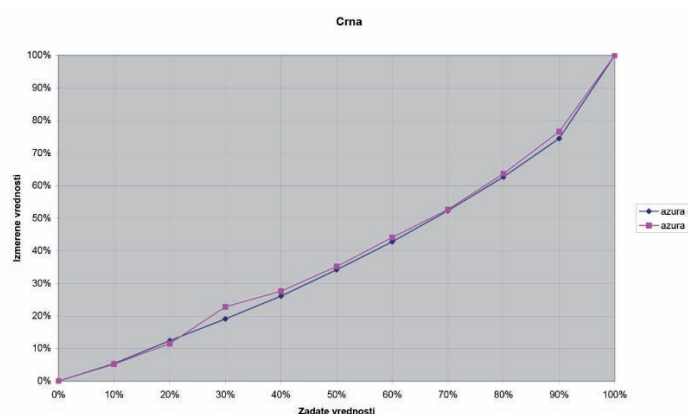
Fotografije koje se nalaze na test formi nisu pokazale ni jedan nedostatak. Oštrina fotografija je na zavidnom nivou. Neutralne boje, kao što je srebrna, su veoma dobro prikazane. Kod fotografija sa portretom nije došlo do promene boje kože, niti se mogu uočiti nepravilnosti prouzrokovane tipom rastera.

Vizuelna kontrola dovodi do zaključka da su standardi prilično rigorozni u pogledu izmerenih i dobijenih vrednosti. Iako su merenja prikazala određena odstupanja vizuelnom kontrolom potvrdile su se pozitivne strane FM rastera. Detalji na slikama su oštri. Oko ne može da primeti raster jer ne postoji pravilna mreža, raspodela koje oko vrlo lako prepoznaje, kao što je slučaj kod AM rastera.

Na osnovu dobijenih rezultata preporučuje se ponovno podešavanje CTP uređaja kao i poboljšanje uslova štampe u vidu novih ofsetnih guma kako bi tačka trpela što manje deformacije prilikom prenosa.

Rezultati analize prosleđeni su u CTP studio, gde je na osnovu dobijenih podataka izvršena korekcija krive osvetljavanja, kako bi se ona prilagodila uslovima štampe u GRID laboratoriji. Nakon izrade ploča one su poslate na analizu i dobijeni su sledeći rezultati. Merenje je izvršeno sa SpectroPlate-om, kao i u prvom slučaju.

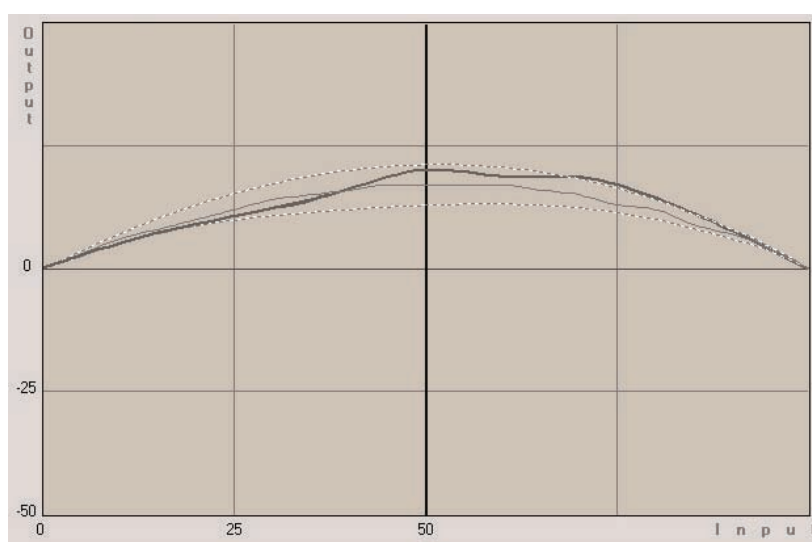
Takođe je zanimljivo prikazati odnose između rasterskih vrednosti na štamparskoj formi pre podešavanja i rasterske vrednosti posle korekcije. Na grafikonu su prikazane dve krive. Azura predstavlja rasterske vrednosti na ploči pre podešavanja, a Azura I predstavlja rasterske vrednosti na korigovanim štamparskim formama. Ovakvo poređenje prikazano je za crnu separaciju, tako da se mogu pratiti promene na ploči prilikom korekcije, a zatim i kako će te korekcije uticati na proces štampe.



Slika 6.10 Poređenje rasterskih vrednosti pre i posle korekcije crne separacije

Iz grafika na slici 6.10 jasno se mogu videti rezultati podešavanja CTP uređaja prema podacima dobijenim iz merenja i analize. Za crnu separaciju može se primetiti da je korekcija bila potrebna u predelu srednjih i većih rasterskih vrednosti (60 – 90 %) gde su prilikom korekcije spuštene vrednosti. Ovakva korekcija omogućava smanjenje porasta rasterske tačke u korigovanim vrednostima i omogućava štampanje bez zapušavanja rastera u tamnijim tonovima. Ovakve korekcije će, pored smanjenja porasta rasterske tačke, omogućiti povećanje nanosa boje u toku štampe, bez nekontrolisanog porasta rasterske tačke.

Odštampani tabaci su ponovo podvrgnuti analizi i merenju. Ustanovilo se da je promena vrednosti za osvetljavanje kod crne separacije pozitivno uticala na porast rasterske tačke, u smislu da je sada taj porast spušten i nalazi se u okviru granica propisanim ISO (slika 6.11).



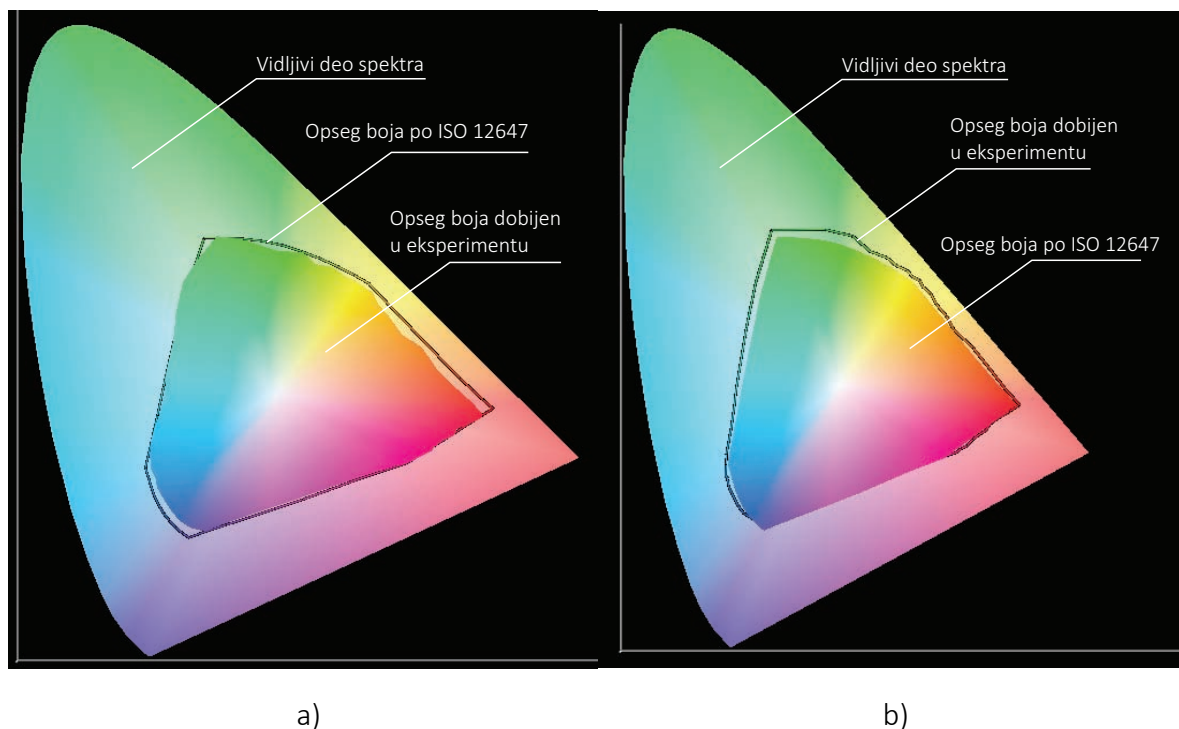
Slika 6.11 Kriva porasta rasterskih vrednosti nakon korekcije

Nakon završenog eksperimenta rezultati su pokazali da je moguća kontrola raster tonskih vrednosti uz pomoć kalibracije CTP uređaja kako bi se dobila željena kriva porasta rasterskih tačaka kod FM rastriranja.

Dalji tok eksperimenta fokusiran je na opseg boje koja može da se postigne uz pomoć FM rastera i da li je ona usled procesa štampe povećana u odnosu na AM raster.

6.1.3 Opseg boja koji se može postići FM rastriranjem

Uz pomoć softvera i uređaja iz prethodnog eksperimenta urađena je analiza opsega boja pre i posle kalibracije CTP uređaja. Kao što se moglo i pretpostaviti prekomerno povećanje raster tonskih vrednosti smanjilo je opseg boja koji se može dobiti u ofset tehnici, a koji je takođe definisan ISO standardom (slika 6.12).



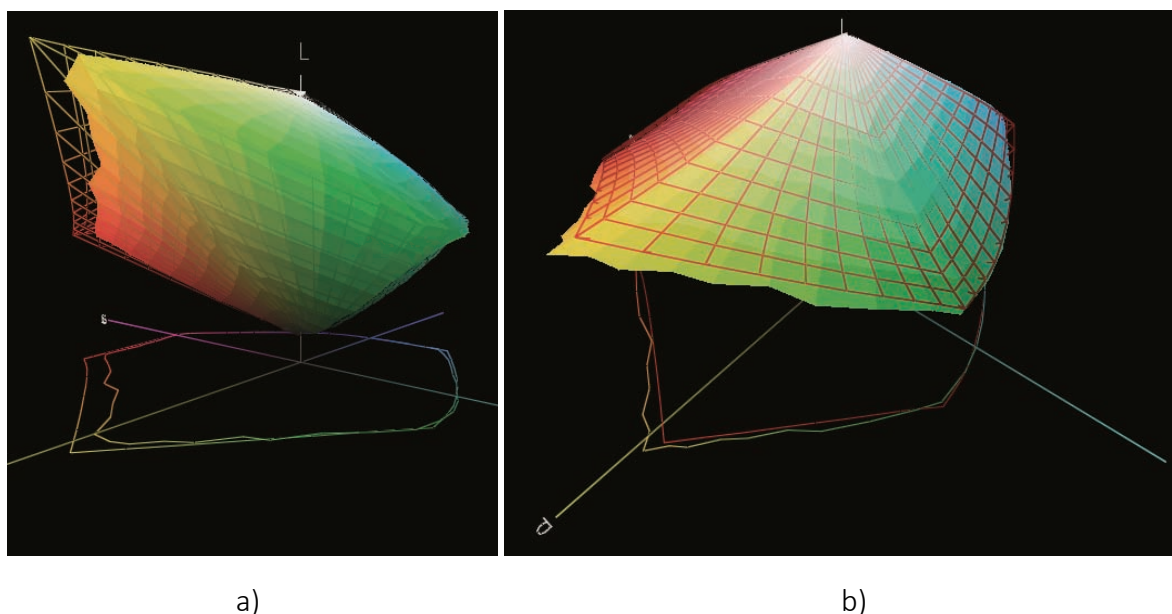
Slika 6.12 Poređenje opsega boja štampe sa standardnim opsegom unutar Lab prostora
a) pre kalibracije i b) nakon korekcije

Da bi se odredila boja, odnosno da bi se ona klasifikovala, moraju se poznavati njene karakteristike. Merenjem boja dobijaju se parametri na osnovu kojih se određuju psihofizičke karakteristike boja. Ove karakteristike su subjektivne i zavise od posmatrača i uslova posmatranja. Ipak Međunarodna komisija za osvetljenje (CIE ili *Commission Internationale de l'Eclairage*) je napravila internacionalne preporuke za fotometriju i kolorimetriju kako bi standardizovala ovu oblast. Vrednosti dobijene u eksperimentu poređene su sa vrednostima propisane standardom.

Na slici 6.12 a se mogu primetiti tri površine. Prva i najveća površina je, svakako, vidljivi deo spektra. Unutar vidljivog dela spektra nalazi se šestougao, koji prikazuje maksimalni opseg boja koji se može dobiti u četvorobojnoj ofsetnoj štampi po standardu ISO12647 za stohastički raster od 20 μm . Ovaj šestougao prikazan je okvirnom linijom. Unutar njega se nalazi opseg koji je dobijen u eksperimentalnom delu. Kao što može da se vidi na grafikonu, najzasićeniji tonovi cijana i magente nisu reprodukovani na test otisku.

Korekcije koje su primenjene u okviru kalibracije porasta rasterske tačke pozitivno su se odrazile i na opseg boje. Smanjeni porast rasterskih vrednosti omogućio je povećanje nijansi koje se dobijaju reprodukcijom. Upoređenju sa fognim profilom za neperiodični raster, Fogra 43, može se uočiti proširenje opsega. Ovo povećanje se nalazi upravo na mestu gde se posle analize, prve test štampe, mogao uočiti gubitak u reprodukovanom opsegu. Oba opsega (fogra 43 i gridFM) prikazani su u CIELab prostoru boja.

Na slici se, unutar Lab spektra, mogu primetiti dve površine. Prva površina prikazana uokvirenom linijom predstavlja opseg boje eksperimentalne štampe posle korekcija. Popunjena površina predstavlja Fogra 43 opseg boja. Vidi se da se Fogra 43 opseg nalazi unutar opsega boja dobijene u eksperimentu. To potvrđuje i 2D model prikaza međusobnog odnosa ova dva opsega (slika 6.12 b). Na trodimenzionalnoj projekciji (Slika 6.13 b) jasno se vidi kako u predelu žute boje opseg dobijen u eksperimentu prevazilazi standardni model.



Slika 6.13 Prostorna projekcija opsega Fogra 43 i tekst otiska a) pre i b) posle kalibracije

Na slici 6.13 b je prikazan žičani model Fogra 43 opsega boja i model opsega boja test štampe, koji je ispunjen bojom. Slika prikazuje deo spektra od zelene boje, preko žute pa do crvene koji izlazi izvan opsega Fogra 43. Razlog većeg opsega može se tražiti kako u dobro podešenim uslovima štampe tako i u podlozi koja je korišćena za štampu. Veća refleksija podloge daće i širi spektar svetlosti koji se od nje odbija. S obzirom da je standard isti kao za sjajne tako i za mat papire može se pretpostaviti da će sjajni papiri dati veći opseg od matiranih.

6.1.4 Zaključak objektivnih rezultata eksperimenta

Rezultati eksperimenta idu u prilog tvrdnji hipoteze da je moguće kreirati model po kojem će se kontrolisati parametri rasterizacije i njihov uticaj na otisak kao stimulus. Međutim sva ova instrumentalna merenja, moraju biti upotunjena subjektivnim metodama, kojima će se njihovi rezultati potvrditi uz pomoć posmatrača kojima su i namenjeni svi grafički proizvodi.

6.2. Subjektivno određivanje kvaliteta slike

Cilj ovog eksperimenta je utvrđivanje da li postoji realna potreba za unapređenjem tehnike rastriranja, tj. promenom tehnike rastriranja koja će se pozitivno odraziti na stimulus otiska. Vizuelno analizirajući odštampani otisak profesionalac će obratiti pažnju na mnoštvo detalja, pa i način na koji je formirana slika, tj. način rasterizacije. Kako štampani otisci nisu namenjeni isključivo profesionalcima, javlja se pitanje da li će ne profesionalci pronaći u različitim tipovima rasterizacije novi kvalitet. Eksperimentalnim ispitivanjem i statističkom analizom međusobnog odnosa odgovora profesionalaca i ne profesionalaca došlo se do rezultata kojima će se testirati postavljena hipoteza eksperimenta. Ukupno četiri različite slike, rastrirane na četiri različita načina, daće dovoljno podataka kako bi se mogli izvući konkretni zaključci. Svaka od četiri slike sadržala je jak ikonički sadržaj sa različitim elementima kako bi se prikazale sve prednosti kako AM tako i FM rastriranja.

Kako je pojam rastera nepoznat ne profesionalcima, prilikom kreiranja testova za ispitanike vodilo se računa o prilagođavanju pitanja na koja će odgovarati bez favorizovanja bilo koje tehnike. Poređenje između novih tehnika rastriranja i konvencionalnih počinje od same pojave FM rastriranja. Može se reći da je prva razlika već na samom početku usporila primenu FM rastera. Ona se svakako ogleda u kompleksnosti izračunavanja algoritama koji raspoređuju rasterske tačke po površini otiska. Kada je ta razlika prevaziđena upotrebom sve naprednijih računarskih sistema, ostale razlike su počele da se istražuju. U dosadašnjim naučnim istraživanjima su uočene i objektivnim metodama izmerene mnoge razlike između AM i FM rastera, u pogledu opsega boja, mogućnosti reprodukcije ujednačenih tonova i tonskih prelaza, kontrasta, oštine, vidljivog šablona i drugih karakteristika (Pinčjer, Nedeljković, Papić, 2012).

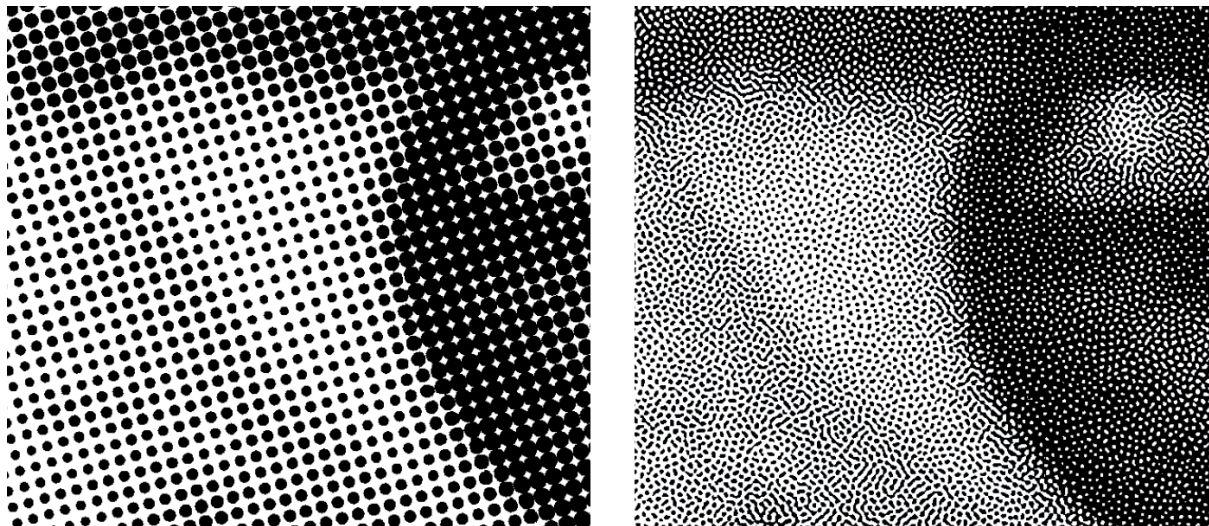
6.2.1 Metod ispitivanja

Ispitivanje je sprovedeno putem eksperimenta sa ispitanicima. Ispitanici su subjektivno procenjivali kvalitet reprodukcija pomoću test karti na kojima su odštampane četiri različite reprodukcije u četiri različita rastera. Ispitanici su bili podeljeni u dve grupe, profesionalci i ne profesionalci. Profesionalci imaju iskustva vezana za grafičke tehnike, kako teorijskog tako i praktičnog znanja, dok su ne profesionalci ispitanici koji nemaju teorijskog niti praktičnog znanja vezanog za grafičke tehnike i tehnologije.

Kako tačan odnos između veličina mikro tačke kod FM rastera i linijature kod AM rastera nije potpuno definisan. Na osnovu prethodnih istraživanja (Karlović et al. 2014) odabrane su linijature i veličine FM rasterske tačke koje su se koristile u eksperimentu.

U ispitivanju je korišćen jedan algoritam rastriranja za AM i jedan za FM (slika 6.14). Na taj način se smanjuje broj uticajnih parametara na reprodukciju, a sve varijable se na taj način održavaju konstantnima. Priprema reprodukcije je urađena tako da se broj varijabli u njihovoj izradi smanji na minimum tj. da jedine varijable budu različita rasterizacija reprodukcija. Na taj način svaka

uočena razlika, od strane ispitanika, neće biti posledica bilo koje od promenljivih nego isključivo posmatrane varijable, tj. promene rasterizacije. Nakon eksperimenta, statistički se utvrđuju frekvencije odabira profesionalaca i ne profesionalaca. Ukoliko ove dve grupe budu u korelaciji, može se zaključiti da odgovori po pitanju kvaliteta reprodukcije ne profesionalaca su uslovljeni stimulusom koji se postiže različitim tipom rasterizacije.



Slika 6.14 Algoritmi korišćeni u istraživanju

6.2.2 Dizajn eksperimenta

Svaki ispitanik posmatra po četiri različite rasterizacije za četiri različite reprodukcije i rangira ih (Cui 2000) u odnosu na, po uputstvu, dva parametra: *najmanje primetne zrnaste strukture* i *realističnosti reprodukcije*, te svoje odgovore unosi u upitnik.

Ispitivanje je sprovedeno uz pomoć četiri različita test tabaka: za svaku od četiri različitih (po sadržaju) slika je napravljen po jedan test sa različitim tipovima rasterizacije. Veličine slika su odabrane tako da simuliraju reprodukciju na ambalaži ili reprodukciju u magazinu. Dimenzije reprodukcije na test karti su bile iste, 88 x 62 mm. Dakle, na svakom test tabaku, se nalaze četiri slike istog sadržaja, istih dimenzija a različite po načinu rastriranja.

Slike su odabrane tako da se međusobno razlikuju u količini detalja, tonskih prelaza, i njihovoj kombinaciji, u skladu sa eksperimentima koji imaju zapažen rad u polju objektivne analize kvaliteta reprodukcije (Norberg & Andersson 2009; Engeldrum 2004; Engeldrum 2002). Odabrane su četiri slike prikazane na slici 6.15.

Odabrane slike (Slika 6.15) pogodne su za ocenjivanje istraživanih atributa kvaliteta, 1) devojka – prikaz ljudskog lica u krupnom planu, 2) kafa – veliki broj detalja, pozadina van fokusa, 3) tanjir – veliki broj veoma sitnih detalja, ujednačene boje, 4) automobil – prikaz prednjeg dela automobila, vrlo malo detalja, ujednačeni tonski prelazi.

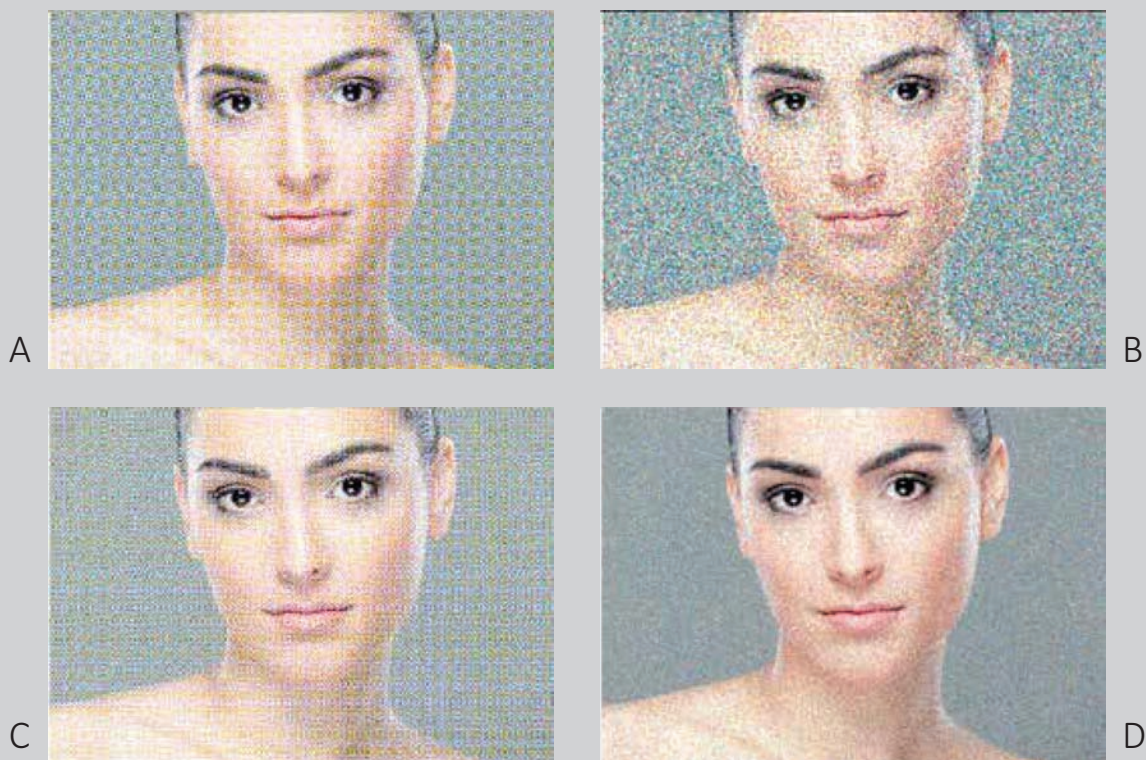


Slika 6.15 Slike korišćene u okviru eksperimenta: 1) slika devojka, 2) slika kafa, 3) slika tanjir, 4) slika automobil

Odštampane reprodukcije su postavljene na neutralnu sivu podlogu i tako prezentovane ispitanicima. Ispitanici su posmatrali 4 tabaka sa reprodukcijama, jednu po jednu, i ocenjivali ih prema uputstvima datim na početku eksperimenta. Kako bi se ujednačili uslovi ispitanici su posmatrali reprodukcije u kabini za posmatranje sa kontrolisanim uslovima. Testovi su posmatrani u kabini za posmatranje AGILE RADIANT Controlled Light5 firme Ihara, kako bi se omogućilo ujednačeno osvetljenje za sve ispitanike, koje simulira svetlo A (temperatura boje 2700 K). Udaljenost posmatranja (udaljenost uzorka – testova za posmatranje, od očiju posmatrača) je određeno na rang od 40 cm (što predstavlja normalnu udaljenost čitanja) (Pedersen, Bonnier, Hardeberg, & Albrechtsen, 2011).

Ispitanicima su date instrukcije o načinu ispitivanja, kao i o atributima koje se ispituju. U objašnjenjima se vodilo računa o strukturi ispitanika kako bi instrukcije bile jasne svima. Ispitanik u jednom trenutku posmatra jedan tabak sa četiri reprodukcije (Slika 6.16), istog sadržaja i istog formata, a različitih tipova rastera, i subjektivno procenjuje koja od četiri reprodukcije pokazuje najbolji kvalitet u pogledu zrnaste strukture i realističnosti reprodukcije, unoseći svoje odgovore u upitnik. Ispitanik analizira sve slike na jednom testu istovremeno i odabira sliku koja najviše odgovara zadatom kriterijumu.

1.1



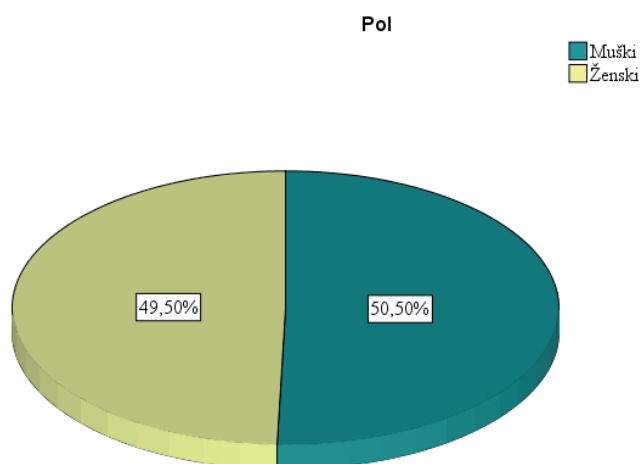
Slika 6.16 Jedan od test tabaka sa slikom rastriranom na četiri različita načina

Ispitanik u trenutku posmatranja reprodukcija nema informaciju o tome koja je razlika između posmatranih reprodukcija niti zna koji je raster korišćen za izradu koje reprodukcije. Svaki test je pripremljen sa različitim rasporedom rastera, tako da jedna vrsta rastera menja svoju poziciju na testu. Tako je isključena mogućnost da ispitanik uoči obrazac odgovora. Ispitanici su imali neograničeno vreme za posmatranje reprodukcija, odnosno procenu u skladu sa test pitanjima. Test je osmišljen tako da ne zahteva previše vremena kako bi ispitanici ocenili sve potrebne slike, kako bi se izbegao zamor ispitanika.

Ispitivanju je učestvovao 101 ispitanik, od toga 50 ženskih i 51 muški (tabela 6.4), prosečne starosti 24,7 godina (tabela 6.5), od kojih je 68 ispitanika imalo normalan vid dok je 33 imalo vid korigovan do normalnog (tabela 6.6).

Tabela 6.4 Pol ispitanika

		Frekvencija	Procenat
	Muški	51	50,5
	Ženski	50	49,5
	Ukupno	101	100,0



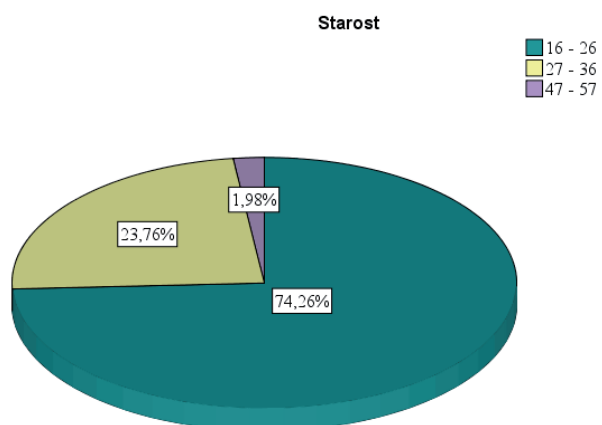
Slika 6.17 Dijagram strukture pola ispitanika

Tabela 6.5 Starost ispitanika

	N	Min	Max	M	SD
Godine	101	16,00	57,00	24,7723	5,58548

Tabela 6.6 Starosne granice ispitanika

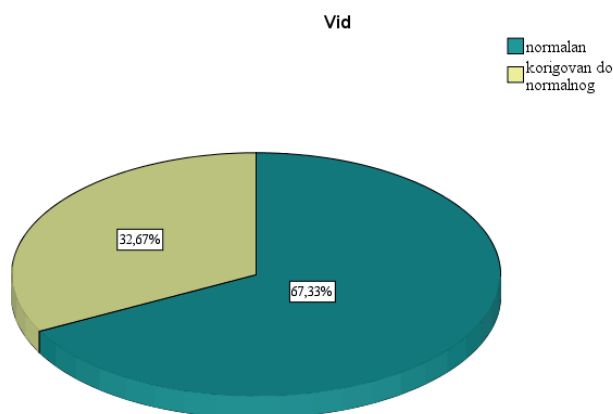
Godine	Frekvencija	Procent
16 - 26	75	74,3
27 - 36	24	23,8
47 - 57	2	2,0
Ukupno	101	100,0



Slika 6.18 Dijagram strukture starosti ispitanika

Tabela 6.7 Vid ispitanika

	Frekvencija	Procenat
normalan	68	67,3
korigovan do normalnog	33	32,7
Ukupno	101	100,0

*Slika 6.19* Dijagram strukture tipa vida ispitanika

Test reprodukcije su štampane na mašini za probni otisak Epson Stylus Pro 7800. Rezolucija izlaznog uređaja je podešena na 1.440 dpi, što je maksimalna rezolucija ovog uređaja za štampu i omogućuje štampu zahtevanih veličina rasterskih tačaka. Korišćeni profili boja su ISO Fogra 27 za AM rastera i ISO Fogra 47 za stohastički.

Štampi uzoraka, za potrebe testa, prethodila je kalibracija uređaja za probni otisak, kako bi se što bolje simulirala ofset štampa. Kalibracija izlaznog uređaja vršena je preko RIP-a preko kojeg će se rastrirane slike i reprodukovati

Kako bi sproveli istraživanje kreirane su četiri test karte, gde je na svakoj karti reprodukovana slika različitog ikoničkog sadržaja. Slike su birane tako da visokom ikoničnošću opisuju detalje različitog kvaliteta prirodne teksture. Jedna slika prikazuje se na jednoj test karti ali reprodukovana uz pomoć različitih algoritama za rastriranje: dva konvencionalna (150lpi i 175lpi) i dva stohastička (20μm i 40μm) (tabela 6.8). Ispitanici su zatim metodom rangiranja, ocenjivali posmatrane uzorke, na osnovu test pitanja koje im je postavljeno.

Tabela 6.8 Raspored tipova rastriranja po test uzorcima**1) DEVOJKA**

A	B	C	D
40 μ m	175lpi	20 μ m	150lpi

2) KAFA

A	B	C	D
150lpi	20 μ m	40 μ m	175lpi

3) TANJIR

A	B	C	D
175lpi	20 μ m	40 μ m	150lpi

4) AUTOMOBIL

A	B	C	D
175lpi	150lpi	20 μ m	40 μ m

6.2.3 Analiza podataka

Svrha ovog ispitivanja jeste utvrđivanje međusobnog vizuelnog odnosa i vizuelnog dejstva AM i FM rastera na dve grupe ispitanika, sačinjene od profesionalaca i ispitanika koji nisu imali profesionalnog dodira sa reprodukcijom.

Postoji statistički značajna razlika u odnosu na najmanje primetnu zrnastu strukturu i najrealističniju reprodukciju, s obzirom na oblast obrazovanja.

U traženju odgovora se poredi učestalost odabira za sve slike (četiri različite po sadržaju) i poredi se odgovori profesionalaca i ne profesionalaca.

Za obradu podataka korišćen je *hi kvadrat test nezavisnosti grupa* (χ^2) jer se radi o diskontinuiranim varijablama. Za svaki test, u zavisnosti od definisanog stepena slobode, postoji tablična granična vrednost za χ^2 . Na osnovu stepena slobode određuje se kritična vrednost za 0,05 (95%), sa kojom se upoređuje izračunata χ^2 vrednost.

Hi kvadrat test nezavisnosti se koristi kada je potrebno ispitati da li se frekvencije grupa, u ovom slučaju, profesionalaca i ne profesionalaca, razlikuju u svojim kombinacijama za zadati faktor. Za eksperiment je rađen hi kvadrat test nezavisnosti za dve grupe.

Kako bi se izveo hi kvadrat test nezavisnosti unose se zabeležene frekvencije koje odgovaraju relevantnoj grupi. Suma elemenata u redovima i kolonama se tada izračunava. Vrednosti su definisane tako da redovi predstavljaju dve grupe ispitanika dok su kolone promenljiva varijabla

različitih tehnika rasterizacije. Ove sume se nazivaju marginali. Hi kvadrat test nezavisnosti dalje ispituje da li frekvencije grupa odgovaraju frekvencijama koje se nalaze u marginalama.

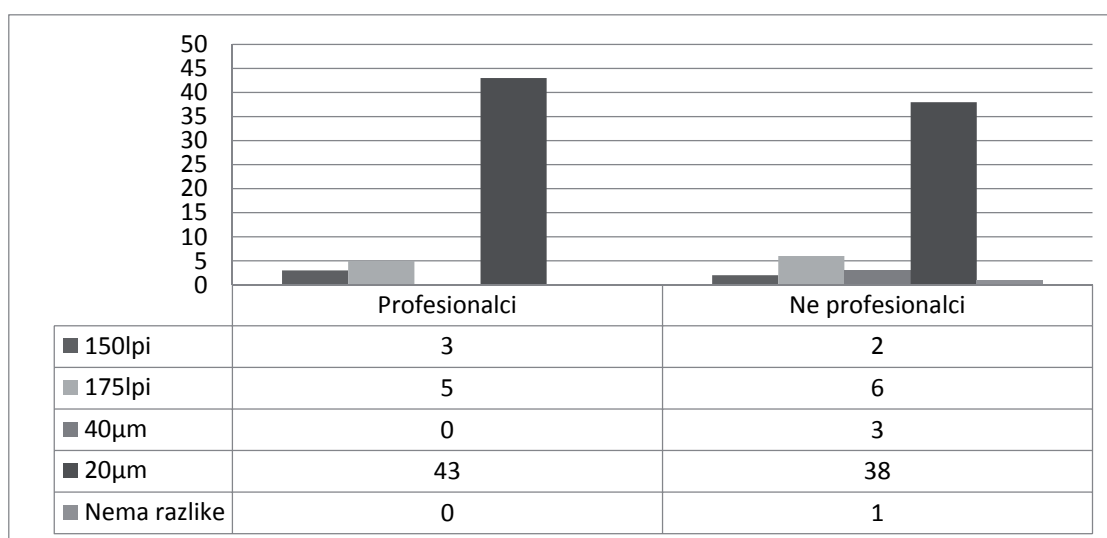
$$\chi^2 = \sum_i \sum_j \frac{(f_{ij} - f'_{ij})^2}{f'_{ij}} \quad (50)$$

Jednačina prikazuje sume za i uslova i j grupa, gde su O_{ij} zabeležene frekvencije a E_{ij} očekivane frekvencije.

6.2.4 Rezultati ispitivanja

6.2.4.1 Odgovori ispitanika po kriterijumu zrnasta struktura

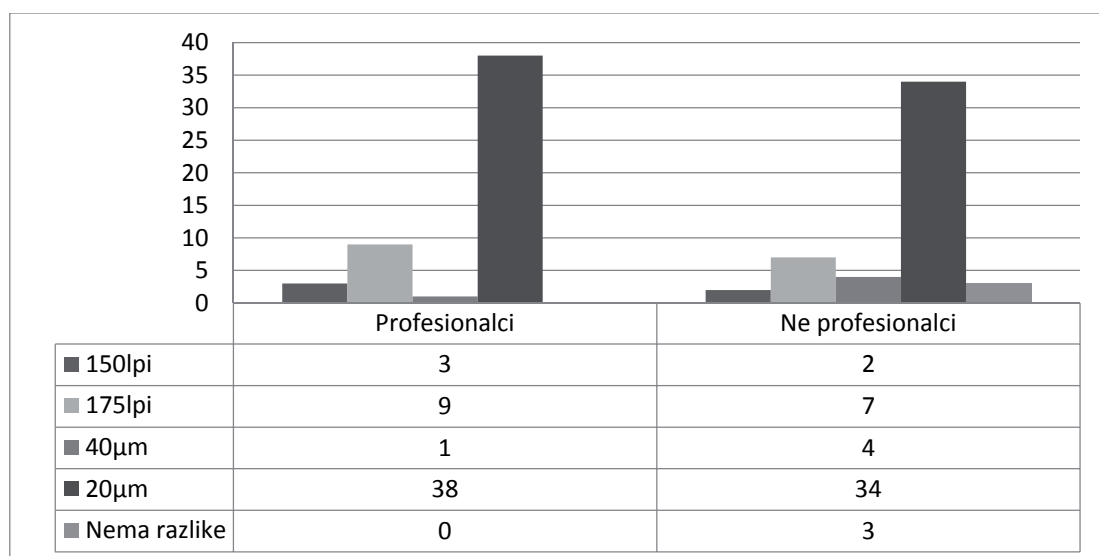
Na slici 6.20 su prikazani brojučano odgovori profesionalaca i ne profesionalaca za test tabak 1 – devojka. Iz ovog dijagrama se jasno vidi da su obe grupe ispitanika ubedljivo najčešće odabrale 20µm FM raster kao najkvalitetniji. Ispod svakog grafika ispisane su vrednosti hi kvadrata. Kako je broj stepeni slobode za svaki od ovih testova bio 4, može se zaključiti da ukoliko vrednost hi kvadrata bude manja od **9.488**, **ne postoji** statistički značajna razlika između odgovora profesionalaca i laika. Drugim rečima to što nemaju formalna znanja iz oblasti grafičkog inženjerstva i dizajna laike ne sprečava da na promenu kvaliteta rasterizacije reaguju identično kao i profesionalci. Ukoliko su vrednosti hi kvadrata veće od 9.488 za 4 stepena slobode, tada se može reći da postoji statistički značajna razlika u odgovorima laika i profesionalaca.



$\chi^2=4,59$, $df=4$, $p=0,332$

Slika 6.20 Odgovori ispitanika za sliku 1 Devojka po kriterijumu najmanje primetna zrnasta struktura

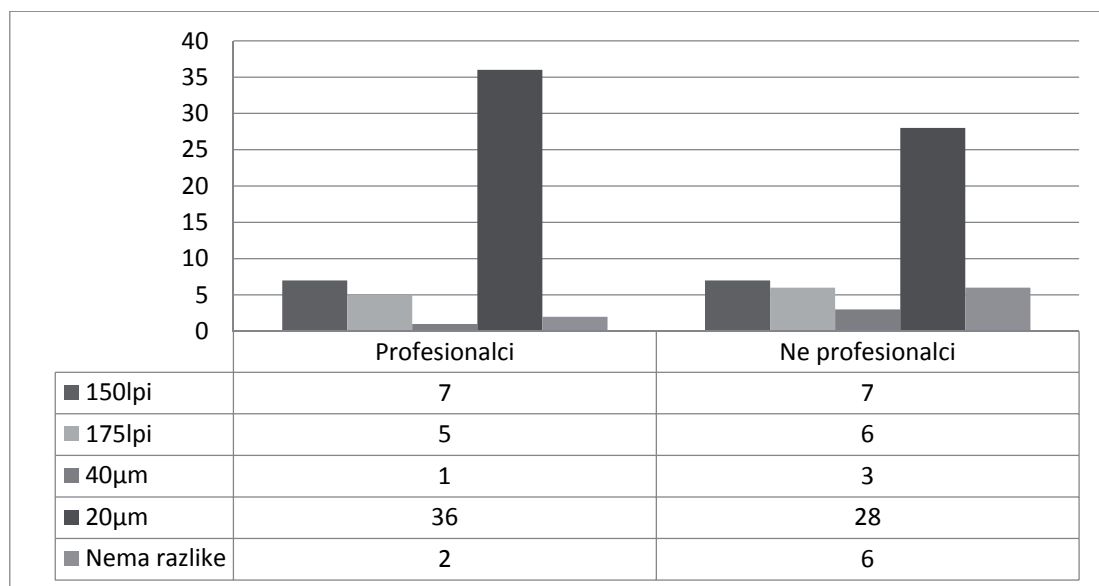
Na slici 6.21 su prikazani brojučano odgovori profesionalaca i ne profesionalaca za test tabak 2 - kafa. Iz ovog dijagrama se jasno vidi da su obe grupe ispitanika ubedljivo najčešće odabrale 20µm FM raster kao najkvalitetniji. Kao i na prvom testu hi kvadrat ne vidi statistički značajnu razliku u odgovorima dve grupe.



$$\chi^2=5,46, df=4, p=0,243$$

Slika 6.21 Odgovori ispitanika za sliku 2 Kafa po kriterijumu najmanje primetna zrnasta struktura

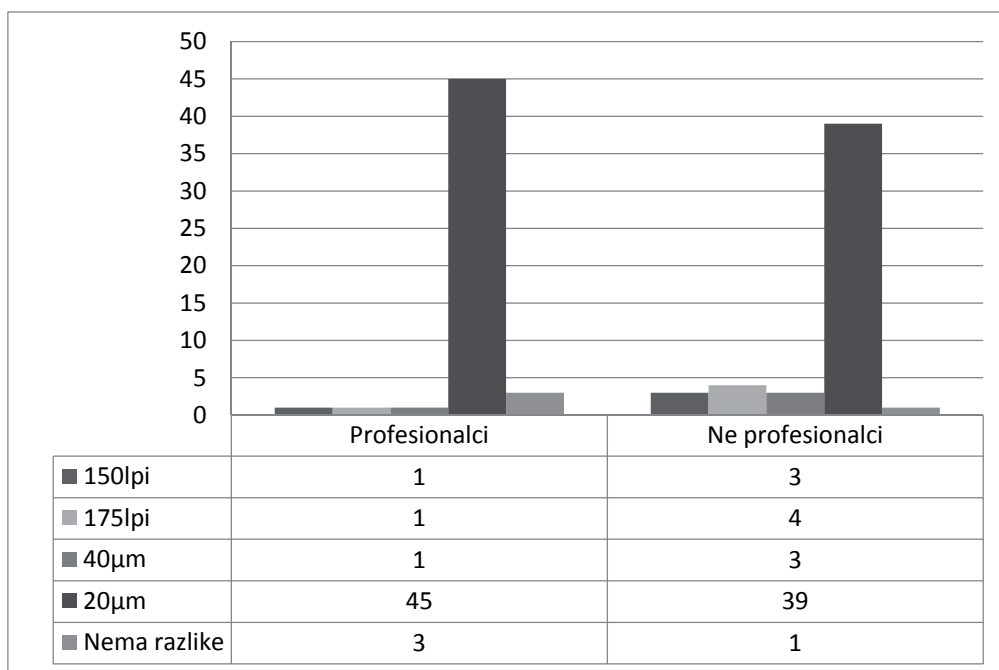
Na slici 6.22 su prikazani brožano odgovori profesionalaca i ne profesionalaca za test tabak 3 - tanjir. Iz ovog dijagrama se jasno vidi da su obe grupe ispitanika ubedljivo najčešće odabrale 20µm FM raster kao najkvalitetniji. Hi kvadrat test pokazuje da ne postoji statistički značajna razlika između odgovora dve grupe ispitanika.



$$\chi^2=4,08, df=4, p=0,395$$

Slika 6.22 Odgovori ispitanika za sliku 3 Tanjir po kriterijumu najmanje primetna zrnasta struktura

Na slici 6.23 su prikazani brojčano odgovori profesionalaca i ne profesionalaca za test tabak 4 - automobil. Iz ovog dijagrama se jasno vidi da su obe grupe ispitanika ubedljivo najčešće odabrale 20 µm FM raster kao najkvalitetniji. Hi kvadrat test pokazuje da ne postoji statistički značajna razlika između odgovora dve grupe ispitanika.



$$\chi^2=5,22, df=4, p=0,265$$

Slika 6.23 Odgovori ispitanika za sliku 4 Automobil po kriterijumu najmanje primetna zrnasta struktura

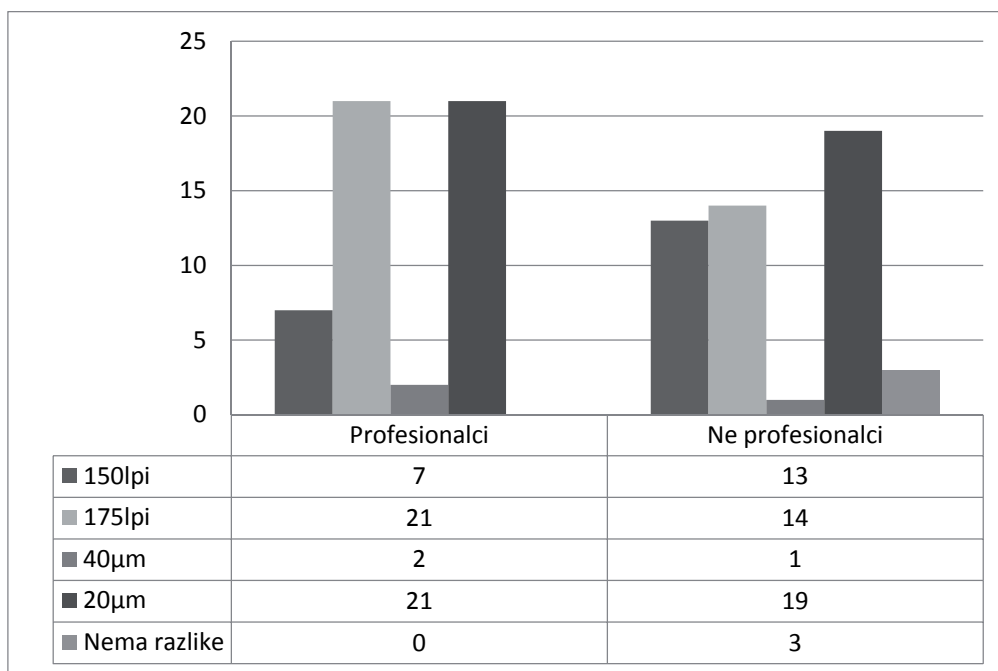
Analizom podataka za sve četiri slike je dokazano da ne postoji statistički značajna razlika između odgovora profesionalaca i ne profesionalaca, iz čega se može zaključiti da obe grupe slično (podjednako) percipiraju i doživljavaju FM raster - kao kvalitetniji. Dalje se iz rezultata može zaključiti da FM raster vizuelno ne prednjači samo istreniranom oku profesionalca, već da bilo koji posmatrač može vrlo lako da uoči njegove prednosti.

Zanimljivo je primetiti da su kod sve četiri slike, ispitanici (bez obzira na profesiju) najčešće birali 20 µm raster kao najkvalitetniji. Iz ovog podatka se može zaključiti da upravo pomenuti raster, bez obzira na oblast obrazovanja posmatrača i bez obzira na sadržaj posmatrane slike (količina detalja, kontrast, boje, tonski prelazi...), se ističe kao najkvalitetniji. Ovde se mora napomenuti da su iz procesa isključeni svi parametri koji se javljaju u ofset štampi a utiču na kvalitet reprodukcije, kako kod AM tako i kod FM rastera. U radu je prikazan odgovor ispitanika na kvalitet algoritama, veličinu rasterskih elemenata tj. zrnastost elemenata slike.

6.2.4.2 Odgovori ispitanika za kriterijum najrealističnija reprodukcija

Slika 1 Devojka

Na slici 6.34 je prikazan raspored odgovora ispitanika za kriterijum najrealističnija reprodukcija. Može se videti da na ovoj slici 20 μm FM raster gubi primat, međutim ono što se može videti da slici jeste da na isti način reaguju kako ne profesionalci tako i profesionalci. Hi kvadrat test ne pokazuje statistički značajnu razliku između odgovora dve grupe ispitanika.

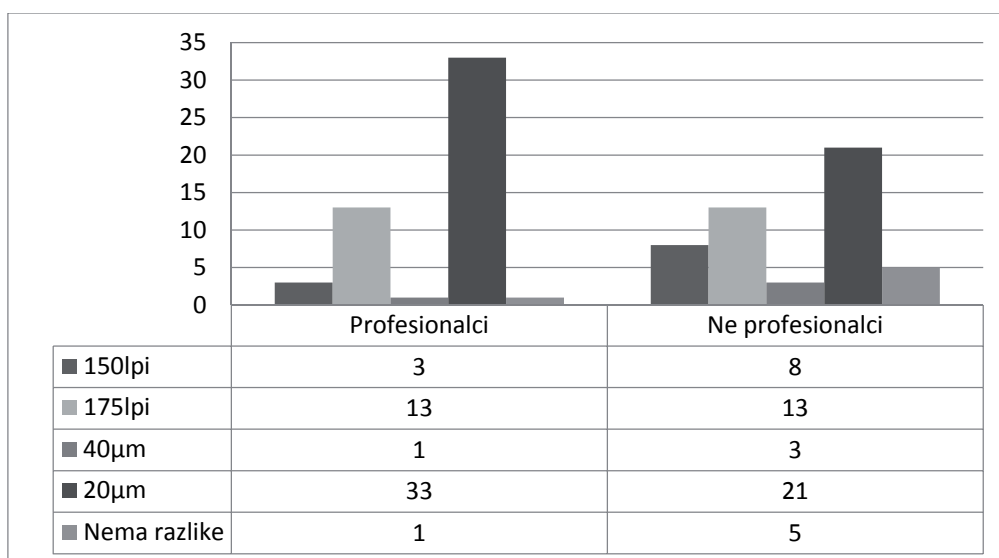


$\chi^2=6,62$, $df=4$, $p=0,157$

Slika 6.24 Odgovori ispitanika za test tabak 1 Devojka po kriterijumu najrealističnija reprodukcija

Slika 2 Kafa

Kod slike 6.25, uočeno je najveće razmimoilaženje kada su u pitanju grupe ispitanika profesionalci i ne profesionalci. Kao najrealističnija reprodukcija odabrana je ona sa 20 μm FM rasterom, a kao sledeća 175 lpi AM reprodukcija sa potpuno izjednačenim brojem odabira. Dok su se profesionalci u veoma malom broju odlučivali za ostale reprodukcije, kod ne profesionalaca je izraženija neodlučnost po pitanju ostalih reprodukcija, kao i po kriterijumu da ne mogu da primete razlike između reprodukcija sa različitim rasterizacijama po pitanju realističnosti otiska. Ova razlika odgovora može se videti i na hi kvadrat vrednosti koja je blizu granične vrednosti od 9,488, ali i dalje u okvirima bez statističke značajnosti. Kao i kod kriterijuma najmanje primetna zrnasta struktura, sadržaj ove slike korišćene u testu prikriva negativne karakteristike AM i FM rastera, ali i ne ističe pozitivne, tako da se u ovom slučaju može reći da sadržaj fotografije utiče na smanjenje percepcije različitih stimulusa proisteklih iz promene rasterizacije.

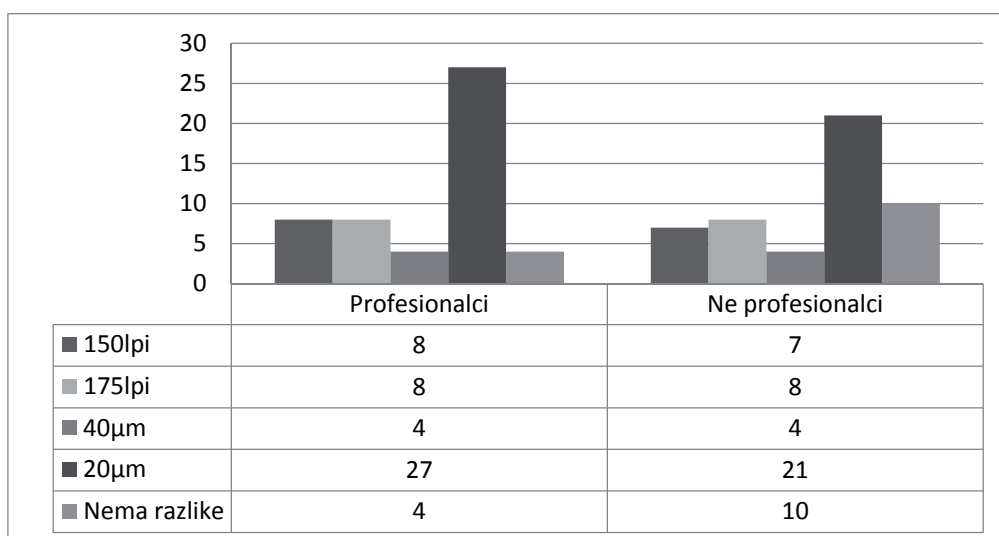


$$\chi^2=8,59, df=4, p=0,072$$

Slika 6.25 Odgovori ispitanika za sliku 2 Kafa po kriterijumu najrealističnija reprodukcija

Slika 3 Tanjir

Na slici 6.26 za kriterijum najrealističnije reprodukcije, jasno se vidi da ne postoji razlika između odgovora profesionalaca i ne profesionalaca. Hi vrednost je veoma mala, što govori u prilog ujednačenim odgovorima posmatrane dve grupe.

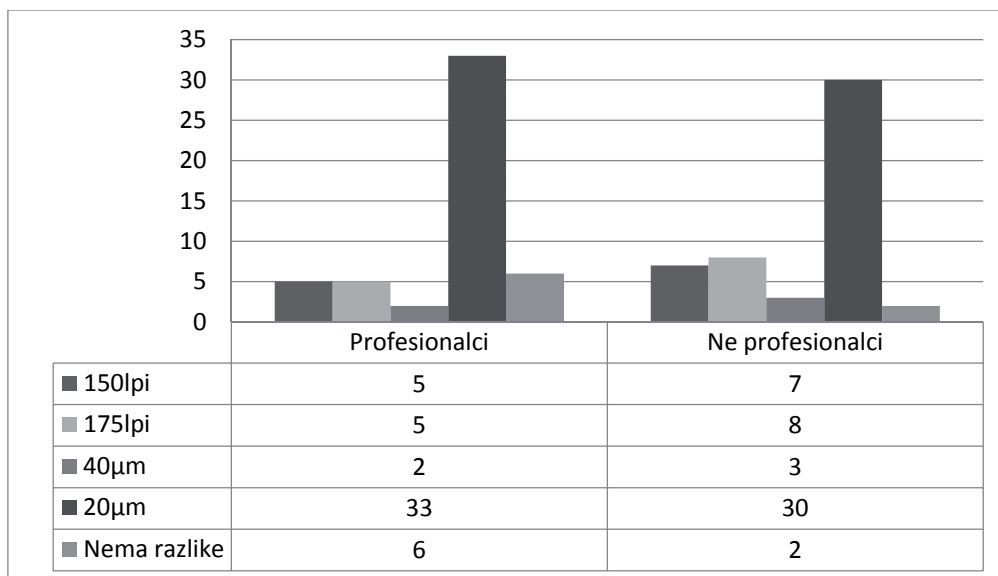


$$\chi^2=3,37, df=4, p=0,497$$

Slika 6.26 Odgovori ispitanika za sliku 3 Tanjir po kriterijumu najrealističnija reprodukcija

Slika 4 Automobil

Najmanja hi vrednost između odgovora profesionalaca i ne profesionalaca prikazana je na slici 6.27. Kod slika ovakvog sadržaja ne postoji razlika između odgovora dve posmatrane grupe.



$$\chi^2=3,35, df=4, p=0,500$$

Slika 6.27 Odgovori ispitanika za sliku 4 Automobil po kriterijumu najrealističnija reprodukcija

6.2.5 Zaključak analize ispitanika

FM raster je definitivno tehnika koju vredi dalje ispitivati, razvijati i u nju ulagati. Posmatrano iz sveta štamparstva, FM raster omogućava visoko kvalitetne otiske. Posmatrano iz sveta marketinga i oglašavanja, ta gotovo idealna reprodukcija stvarnosti jeste nešto čemu se definitivno teži, kako bi se proizvod (objekat oglašavanja) na najbolji način predstavio i približio posmatraču / potencijalnom korisniku.

Implementacija FM radnog toka podrazumeva određena ulaganja, savremene grafičke sisteme sa kontrolisanim i ponovljivim uslovima štampe. Upravo iz tih razloga štamparije često odustaju od pokušaja upoznavanja sa FM rastera, opravdavajući se nešto većim troškovima FM rastera u odnosu na AM. Međutim, ovo svakako predstavlja polje za dalja istraživanja i eventualni napredak i razvijanje FM rastera.

Upoređujući odgovore ispitanika koji rade ili studiraju u okviru grafičke industrije i onih koji ne rade ili studiraju u okviru grafičke industrije, može se zaključiti da ne postoji statistički značajna razlika u njihovim odgovorima. To znači da su obe grupe ispitanika ujednačeno birale odgovore, i u velikoj meri se odlučivale za 20 µm raster kao najkvalitetniji.

Iz navedenih analiza se može zaključiti da promenu stimulusa dobijenu promenom tehnike rasterizacije mogu prepoznati kako ljudi koji imaju veze sa grafičkom strukom, tako i oni koji nemaju profesionalnih dodira sa grafičkom industrijom i dizajnom. Kvalitet reprodukcija rastriranih 20 µm rasterom ispitanici uočavaju, bez obzira da li se radi o profesionalcima čije je oko istrenirano i naviknuto na posmatranje određenih parametara, ili o ne profesionalcima koji nemaju predznanja o rasteru.

6.3 Uticaj dimenzije otiska na percepciju rasterske strukture

Nakon eksperimenta u kojem je analiziran uticaj promene rasterske strukture na percepciju kvaliteta slike od strane profesionalaca i ne profesionalaca, i jasnih rezultata koji su tom prilikom dobijeni, istraživanje se nastavilo u pravcu određivanja parametara koji utiču na promenu kvaliteta određene rasterske strukture. U ovom poglavlju su prikazana istraživanja vezana za subjektivnu, psihofizičku metodu koja u eksperimentu utvrđuje koliki uticaj ima dimenzija posmatrane slike na percepciju realističnog prikaza i zrnaste strukture uz pregled eksperimentalnih rezultata dobijenih objektivnim metodama. Ova dva atributa kvaliteta, zrnasta struktura i realističnost reprodukcije, direktno zavise od načina rastriranja, a razumljivi su u subjektivnoj oceni ispitanika koji ne poznaju metode određivanja kvaliteta slike. U metodologiji istraživanja su korišćeni uzorci rastrirani sa dva različita tipa rastera frekventno modularni i amplitudno modularni, sa subjektivnom ocenom meritorne grupe ispitanika.

Analizom dosadašnjih naučnih istraživanja, uočene su i objektivno izmerene mnoge razlike između klasičnog amplitudno modularnog i stohastičkog FM rastriranja, u pogledu opsega boja, mogućnosti reprodukcije kako ujednačenih tonova tako i tonskih prelaza (Liu, Huang, Liu, Wu, & Xu, 2013), kontrasta, oštine, vidljivog šablona i drugih karakteristika (Dharavath, Bensen, & Gaddam, 2005; Karlović, Tomić, Jurić, & Pinčjer, 2014; Pinčjer, Nedeljković, & Draganov, 2014; Ulichney, 1999). Cilj ovog istraživanja je bio da pokaže koliko se ove objektivno izmerene razlike menjaju u zavisnosti od dimenzije slike. Studija se bazira na vizuelnom poređenju navedenih karakteristika rastera, u eksperimentu sa ispitanicima koji će dati svoju subjektivnu evaluaciju o pomenutim parametrima, s tom razlikom da će se prilikom subjektivnog ocenjivanja uvesti novi parametar, promena dimenzije reprodukcije.

6.3.1 Problem istraživanja

Na osnovu analize prisutnih istraživanja i uočenih problema u procesu reprodukcije originala postavljene su dve pretpostavke koje su dokazivane tokom istraživanja (P1 i P2) koje se ukratko obrazlažu:

P1: Percepcija atributa kvaliteta *zrnaste strukture, oštine i tonskih prelaza, pri subjektivnoj proceni, zavisi od načina rasterizacije slike.*

Razlike u mogućnostima AM i FM rastriranja mogu da se evidentiraju i kod diskretizacije slike kontinualnih tonova. Gubitak informacija rezultat je smanjivanja amplitude slike kontinualnih tonova na jednobitnu dubinu informacija. Jedini način da se očuva količina podataka jeste povećanje frekvencije podataka. FM raster svojom visokom frekvencijom omogućava očuvanje veće količine podataka, zadržavajući pri tome informacije koje doprinose većoj oštini slike i ujednačenim tonskim prelazima. Promenom dimenzija reprodukcije, tj. njenim povećavanjem smanjuje se količina informacija koja se gubi prilikom rasterizacije, tako da se može očekivati da na određenim dimenzijama ova prednost FM rastera bude umanjena, a time i promena percepcije kvaliteta kod ispitanika. Isto tako se može očekivati da će reprodukcija rastriranja sa

većom linijaturom, istog tipa rastera, dati bolje rezultate u oceni ispitanika, jer omogućava prikaz veće količine informacija.

P2: Percepcija atributa kvaliteta zrnaste strukture, oštine i tonskih prelaza, pri subjektivnoj proceni, zavisi od različitih dimenzija reprodukcija.

Odgovori na istraživačka pitanja se moraju tražiti putem subjektivne procena kvaliteta reprodukcije u eksperimentu sa ispitanicima. Prema atributima koji su definisani u epistemološkoj studiji Pedersen i sradnici (Pedersen i drugi, 2011), zrnasta struktura slike, tj. šum, oština (*sharpness*) i tonski prelazi (*smoothness*) spadaju u pet osnovnih atributa kvaliteta slike, pored boje i osvetljenja. Atributi *sharpness*, *smoothness* i *noise*, mogu poslužiti kao parametri za procenu kvaliteta reprodukcije između različitih tipova rastera i nalaze se u ispitivanim parametrima *najmanje primetna zrnasta struktura* i *najrealističnija* reprodukcija.

Pretpostavke su testirane pomoću procena ispitanika prema odabranim parametrima.

Prvi parametar vezan je za zrnastost (*graininess*) slike (Streckel i drugi, 2003). Zrnastost se na slici ogleda kao primetni nisko frekventni šablon periodične ili stohastičke strukture. U literaturi je naveden kao negativni uticaj na ukupni kvalitet slike (Engeldrum, 2002). Prilikom rasterizacije, tj. diskretizacije slike kontinualnih tonova, nepoželjni šabloni se neizbežno javljaju (Yu i Parker, 1997), te se njihova smanjena primetnost definiše kako atribut kvaliteta. Test pitanje najmanje primetne zrnaste strukture ispituje kvalitet rasterizacije po ovom pitanju.

Drugi parametar vezan za ocenu reprodukcije je realističnost (Halonen i drugi, 2011). Ispitivanje najrealističnije strukture, ima je za cilj odabir slike koja ispoljava najmanje negativnih parametara rasterizacije. Realističnost je atribut koji je veoma teško primeniti prilikom ocenjivanja svih slika, kao što je to potreba kod izrade metrike za ocenu slike, ali je u slučaju ograničenog broja reprodukcija, moguće ocenjivati ovaj atribut, u slučaju da se odaberu odgovarajuće test slike.

Pored načina rasterizacije, na percipirani kvalitet štampe utiču i drugi fizički parametri, kao što su vrsta podloge, tehnika štampe, boja i dr. (Mahovic i drugi 2005). U istraživanju su ispitivane reprodukovane fotografije rastrirane AM i FM rasterom, zadržavajući potpuno iste vrednosti parametara koji mogu uticati na kvalitet štampe. Zadržavajući parametre konstantnim usmeravamo pažnju na jednu promenljivu vrednost. Na taj način će se eventualne razlike u vizuelnom doživljaju ispitanika prilikom posmatranja reprodukcija odnositi isključivo na variranu promenljivu tj. dimenziju reprodukcije. Test reprodukcije su urađene u strogo kontrolisanim laboratorijskim uslovima, kako bi se svi parametri držali pod što većom kontrolom, psihofizičko ispitivanje je podrazumevalo standardne uslove izvođenja ispitivanja dok su rezultati obrađivani priznatim statističkim metodama za nezavisne kategoričke varijable.

Ispitivanja su vršena u laboratorijskim uslovima. Parametri štampe, posmatranja i ocenjivanja svih reprodukcija su bili isti. Jedina promenljiva je bila dimenzija reprodukcija koje su posmatrali ispitanici. Promena odabira odgovora ispitanika, na taj način zavisila je od faktora veličine reprodukcije.

6.3.2 Svrha istraživanja

U određenom broju radova istraživale su se promene udaljenosti od uzorka i uticaj udaljenosti na HVS kako bi se on ugradio u neke od priznatih metrika za određivanje kvaliteta slike (Itoua, i drugi, 2010). Cilj ovog istraživanja je da ukaže na jedan bitan parametar koji utiče na određivanje kvaliteta reprodukcije a koji do sada nije bio direktno istraživan. Pored toga, istraživanje ima i direktnu primenu u realnoj reprodukciji, kada su u pitanju smernice pri odabiru odgovarajućih tipova rastera.

U poglavlju 6.2 predstavljen je jedinstven eksperiment čije je istraživanje obuhvatilo ispitanike sa i bez znanja procesa reprodukcije. To je podrazumevalo kreiranje testa koji će biti razumljiv kako profesionalcima, tako i ne profesionalcima. Rezultati istraživanja koji su elaborirani u zasebnoj studiji su upoređivani i na osnovu analize može se zaključiti da je test dobro osmišljen jer se nije mogla naći statistički značajna razlika u odgovorima dobijenim od profesionalaca i ne profesionalaca (Pinčjer i drugi, 2014).

Rezultati proistekli iz ovog istraživanja mogu da pomognu u analizi opravdanosti investicija u implementaciju novih tehnika rastriranja sa jasnijim pogledom na opravdanost troškova u zavisnosti od potreba proizvodnje.

Dobijeni rezultati su ukazivali ka novim pravcima razvoja kvalitetnijih metrika za ocenu kvaliteta štampanih reprodukcija, visokih korelacija sa ispitanicima.

Reprodukcije su pripremljene tako da se mogu očekivati određena preferiranja od strane posmatrača, ka određenom tipu rastriranja. Promena preferencije na različitim test kartama treba da pokaže je da li promena veličine reprodukcije ima uticaja na promenu preferiranog tipa rastera.

Rezultati analize obrađeni su hi kvadrat statističkom analizom jer se u testu porede nezavisni atributivni neparametrijski podaci. Radi se o kvalitativnim podacima tj. frekvenciji odabira posmatranog parametra kvaliteta slike za određenu nezavisnu grupu, odnosno tip rastera. Ova vrsta statističke obrade će omogućiti da utvrdimo značajne statističke razlike između percepcije istog tipa rastera, na različitim dimenzijama test slika, kao i različitih tipova rastera na istim dimenzijama test uzoraka.

Nakon prikupljanja podataka kako bi se definisale tablice kontigencije (eng. *contingency table*) pristupa se analizi podataka koja govori o raspodeli ispitanika po njihovim percepcijama i ukazuje na preferiranje određenog tipa rastera u odnosu na dimenzije test uzorka. Ovakva

analiza pokazuje i na kojim dimenzijama uzoraka dolazi do promene u odabiranju slike po zadatim parametrima.

Izračunavanje hi kvadrat vrednosti je pogodno za poređenje više parametara jedan sa drugim a za svaki parametar se izračunava hi vrednost po formuli:

$$\chi^2 = \sum \frac{(f-f')^2}{f'} \quad (51)$$

Gde je f empirijska učestalost a f' teorijska učestalost.

Na osnovu ovog može se zaključiti da ukoliko dimenzije test uzoraka, tj. slika ne igraju nikakvu ulogu u oceni zadatih parametara, raspodela odgovora ispitanika će biti ista na sve tri test karte, bilo da je raspodela slučajna ili zavisna od rastera kojom je rastrirana reprodukcija. Tada se može postaviti nulta hipoteza da se neće javiti statistički značajna razlika između atributa kvaliteta, najmanje primetne zrnaste strukture i najrealističnije reprodukcije u zavisnosti od različitih dimenzija otiska, u skladu da zadatom hipotezom.

Pored ove hipoteze može se pratiti frekvencija odgovora na zadate parametre i njihova distribucija i prema različitim tipovima rastera (20 μ m FM, 175 lpi AM, 40 μ m FM i 150 lpi AM).

6.3.3 Rezultati istraživanja

Eksperiment se nastavlja na prethodni, opisan u prošlom poglavlju, gde su uređaji, uslovi i način ispitivanja ostali isti.

Svaki ispitanik posmatra trideset šest različitih reprodukcija, i rangira ih (Cui, 2000) u odnosu na, po uputstvu, dva parametra: *najmanje primetne zrnaste strukture* i *realističnosti reprodukcije*, te svoje odgovore unosi u upitnik.

Ispitivanje je sprovedeno uz pomoć dvanaest različitih testova: za svaku od četiri različitih (po sadržaju) slika je napravljen po jedan test za svaki od tri veličine slike. Veličine slika su odabrane tako da simuliraju reprodukciju na ambalaži ili reprodukciju u magazinu. Odabrane su tri dimenzije reprodukcije: 62x44 mm, 88x62 mm i 125x88 mm (slika 6.28). Dakle, na svakom od tri testa sa različitim dimenzijama reprodukcije, se nalaze četiri slike istog sadržaja, istih dimenzija a različite po načinu rastriranja (tabela 6.9).

Tabela 6.9 Raspored tipova rastriranja po test uzorcima

1) DEVOJKA

	A	B	C	D
1.1	175lpi	40 μ m	150lpi	20 μ m
1.2	40 μ m	175lpi	20 μ m	150lpi
1.3	150lpi	20 μ m	175lpi	40 μ m

2) KAFA

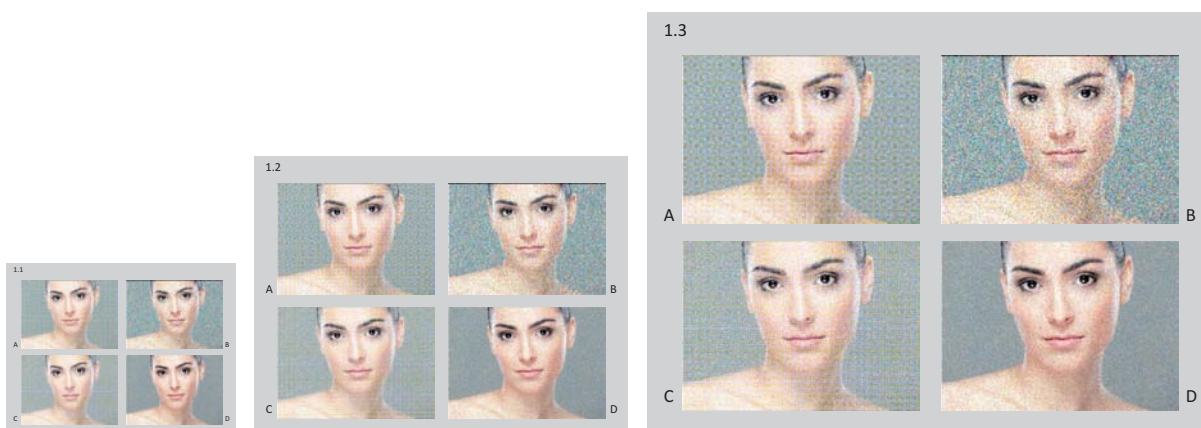
	A	B	C	D
2.1	150lpi	40 μ m	20 μ m	175lpi
2.2	150lpi	20 μ m	40 μ m	175lpi
2.3	175lpi	150lpi	40 μ m	20 μ m

3) TANJIR

	A	B	C	D
3.1	20 μ m	175lpi	40 μ m	150lpi
3.2	175lpi	20 μ m	40 μ m	150lpi
3.3	20 μ m	175lpi	40 μ m	150lpi

4) AUTOMOBIL

	A	B	C	D
4.1	20 μ m	150lpi	40 μ m	175lpi
4.2	175lpi	150lpi	20 μ m	40 μ m
4.3	150lpi	175lpi	40 μ m	20 μ m

*Slika 6.28 Tri test tabaka sa reprodukcijama različitih veličina*

6.3.4 Analiza rezultata

Za obradu podataka korišćen je hi kvadrat (*Chi-Squared*) test jer se radi o diskontinuiranim varijablama. Za svaku od prikazanih tabela postoji granična vrednost za određeni nivo slobode i statističku značajnost na nivou od 0.01 odnosno 0.05. Analizom rezultata je utvrđeno za koji slučaj u okviru hipoteze **P1** hi kvadrat (χ^2) prelazi graničnu vrednost, što implicira da postoji statistički značajna razlika za procenat učestalosti odabira određenog tipa rastera kod slika istog sadržaja. Treba napomenuti da Hi kvadrat ne pokazuje koja varijabla utiče na promenu odluke ispitanika, nego da li je distribucija odgovora slučajna ili ne. Iz tog razloga je bitno kontrolisati varijable, tj. varirati samo jedan parametar, u ovom slučaju način rasterizacije. Ukoliko se pokaže razlika između odgovora ispitanika može se zaključiti da je za to odgovorna različita percepcija rasterske strukture.

Prva pretpostavka P1 istražuje učestalost odabira odgovora za dva parametra, *najmanje primetna zrnasta struktura* i *najrealističnija reprodukcija*, za sve uzorke. Zatim se, u drugoj pretpostavci, te učestalosti porede među različitim veličinama reprodukcija. Ukoliko se ovde pokaže statistička značajnost može se odbaciti P0.

Prema **pretpostavci dva P2** upoređene su procene ispitanika za 4 slike različitog formata, a istog sadržaja tj. analizirane su razlike u procenama prema zadatim parametrima za *najmanje primetna zrnasta struktura* i *najrealističnija reprodukcija* između slika kako bismo utvrdili da li je uočavanje razlike između različitih tipova rastriranja zavisno o dimenzijama slike.

6.3.5 Ocena ispitivanja

Da bi uvideli koju od ponuđenih slika ispitanici ocenjuju da ima najmanju primetnu zrnastu strukturu, odnosno koju ocenjuju kao najrealističniju reprodukciju, urađena je deskriptivna statistička analiza za svaku sliku ponaosob.

Svaki otisak koji je na sebi sadržavao različite tipove rastera analiziran je hi kvadrat statističkom metodom. Na ovaj način se utvrđuje da li postoje parametri koji su uticali na odabir određene reprodukcije. Ukupno je dobijeno 24 hi kvadrat vrednosti, 12 za najmanje primetnu zrnastu strukturu i 12 za najrealističniju reprodukciju. Svaka od 24 vrednosti je bila iznad granične. U tabelama od 6.10 do 6.12 prikazani su rezultati ispitanika za sliku 1 devojka.

Tabela 6.10 Najmanje primetna zrnasta struktura za test reprodukciju 1.1

	Učestalost	Procenat %
A (20μm)	85	84.2
B (40μm)	3	3.0
C (150lpi)	2	2.0
D (175lpi)	9	8.9
Nema razlike	2	2.0
Total	101	100.0

$$\chi^2=261.52, df=4, p=0.000$$

Tabela 6.11 Najmanje primetna zrnasta struktura za test reprodukciju 1.2

	Učestalost	Procenat
A (20μm)	81	80.2
B (40μm)	3	3.0
C (150lpi)	5	5.0
D (175lpi)	11	10.9
Nema razlike	1	1.0
Total	101	100.0

$$\chi^2=231.52, df=4, p=0.000$$

Tabela 6.12 Najmanje primetna zrnasta struktura za test reprodukciju 1.3

	Frequency	Percent
A (20μm)	8	7,9
B (40μm)	2	2,0
C (150lpi)	24	23,8
D (175lpi)	67	66,3
Total	101	100,0

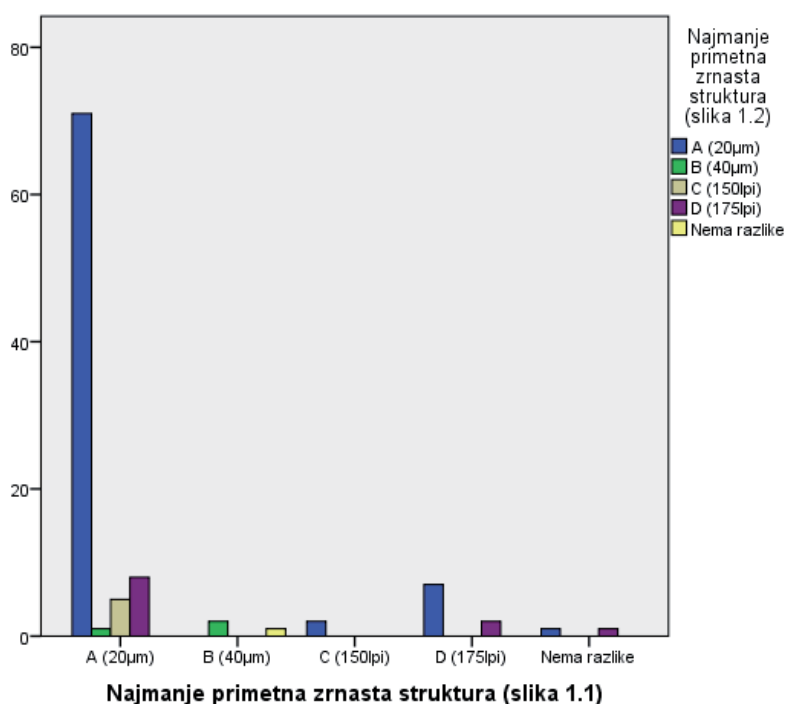
$$\chi^2=102,28, df=3, p=0,000$$

Nakon analize svakog test otiska pojedinačno, urađena je unakrsna provera (*Crosstabulation*) koja je uporedila vrednosti odabira za svaku od različitih veličina reprodukcija. Unakrsna provera pruža uvid u raspodelu odgovora za svaku od veličina reprodukcija (tabela 6.13), te se na njoj može pratiti promena odabira u zavisnosti od promene veličine reprodukcije.

Tabela 6.13 Test unakrsne provere reprodukcija 1.1 i 1.2 za parametar *najmanje primetna zrnasta struktura*

			Najmanje primetna zrnasta struktura (slika 1.2)					Total
			A (20μm)	B (40μm)	C (150lpi)	D (175lpi)	Nema razlike	
Najmanje primetna zrnasta struktura (slika 1.1)	A (20μm)	Ukupno	71	1	5	8	0	85
		%	83.5%	1.2%	5.9%	9.4%	0.0%	100.0%
	B (40μm)	Ukupno	0	2	0	0	1	3
		%	0.0%	66.7%	0.0%	0.0%	33.3%	100.0%
	C (150lpi)	Ukupno	2	0	0	0	0	2
		%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%
	D (175lpi)	Ukupno	7	0	0	2	0	9
		%	77.8%	0.0%	0.0%	22.2%	0.0%	100.0%
Nema razlike	Ukupno	1	0	0	1	0	2	
	%	50.0%	0.0%	0.0%	50.0%	0.0%	100.0%	
Total		Ukupno	81	3	5	11	1	101
		%	80.2%	3.0%	5.0%	10.9%	1.0%	100.0%

$\chi^2=83.33$, $df=16$, $p=0.000$

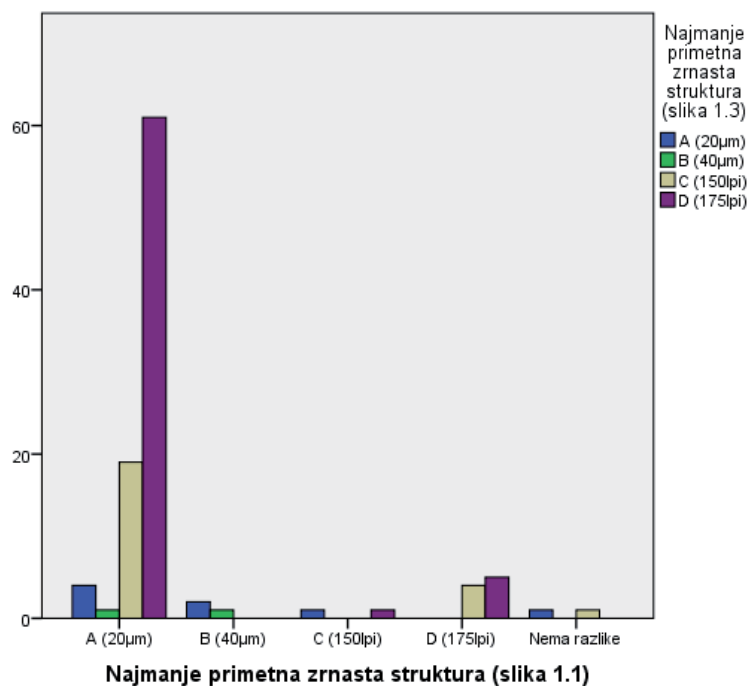


Slika 6.29 Prikaz unakrsne provere odabira rastera za sliku 1.1. i 1.2.

Tabela 6.14 Test unakrsne provere reprodukcija 1.1 i 1.3 za parametar *najmanje primetna zrnasta struktura*

			Najmanje primetna zrnasta struktura (slika 1.3)				Total
			A (20µm)	B (40µm)	C (150lpi)	D (175lpi)	
Najmanje primetna zrnasta struktura (slika 1.1)	A (20µm)	Ukupno	4	1	19	61	85
		%	4,7%	1,2%	22,4%	71,8%	100,0%
	B (40µm)	Ukupno	2	1	0	0	3
		%	66,7%	33,3%	0,0%	0,0%	100,0%
	C (150lpi)	Ukupno	1	0	0	1	2
		%	50,0%	0,0%	0,0%	50,0%	100,0%
	D (175lpi)	Ukupno	0	0	4	5	9
		%	0,0%	0,0%	44,4%	55,6%	100,0%
	Nema razlike	Ukupno	1	0	1	0	2
		%	50,0%	0,0%	50,0%	0,0%	100,0%
Total		Ukupno	8	2	24	67	101
		%	7,9%	2,0%	23,8%	66,3%	100,0%

$$\chi^2=46,65, df=12, p=0,000$$

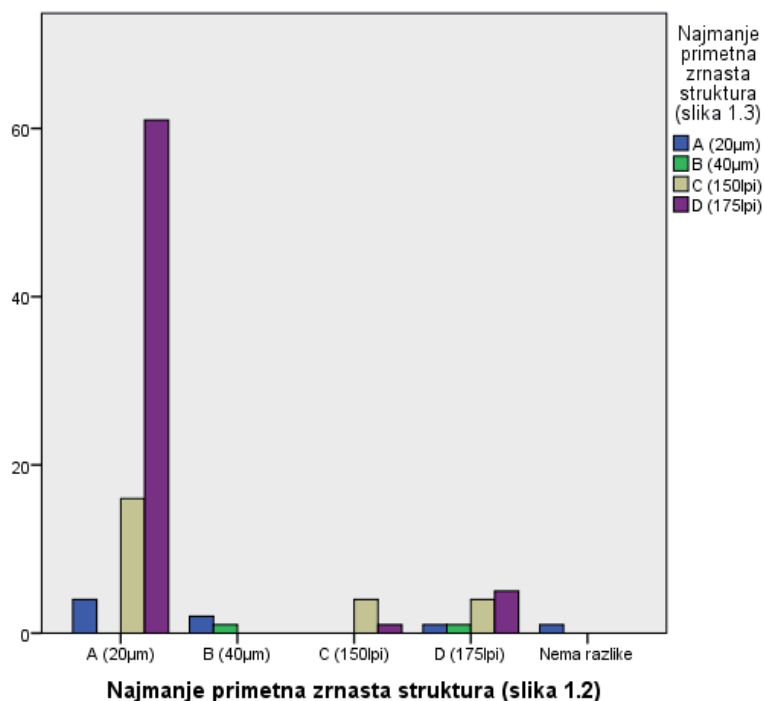


Slika 6.30 Prikaz unakrsne provere odabira rastera za sliku 1.1. i 1.3.

Tabela 6.15 Test unakrsne provere reprodukcija 1.2 i 1.3 za parametar *najmanje primetna zrnasta struktura*

			Najmanje primetna zrnasta struktura (slika 1.3)				Total
			A (20μm)	B (40μm)	C (150lpi)	D (175lpi)	
Najmanje primetna zrnasta struktura (slika 1.2)	A (20μm)	Ukupno	4	0	16	61	81
		%	4,9%	0,0%	19,8%	75,3%	100,0%
	B (40μm)	Ukupno	2	1	0	0	3
		%	66,7%	33,3%	0,0%	0,0%	100,0%
	C (150lpi)	Ukupno	0	0	4	1	5
		%	0,0%	0,0%	80,0%	20,0%	100,0%
	D (175lpi)	Ukupno	1	1	4	5	11
		%	9,1%	9,1%	36,4%	45,5%	100,0%
	Nema razlike	Ukupno	1	0	0	0	1
		%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
Total		Ukupno	8	2	24	67	101
		%	7,9%	2,0%	23,8%	66,3%	100,0%

$\chi^2=59,39$, $df=12$, $p=0,000$



Slika 6.31 Prikaz unakrsne provere odabira rastera za sliku 1.2. i 1.3.

Tabela 6.13 prikaza unakrsne provere odabira rastera za test karte 1.1 i 1.2. može se komentarisati na sledeći način. Od ukupnog broja ispitanika (85 %) koji su se kod prve test karte (1.1) izjasnili za 20 µm FM raster, njih 83 %, takođe se i kod druge test karte (1.2) odlučilo na isti raster. Samo 1,2 % ispitanika koji su se na prvoj test karti odlučili za 20 µm FM raster na drugoj su odabrali 40 µm FM raster. Za 150 lpi raster se odlučilo 6 % a za 175 lpi, 9,5 % ispitanika koji su za 1.1 izabrali 20 µm FM.

Na tabeli 6.14 imamo poređenje između test karte 1.1 i 1.3. Ovde se rezultati mogu komentarisati na sličan način. Na ovoj slici se jasno vidi da se javlja promena u odabiru najboljeg tipa rastriranja i to na sledeći način. Od ukupno 85 % ispitanika koji su se na test karti 1.1 odlučili za 20 µm FM čak njih 71,8 % se odlučilo za 175 linijski AM raster na test karti 1.3. Ovakva promena ukazuje da parametar veličine ima značajan uticaj na stimulus otiska.

Prilikom analize slike 6.31 i tabele 6.15 može se primetiti isti trend promene odabira rastera po parametru najmanje primetna zrnasta struktura. Od ukupno 81 % ispitanika koji su se kod test karte 1.2. odlučili za 20 µm FM, njih 75,3 % su se kod veće reprodukcije odlučili za 175 linijski AM raster.

Analiza unakrsne provere urađena je i za drugi parametar najrealističnija reprodukcija. Analizom podataka unakrsne provere može se zaključiti da su se i kod atributa najrealističnija reprodukcija izdvojili 20 µm FM i 175 lpi AM raster.

Na tabeli 6.16 se može primetiti nešto manja dominacija FM rastera kod veličine 1.1, ali takođe bez promene odabira u odnosu na 1.2 test tabak. Od ukupno 50 % ispitanika koji su se kod manje veličine odlučili za 20 µm FM raster, njih 52,9 % je ostalo pri istom mišljenju kod analize slike 1.2. Ispitanici koji su se kod slike 1.1. odlučili za 175 lpi AM raster, njih 59,5 % je ostalo pri istoj odluci.

U poređenju test karte 1.1 sa test kartom 1.3, prikazanom na tabeli 6.17, može se videti da se veći deo ispitanika koji je na prvoj test karti odabrao 20 µm FM (50,49 %) odlučio za 175 lpi AM raster (66,7 %) ili 150 lpi AM (25,5 %), dok se tek 2 % ispitanika ponovo odlučilo za FM raster. Na test karti 1.3 porast postižu 150 i 175 lpi AM raster sa ukupnim udelom od 85,2 %. Daljom analizom utvrdiće se značajnost ovih promena odabira u odnosu na veličinu slike i njen sadržaj.

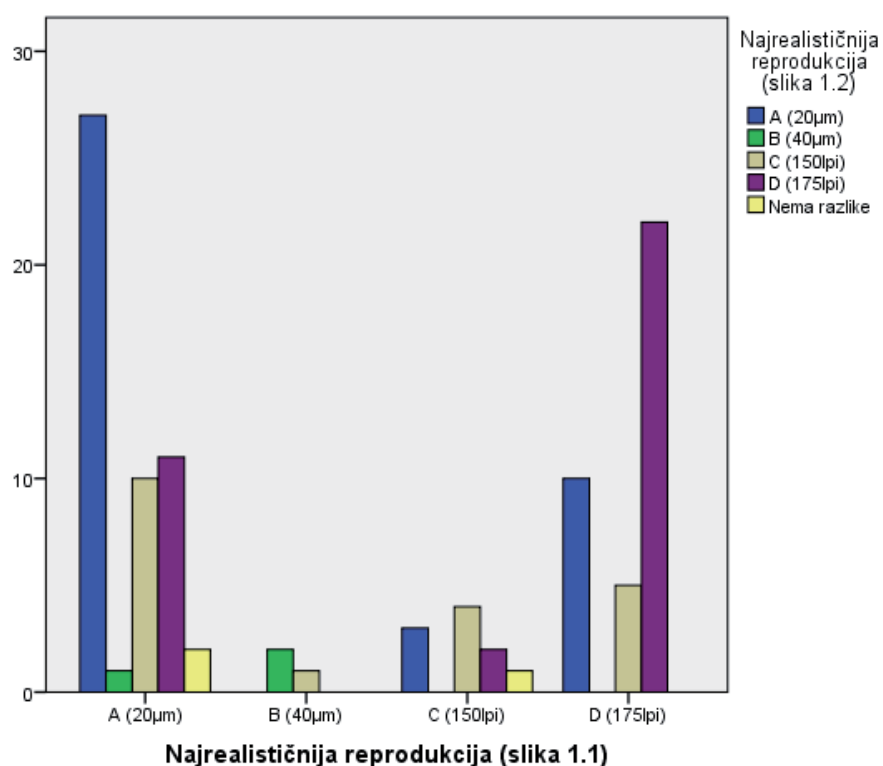
Kod poređenja odgovara ispitanika za tekst kartu 1.2 i 1.3 za parametar najrealističnija reprodukcija (tabela 6.18) promena odabira je najvidljivija. Niko od ispitanika koji su na test karti 1.2 odabrali 20 µm FM raster nije isti raster odabrao kod analize test karte 1.3. Njih 77,5 % je kod karte 1.3 odabralo 175 lpi AM raster dok se njih 22,5 % odlučilo za 150 lpi AM raster.

Ostatak rezultata analize unakrsne provere za svaku od slika prikazan je u Prilogu P 11.1.

Tabela 6.16 Test unakrsne provere reprodukcija 1.1 i 1.2 za parametar *najrealističnija reprodukcija*

			Najrealističnija reprodukcija (slika 1.2)					Total
			A (20μm)	B (40μm)	C (150lpi)	D (175lpi)	Nema razlike	
Najrealističnija reprodukcija (slika 1.1)	A (20μm)	Ukupno	27	1	10	11	2	51
		%	52,9%	2,0%	19,6%	21,6%	3,9%	100,0%
	B (40μm)	Ukupno	0	2	1	0	0	3
		%	0,0%	66,7%	33,3%	0,0%	0,0%	100,0%
	C (150lpi)	Ukupno	3	0	4	2	1	10
		%	30,0%	0,0%	40,0%	20,0%	10,0%	100,0%
	D (175lpi)	Ukupno	10	0	5	22	0	37
		%	27,0%	0,0%	13,5%	59,5%	0,0%	100,0%
Total		Ukupno	40	3	20	35	3	101
		%	39,6%	3,0%	19,8%	34,7%	3,0%	100,0%

$$\chi^2=64,57, df=12, p=0,000$$

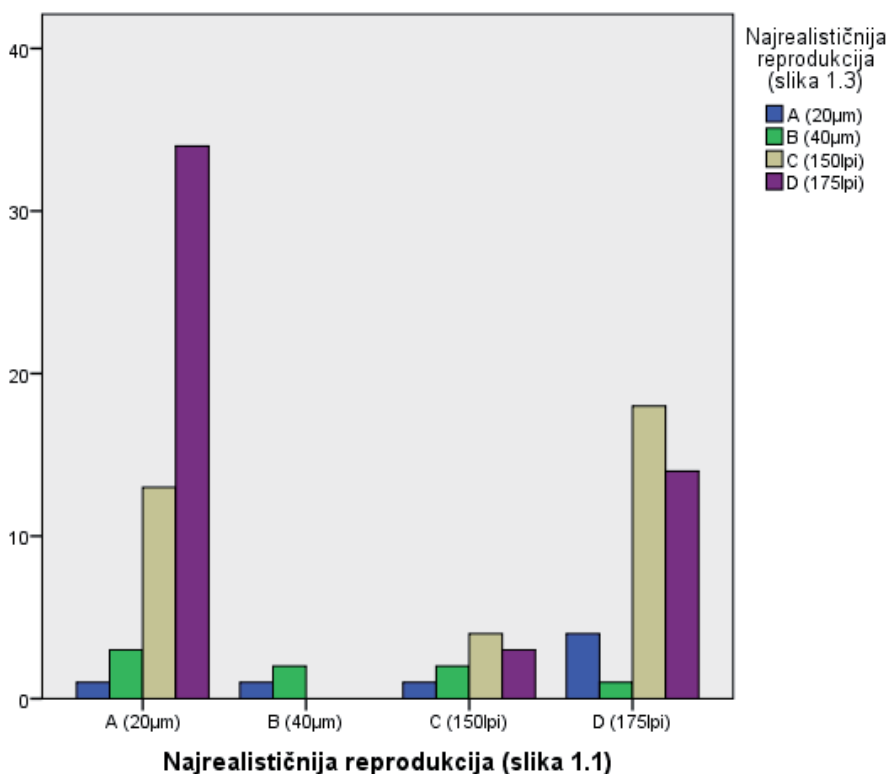


Slika 6.32 Prikaz unakrsne provere odabira rastera za sliku 1.1. i 1.2 za parametar najrealističnija reprodukcija

Tabela 6.17 Test unakrsne provere reprodukcija 1.1 i 1.3 za parametar *najrealističnija reprodukcija*

			Najrealističnija reprodukcija (slika 1.3)				Total
			A (20μm)	B (40μm)	C (150lpi)	D (175lpi)	
Najrealističnija reprodukcija (slika 1.1)	A (20μm)	Ukupno	1	3	13	34	51
		%	2,0%	5,9%	25,5%	66,7%	100,0%
	B (40μm)	Ukupno	1	2	0	0	3
		%	33,3%	66,7%	0,0%	0,0%	100,0%
	C (150lpi)	Ukupno	1	2	4	3	10
		%	10,0%	20,0%	40,0%	30,0%	100,0%
	D (175lpi)	Ukupno	4	1	18	14	37
		%	10,8%	2,7%	48,6%	37,8%	100,0%
Total		Ukupno	7	8	35	51	101
		%	6,9%	7,9%	34,7%	50,5%	100,0%

$\chi^2=32,83$, $df=9$, $p=0,000$

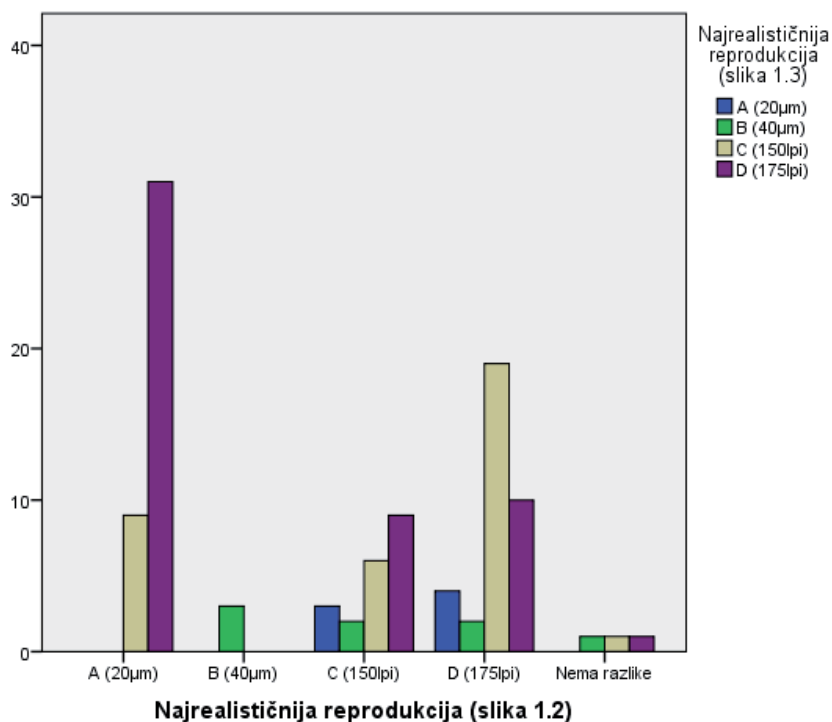


Slika 6.33 Prikaz unakrsne provere odabira rastera za sliku 1.1. i 1.3 za parametar najrealističnija reprodukcija

Tabela 6.18 Test unakrsne provere reprodukcija 1.2 i 1.3 za parametar *najrealističnija reprodukcija*

			Najrealističnija reprodukcija (slika 1.3)				Total
			A (20μm)	B (40μm)	C (150lpi)	D (175lpi)	
Najrealističnija reprodukcija (slika 1.2)	A (20μm)	Ukupno	0	0	9	31	40
		%	0,0%	0,0%	22,5%	77,5%	100,0%
	B (40μm)	Ukupno	0	3	0	0	3
		%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	100,0%
	C (150lpi)	Ukupno	3	2	6	9	20
		%	15,0%	10,0%	30,0%	45,0%	100,0%
	D (175lpi)	Ukupno	4	2	19	10	35
		%	11,4%	5,7%	54,3%	28,6%	100,0%
	Nema razlike	Ukupno	0	1	1	1	3
		%	0,0%	33,3%	33,3%	33,3%	100,0%
Total		Ukupno	7	8	35	51	101
		%	6,9%	7,9%	34,7%	50,5%	100,0%

$\chi^2=61,82$, $df=12$, $p=0,000$



Slika 6.34 Prikaz unakrsne provere odabira rastera za sliku 1.2. i 1.3 za parametar najrealističnija reprodukcija

Između podataka reprodukcija različitih dimenzija izračunavan je hi kvadrat preko tabele kontigencije čija vrednost se može prikazati preko jednačine (51).

Ova jednačina se dalje razvija u jednačinu (50) i izračunava hi kvadrat (Bradley, i drugi, 1979).

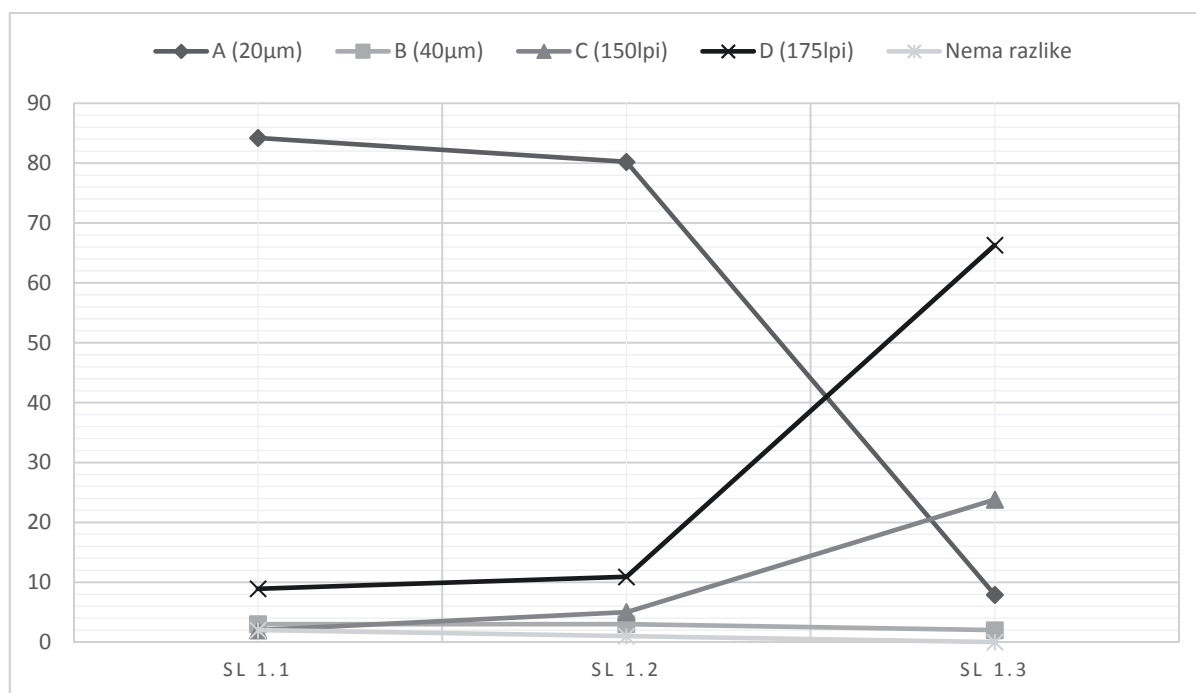
Analiza podataka *hi kvadrat* statističkom metodom, omogućila je odbacivanje nulte pretpostavke i prihvatanje **pretpostavke P1: Postoji statistički značajna razlika u percepciji atributa kvaliteta najmanje primetna zrnasta struktura i najrealističnija reprodukcija, u zavisnosti od načina rasterizacije slike**, sa 95% sigurnošću. Kod svih otisaka prikazana je statistički značajna razlika u odabiru preferiranih reprodukcija, što govori u prilog da je varirani parametar tipa rasterizacije bio percipiran od strane posmatrača. Veće linijature za AM rastere kao i veća frekvencija za FM rastere učestalošću odabira se bitno izdvaja od istih tipova manje linijature tj. frekvencije. Uvođenje grafičkog sistema koji bi mogao podržati veću linijaturu tj. frekvenciju značajno bi unapredilo kvalitet štampe.

Druga pretpostavka P2 analizira promenu percepcije po dva zadata parametra *najmanje primetna zrnasta struktura i najrealističnija reprodukcija* u zavisnosti od veličine reprodukcije. Svaki sadržaj slike analiziran je zasebno i prikazana na sledećim tabelama i slikama.

Tabela 6.19 Uporedna analiza različitih dimenzija test reprodukcije 1 za parametar *najmanje primetna zrnasta struktura*

	A (20µm)%	B (40µm)%	C (150lpi)%	D (175lpi)%	Nema razlike%
1.1	84.2	3	2	8.9	2
1.2	80.2	3	5	10.9	1
1.3	7.9	2	22.8	66.3	1

$\chi^2=165.271$, $df=8$, p -value: 0.00, Yates' chi-square: 156.922, Yates' p -value: 0.00



Slika 6.35 Grafički prikaz odgovora ispitanika po parametru najmanje primetna zrnasta struktura za različite dimenzije test reprodukcije 1

Iz slike 6.35 se može videti da su se ispitanici u velikoj meri odlučivali za FM raster (84.2%).

Čak 83.5% ispitanika je za prve dve veličine odabralo 20µm FM raster dok se čak 71.8% ispitanika koji su kod najmanje veličine izabrali FM raster kod najveće dimenzije slike odlučili za 175lpi AM raster, tako da se procenat ispitanika koji su odabrali 175lpi AM raster na najvećoj dimenziji popeo na 66.3%.

Analizom podataka test karte 1 - devojka, može se zaključiti da je što je slika manja, veća potreba za upotrebom FM rastera.

Međutim situacija se drastično menja kada je ispitanicima prikazana ista slika, sa istim rastriranjem, materijalom, uslovima posmatranja ali drugačijom dimenzijom.

Hi kvadrat analizom po dve različite dimenzije utvrđeno je da između dve slike manjeg formata ne postoji statistički značajna razlika nego da se ona javlja između srednje i najveće veličine. Ukupan hi kvadrat od 165,271 govori da postoji statistički značajna razlika između različitih veličina reprodukcija na test kartama po kriterijumu primetne zrnaste strukture.

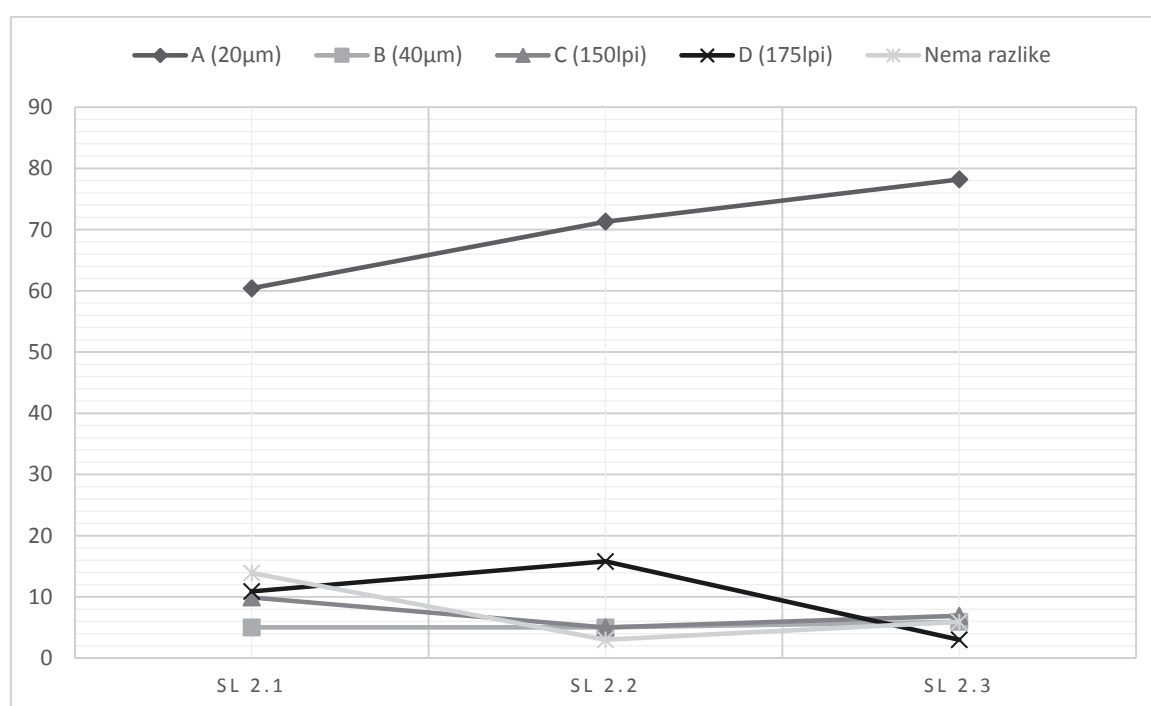
Dimenzija test karte 1.3 od 125x88 mm ima dovoljan broj podataka kako bi se bez previše gubitaka prikazala fotografija na 175lpi AM rasteru. Slike na kojima su prikazani ljudi, lica su posebno osetljive na gubitak detalja. Kao jedno od najprepoznatljivijih oblika svaka nepravilnost na licu ili čoveku je vrlo uočljiva te je razumljivo da su ispitanici ovako reagovali na sadržaj ove slike. Čim je slika postala dovoljno velika da zadrži sve bitne detalje, do izražaja je došla

negativna osobina FM rastera koja se prikazala kao šum na slici dok je ujednačena AM struktura na najvećoj fotografiji preuzela primat kada je reč o najmanje primetnoj zrnastoj strukturi kao što se vidi na slici 6.35.

Tabela 6.20 Uporedna analiza različitih dimenzija test reprodukcije 2 za parametar najmanje primetna zrnasta struktura

	A (20μm)%	B (40μm)%	C (150lpi)%	D (175lpi)%	Nema razlike %
2.1	60.4	5	9.9	10.9	13.9
2.2	71.3	5	5	15.8	3
2.3	78.2	5.9	6.9	3	5.9

$\chi^2=21.217$, $df=8$, p -value: 0.00659279, Yates' chi-square: 17.341, Yates' p -value: 0.02674779



Slika 6.36 Grafički prikaz odgovora ispitanika po parametru najmanje primetna zrnasta struktura za različite dimenzije test reprodukcije 2

Na slici 6.36 se vidi da se za dimenziji test karte 1.1 većina ispitanika se odlučila za 20 μm FM raster, čak 60.4% a sa povećanjem dimenzija test slike taj broj se čak i povećao na 78.2%. Vrednosti za ostale tipove rastera se nisu značajno menjale.

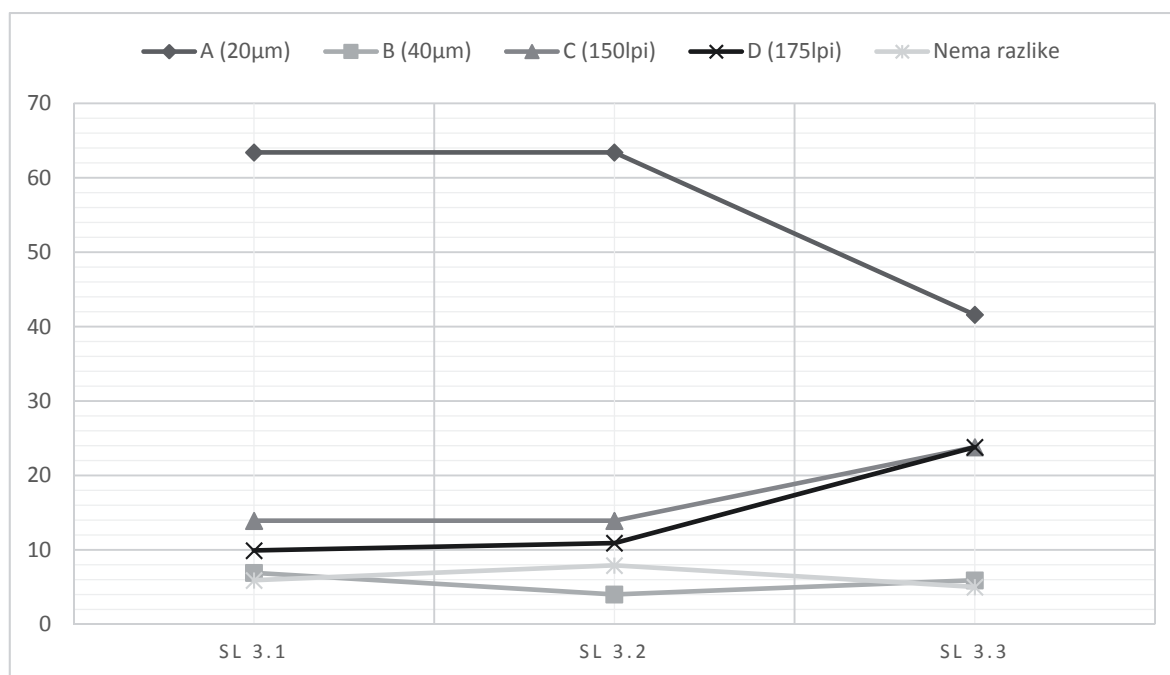
Vrednost hi kvadrata pokazuje da postoji statistički značajna razlika između različitih veličina fotografija, tj. da je povećanje fotografija dovelo do statistički značajnog povećanja odabira 20 μm FM rastera, po kriterijumu primetne zrnaste strukture.

Na ovom primeru (tabela 6.20) se može videti kako sadržaj slike utiče na percepciju kvaliteta. Sadržaj slike prepun detalja kao i teksta. Veći kontrasti omogućavaju FM rasteru da sačuva detalje na slici, a kontrastni prelazi da se ne uočava šum koji stvara. Raspored rasterskih tačaka kod AM rastera sa fiksnim rastojanjem između rasterskih elemenata rezultuje gubitkom detalja te se percipira kao nedostatak informacija tj. šum. Što se tiče ostalih uzoraka, može se primetiti da je povećan broj ispitanika koji se nije mogao opredeliti za određeni raster, tj. ti ispitanici nisu videli razliku između različitih tipova rastera na slici sa ovakvim sadržajem (tabela 6.20).

Tabela 6.21 Uporedna analiza različitih dimenzija test reprodukcije 3 za parametar *najmanje primetna zrnasta struktura*

	A (20 μ m)%	B (40 μ m)%	C (150lpi)%	D (175lpi)%	Nema razlike%
3.1	63.4	6.9	13.9	9.9	5.9
3.2	63.4	4	13.9	10.9	7.9
3.3	41.6	5.9	23.8	23.8	5

$\chi^2=19.234$, $df=8$, p -value: 0.01365708, Yates' chi-square: 15.99, Yates' p -value: 0.04252347



Slika 6.37 Grafički prikaz odgovora ispitanika po parametru najmanje primetna zrnasta struktura za različite dimenzije test reprodukcije 3

Iz tabele 6.21 se vidi da su se procenti odabira FM rastera sa 63.4% na prve dve veličine smanjili na 41.6% kod najveće reprodukcije što ukazuje na povećanje percepcije zrnaste strukture na ovoj veličini reprodukcije. Periodični tip rastera je na najvećoj reprodukciji porastao sa 13.9% tj. 10.9% na 23.8%.

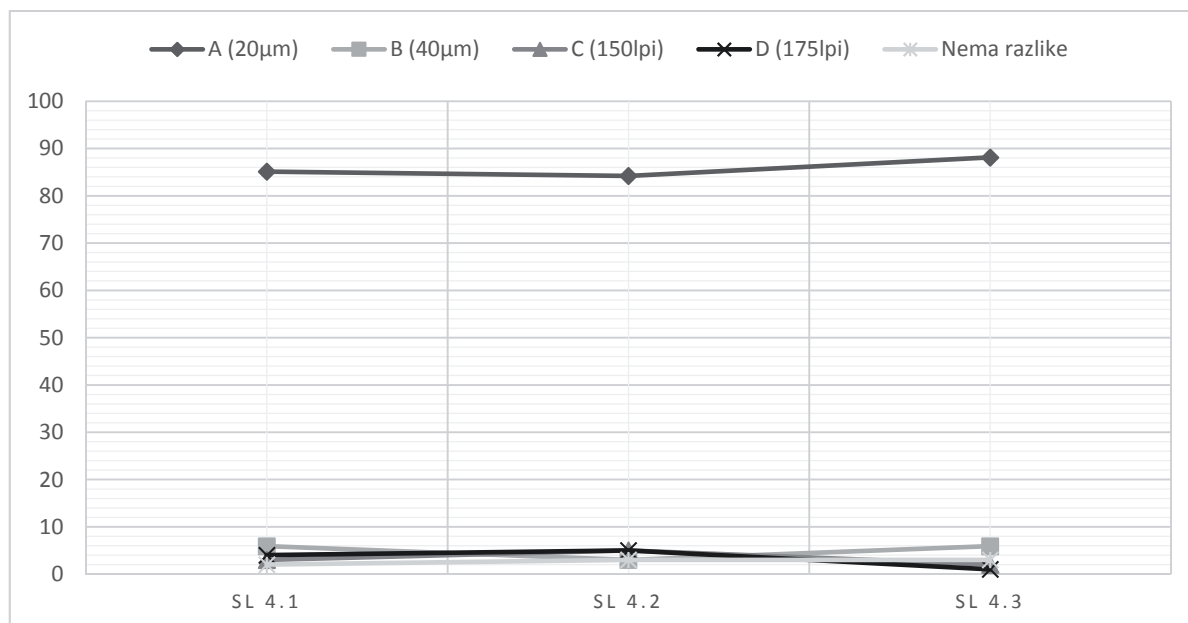
Vrednost hi kvadrata pokazuje da postoji statistički značajna razlika između različitih veličina fotografija za test reprodukciju 3 - tanjir po kriterijumu najmanje primetna zrnasta struktura.

Na test reprodukciji 3 - tanjir se nalazi kombinacija elemenata sa puno detalja kao i elemenata sa finim tonskim prelazima. Analizom rezultata vidimo da promenom dimenzije slike dolazi do statistički značajne promene percepcije slike (slika 6.37). Kod manjih formata dominantno je FM rastriranje koje omogućava mnogo bolji prikaz detalja. Šum nije toliko izražen zbog manje površine koju ispitanici posmatraju. Kod najvećeg test uzorka, dolazi do sukoba između elemenata sa sitnim detaljima i površinom sa finim tonskim prelazima na kojima počinje da se percipira šum. To se ogleda u padu procenta FM rastera sa 63,4% na 41,6%, a rastu procenta odabira AM rastera sa 13,9% za 150lpi i 10,9% za 175lpi na 23,8% za svaki od AM rastera, tako da možemo reći da na ovoj dimenziji AM raster preuzima primat kao raster sa najmanje primetnom zrnastom strukturom.

Tabela 6.22 Uporedna analiza različitih dimenzija test reprodukcije 4 za parametar *najmanje primetna zrnasta struktura*

	A (20μm)%	B (40μm)%	C (150lpi)%	D (175lpi)%	Nema razlike%
4.1	85.1	5.9	3	4	2
4.2	84.2	3	5	5	3
4.3	88.1	5.9	2	1	3

$\chi^2=5.55$, $df=8$, p -value: 0.69749434, Yates' chi-square: 2.686, Yates' p -value: 0.95249296



Slika 4.

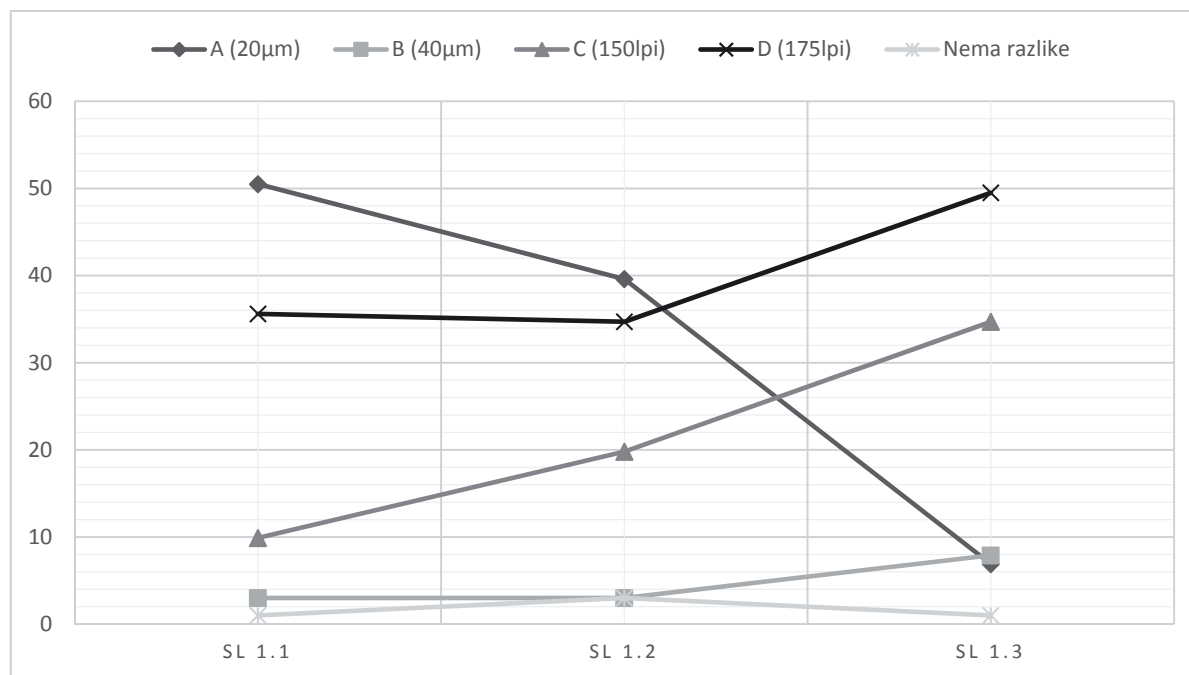
Slika 6.38 Grafički prikaz odgovora ispitanika po parametru najmanje primetna zrnasta struktura za različite dimenzije test reprodukcije 4

Slika 4 - Automobil nema statistički značajnih razlika u ocenjivanju kvaliteta u zavisnosti od veličine uzorka (tabela 6.22). Ovde su se ispitanici odlučivali isključivo za FM 20 µm raster. Uzrok možemo tražiti opet u karakteristikama oba tipa rastera kao i činjenici da automobilska farba odgovara čestičnom prikazivanju sa FM rasterom, tj. negativni efekti ovog rastera se na ovakvom sadržaju ne registruju.

Tabela 6.23 Uporedna analiza različitih dimenzija test reprodukcije 1 za parametar *najrealističnija reprodukcija*

	A (20μm) %	B (40μm) %	C (150lpi) %	D (175lpi) %	Nema razlike %
1.1	50.5	3	9.9	35.6	1
1.2	39.6	3	19.8	34.7	3
1.3	6.9	7.9	34.7	49.5	1

$\chi^2=59.996$, $df=8$, p -value: 0.00, Yates' chi-square: 52.264, Yates' p -value: 0.00



Slika 6.39 Grafički prikaz odgovora ispitanika po parametru najrealističnija reprodukcija za različite dimenzije test reprodukcije 1

Na najmanjoj reprodukciji vidi se očekivana raspodela odgovora u korist 20 μm FM rastera, već na sledećoj veličini taj procenat opada u korist 175 lpi, koji na najvećoj reprodukciji, zajedno sa svojom drugom varijantom ispoljava najmanje приметnu zrnastu strukturu sa preko 80 % (tabela 6.23). Primetan je drastičan pad, tj. povećanje percepcije zrnaste strukture kod FM rastera.

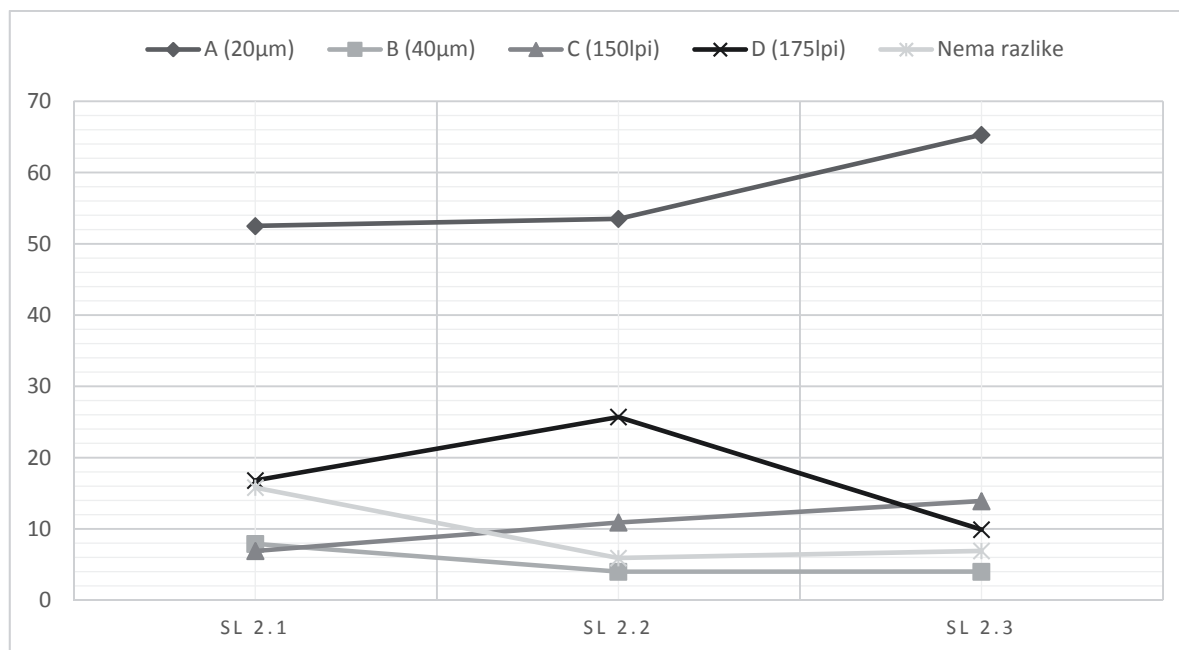
Vrednost hi kvadrata pokazuje da postoji statistički značajna razlika između različitih veličina fotografija za test reprodukciju 1 po kriterijumu najrealističnija reprodukcija.

Kod pitanja realističnosti situacija je slična kao i kod pitanja zrnaste strukture. Slika na kojoj se nalazi ljudsko lice je najpodložnije promenama dimenzije test slike. Kod najmanjeg formata dominantan je 20 μm FM raster, dok već kod srednje veličine ne postoji statistički značajna razlika između AM i FM. Kod najveće reprodukcije, kao najrealističniju sliku ispitanici biraju AM raster, dok FM gubi na realističnosti zbog šuma koji se javlja (slika 6.39).

Tabela 6.24 Uporedna analiza različitih dimenzija test reprodukcije 2 za parametar *najrealističnija reprodukcija*

	A (20 μ m) %	B (40 μ m) %	C (150lpi) %	D (175lpi) %	Nema razlike %
2.1	52.5	7.9	6.9	16.8	15.8
2.2	53.5	4	10.9	25.7	5.9
2.3	65.3	4	13.9	9.9	6.9

$\chi^2=19.686$, $df=8$, p -value: 0.011, Yates' chi-square: 15.8, Yates' p -value: 0.045



Slika 6.40 Grafički prikaz odgovora ispitanika po parametru najrealističnija reprodukcija za različite dimenzije test reprodukcije 2

U tabeli 6.24 može se videti raspodela odgovora ispitanika za sliku 2 - Kafa. Povećanjem dimenzija slike FM raster je percipiran kao najrealističniji sa 65.3% odabira. Takođe se vidi da je zadržao najveći procenat bez obzira na dimenziju test slike, a sa povećanjem dimenzija, porastao je i procenat odabira.

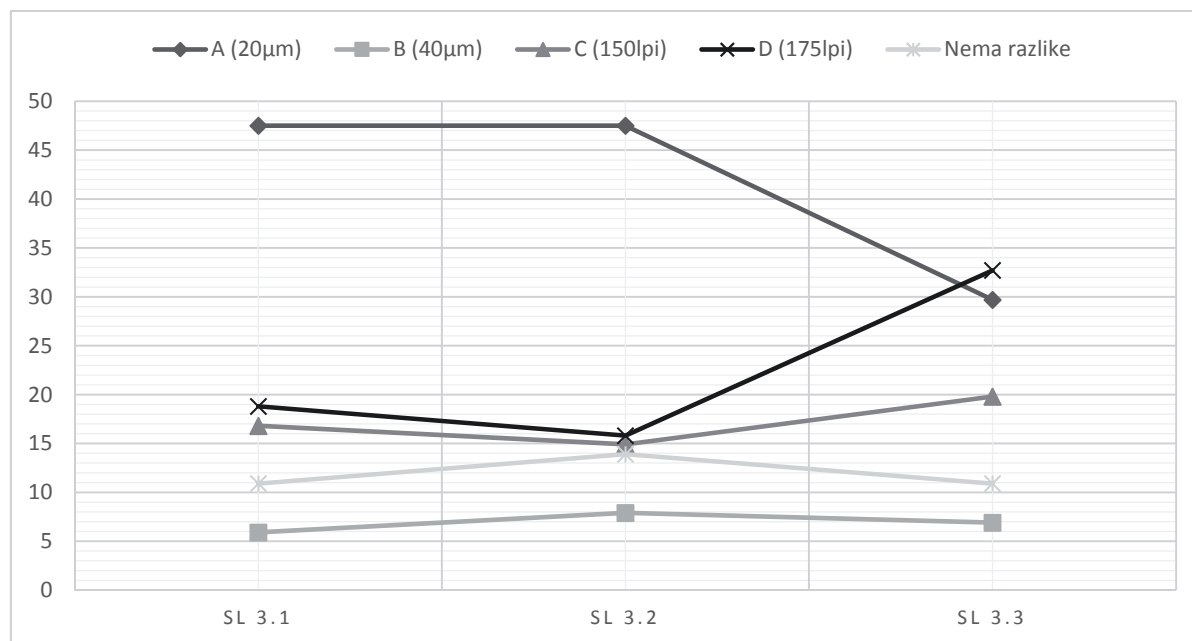
Vrednost hi kvadrata pokazuje da postoji statistički značajna razlika između različitih veličina fotografija za test reprodukciju 2 po kriterijumu najrealističnija reprodukcija.

Analizom podataka unakrsne provere može se primetiti da su ispitanici koji su na srednjoj dimenziji slike izabrali 175lpi AM raster kao najbolji, procenili u najvećoj reprodukciji dali 20 μ m FM rasteru. Čak 75,9% onih koji su u srednjoj dimenziji procenili za FM raster zadržali su svoju odluku i opet ga izabrali u najvećoj dimenziji (slika 6.40). Za ostale tipove rastera možemo zaključiti da ima dosta kolebanja kod ispitanika i njihovi odgovori se razlikuju u zavisnosti od različite dimenzije uzoraka.

Tabela 6.25 Uporedna analiza različitih dimenzija test reprodukcije 3 za parametar *najrealističnija reprodukcija*

	A (20μm) %	B (40μm) %	C (150lpi) %	D (175lpi) %	Nema razlike %
3.1	47.5	5.9	16.8	18.8	10.9
3.2	47.5	7.9	14.9	15.8	13.9
3.3	29.7	6.9	19.8	32.7	10.9

$\chi^2=13.924$, $df=8$, p -value: 0.083, Yates' chi-square: 11.778, Yates' p -value: 0.161



Slika 6.41 Grafički prikaz odgovora ispitanika po parametru najrealističnija reprodukcija za različite dimenzije test reprodukcije 3

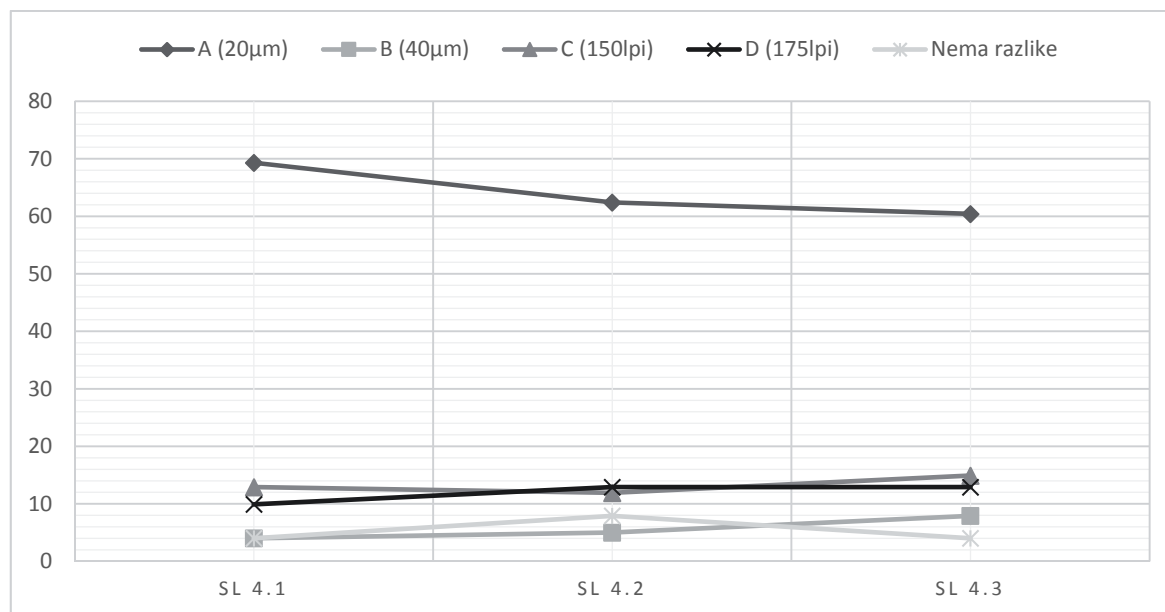
Slika 3 - tanjir nema statistički značajnu razliku (tabela 6.25), kada je u pitanju najrealističnija reprodukcija. Na manjim dimenzijama najrealističnijim je označen FM raster sa 47.5%, dok je kod najveće reprodukcije AM raster ocenjen kao najrealističniji sa 32.7%, ali veoma blizu 20 μm FM rasteru čiji je procenat pao na 29.7%. Najbolji pokazatelj da su se ispitanici teško odlučivali za raster sa najrealističnijom reprodukcijom jeste visok procenat onih koji nisu mogli da se odluče. Iako se na slici 6.41 jasno vidi pad odabira FM rastera on, kada se uzmu u obzir i druge vrednosti može biti slučajaj.

Analizom tabela unakrsne provere može se videti da se najveći deo ispitanika koji su u najmanjim i srednjim test reprodukcijama označili FM kao najrealističniji izabrali AM raster u najvećoj reprodukciji, tako da možemo zaključiti da statistički značajne razlike u odabiru određenog rastera ima (slika 6.41).

Tabela 6.26 Uporedna analiza različitih dimenzija test reprodukcije 4 za parametar *najrealističnija reprodukcija*

	A (20 μ m) %	B (40 μ m) %	C (150lpi) %	D (175lpi) %	Nema razlike %
4.1	69.3	4	12.9	9.9	4
4.2	62.4	5	11.9	12.9	7.9
4.3	60.4	7.9	14.9	12.9	4

$\chi^2=5.07$, $df=8$, p -value: 0.750, Yates' chi-square: 2.902, Yates' p -value: 0.94



Slika 6.42 Grafički prikaz odgovora ispitanika po parametru najrealističnija reprodukcija za različite dimenzije test reprodukcije 4

Na test tabaku 4 - automobil može se primetiti veoma stabilan procenat odabira 20 μ m FM rastera bez promene prilikom povećanja dimenzije reprodukcije (tabela 6.26).

Vrednost hi kvadrata pokazuje da ne postoji statistički značajna razlika između različitih veličina fotografija za test reprodukciju 4 po kriterijumu najrealističnija reprodukcija.

U četvrtoj test reprodukciji nije došlo do oscilacija u percepciji prilikom promene dimenzija reprodukcije. Na slici su prikazane velike površine sa ujednačenim tonovima te je interesantan odabir ispitanika, koji su za oba parametra birali FM raster kao najrealističniji i to za sve veličine. Kroz brojna istraživanja zaključeno je da rasterske tačke raspoređene po šablonu više pričaju oku posmatrača kada se prikazuju ujednačeni tonovi, te je ovaj rezultat iznenađujući. Razlog za ovakav rezultat možemo tražiti i u definisanju atributa koji su ispitanici ocenjivali, jer je realističnost prikaza je prilično širok pojam, ali je i sinonim za ukupni kvalitet slike.

6.3.6 Zaključak ispitivanja

Istraživanje je pokazalo da postoji statistički značajna razlika u atributima kvaliteta, *najmanje primetna zrnasta struktura* i *najrealističnija reprodukcija*, u zavisnosti od različitih dimenzija reprodukcija, što omogućava prihvatanje **P2**. Zadržavajući veličinu rasterske tačke, udaljenost posmatrača od reprodukcije, uslove posmatranja uzoraka, a menjajući samo dimenziju slika dolazimo do zaključka da se percepcija kvaliteta rastera menja. Količina promene zavisna je od sadržaja slike. Analizom sadržaja slike i odgovora ispitanika dolazimo do zaključka da se najveća promena javlja kod sadržaja koji kombinuju elemente finih tonskih prelaza i sitnih detalja. Povećanjem dimenzija reprodukcije, razlika između količine podataka slike pre rasterizacije i posle se smanjuje, što se direktno odražava na povećanje detalja prikazanih u AM rasteru. Povećanje broja detalja kod AM rasterizacije daje pozitivnu korelaciju sa percipiranim kvalitetom slike.

Kod slika sa velikim brojem detalja, jakog kontrasta i dinamičkog opsega, promena u dimenziji slike pozitivno utiče na kvalitet FM rastera pa je kod slika sa takvim sadržajem preporučljiv. Sa druge strane AM raster nema mogućnost prikaza sitnih detalja ni kod povećanih reprodukcija. Na osnovu analize podataka i ostalih slika drugačijeg sadržaja može se zaključiti da će se promena u odnosu AM i FM rastera desiti i na ovakvom tipu slika, ali na drastičnijim povećavanjima.

Dimenzija slike utiče na percepciju rastera kod ispitanika. Slike manjih dimenzija više odgovaraju reprodukciji FM rasterom. Granica na kojoj će se slika rastrirana AM rasterom percipirati kao kvalitetnija zavisi od sadržaja slike. Slike sa kombinacijom finih tonskih prelaza i kontrasnih sitnih detalja pokazale su se kao najosetljivije na promenu dimenzije. Dalja ispitivanja su potrebna kako bi se ustanovila preciznija veza i korelacija između količine detalja na slici, promeni dimenzije slike i količini podataka zadržanih na slici posle rastriranja. Uvođenje ovih podataka u algoritme metrike moglo bi omogućiti dobijanje novih objektivnih metoda za određivanje kvaliteta štampane reprodukcije.

Prilikom izračunavanja ugla posmatranja koji je korišćen pri eksperimentu može se zaključiti da se ugao od 17° pokazao kao prag na kojem dolazi do promena kada je u pitanju 175 lpi AM raster. Za sve manje uglove preporučljivo je koristiti FM raster, a kada ugao posmatranja prelazi 17° AM raster se pokazao kao bolje rešenje. Izračunavanje ugla posmatrača urađeno je preko formule:

$$\delta = 2\arctan\left(\frac{d}{2D}\right) \quad (52)$$

Gde je δ ugao posmatranja, d duža strana posmatrane reprodukcije i D udaljenost od reprodukcije.

Kako se ugao posmatranja češće koristi za kružne oblike gde je prečnik isti, u ovom izračunavanju za analizu se koristi duža strana reprodukcije kao relevantna za ugao posmatrača.

Subjektivna istraživanja, kod upoređivanja kvaliteta AM i FM rastera, su često davala oprečne rezultate, tako da su istraživači često zaključivali kako su dalja istraživanja potrebna kako bi se utvrdili razlozi takvih oscilacija. Zaključci ovog istraživanja, proistekli iz eksperimenta, direktno doprinose boljem dizajnu subjektivnih testova, za kvalitet reprodukcije, od strane istraživača, kako bi imali što je moguće konsistentnije rezultate i jasnije zaključke u vezi različitih tehnika rastriranja.

Analizom dobijenih rezultata mogu se izvesti zaključci i kada je u pitanju uvođenje novih tehnika rastriranja u proizvodni sistem. Ta odluka sa sobom nosi različite izazove, kako tehničke tako i finansijske. Potrebno je sa što više aspekta sagledati rezultate koji će se postići nakon uvođenja FM tehnologije, te rezultati ovog istraživanja mogu pomoći pri realnijem sagledavanju mogućih benefita ili negativnih rezultata. Prilikom odlučivanja o uvođenju nove tehnike rastriranja u proizvodni grafički sistem, jednostavno se, analizom grafičkih proizvoda koji će se u tom sistemu realizovati, može doprineti pravilnijoj i isplativijoj odluci koji tip rastera koristiti. Što se više ulaznih informacija pri takvoj odluci uzima u obzir, to će odluka biti jednostavnija.

Upotreba različitih tipova rastriranja na otisku pruža mogućnost iskorišćavanja pozitivnih karakteristika oba tipa rastera. Kako bi do kraja iskoristili potencijale rasterskih tehnika razvoj XM algoritama bi trebao da obuhvati analizu sadržaja slike i usmeri na istraživanja načina opažanja rastera u zavisnosti od površine na kojoj se nalazi i samim tim percepcije kvaliteta slike, jer su to atributi koji mogu dovesti do poboljšanja raspodela AM i FM tipova rastriranja na otisku. Ovakav pristup bi omogućio da se prag ne bira samo po nivou zacrnjenja rastera, nego bi sadržao dodatne parametre koji bi pomogli pri boljoj raspodeli tipova rastriranja.

Kako na strukturu ljudskog vizuelnog aparata ne utiču samo fizički procesi odbijanja svetlosti koji se mogu jednostavno zaokružiti formulama, ne čudi da su metrike, koje imaju najveću korelaciju sa ljudskim ispitanicima u eksperimentalnim psihofizičkim istraživanjima, pokazale one koje upoređuju strukturu podataka originala i posmatrane slike, ne uvodeći pri tom u kalkulaciju perceptivni sistem (Sheikh & Bovik, 2006). U daljim istraživanjima vezanim za strukturu rastera, preporučuje se upotreba metrike kvaliteta slike koja je bazirana na sličnosti strukture originala i ispitivane slike, bez uvođenja HVS.

7. DISKUSIJA REZULTATA

7.1. Određivanje optimalnog rastera

Rezultati istraživanja pokazuju da je upotreba naprednih tehnika rastriranja korak ka unapređenju kvaliteta štampe. Uzimajući u obzir parametre kvaliteta kao što su optička gustina otiska obe tehnike rastriranja mogu postići odgovarajuće rezultate koji su propisani internacionalnim standardnom ISO 12647/2. Međutim, ciljevi standardizacije u grafičkom procesu nisu postizanje određene optičke gustine nego utvrđenih vrednosti koje će doprineti optimalnom i ponovljivom kvalitetu štampe uz razumne troškove. Kako bi se postigao ovaj cilj potrebna je konstantna kontrola i merenje svih procesa u grafičkoj proizvodnji, kao i parametara radnog toka, u koji spadaju kontrola ulaznih parametara u proces pripreme za štampu, iz procesa pripreme u proizvodni tok štampe, kontrolu parametara u toku štampe kao i materijala na kojima se vrši otiskivanje.

Ulazni parametri svakog toka ne smeju biti nepoznati ili nedefinisani. Ulazni parametri u procesu pripreme za štampu mogu biti definisani softverom kojim je kreiran ili se kreira proizvod koji će ući u proizvodnju. U zavisnosti od elemenata koji sadrži proizvod mora biti kreiran u softveru koji podržava kreiranje potrebnih elemenata i njihov adekvatan prenos u dalji proizvodni tok. Kreiranje elemenata proizvoda u neodgovarajućim aplikacijama onemogućuje njihov adekvatni elektronski prelaz u sledeću fazu proizvodnog procesa i na taj način onemogućiti dobijanje optimalnog kvaliteta.

Nakon kreiranja svih potrebnih elemenata unutar odgovarajućeg softvera potrebno je definisati elektronski dokument u kojem će se on preneti u dalju fazu proizvodnje. Odgovarajući format dokumenta treba da obezbedi prenos svih zadatih informacija kako o elementima unutar dokumenta tako i o samom dokumentu. Mogući formati dokumenata kao što su TIFF, JPEG, PDF, EPS i dr. mogu se koristiti ali uz podešavanje i kontrolu načina kreiranja istih. Ni jedan od ovih formata sam po sebi nije garant optimalnog kvaliteta elemenata koje sadrže, čime je potrebno detaljno poznavanje njihovih karakteristika i načina generisanja kako ne bi došlo do smanjivanja kvaliteta.

Prostor boja u kojem se nalazi elementi mora biti pod konstantnom kontrolom. RGB, Lab, CMYK, sRGB i drugi prostori boja imaju svoj definisani opseg koji se bitno razlikuje jedan od drugog. Načini prelaska iz jednog sistema u drugi mora biti standardizovan i ustaljen kako bi se mogli očekivati ujednačeni rezultati. Prilikom odabira odgovarajućeg sistema boja, mora se voditi računa kako o izlaznom uređaju, tako i o boji koja će se koristiti kao i podlozi na kojoj se vrši otiskivanje. Bez poznavanja narednih parametara u procesu proizvodnje nemoguće je odrediti odgovarajući profil sa naglaskom na optimalno iskorišćenje mogućnosti sistema i postizanje optimalnog kvaliteta.

Rezolucija slike je parametar koji je promenljiv ali koji može da se drži pod kontrolom. Minimalna dovoljna rezolucija je potrebna kako bi se očuvala stabilnost sistema, nesmetani tok podataka i nesmetani rad RIP uređaja. Povećanje rezolucije posle granične vrednosti, u zavisnosti od rasterizacije neće doprineti povećanju kvaliteta.

Standardizovana linijatura za ofset štampu je 150 lpi. Rezolucija rasterske grafike koja je potrebna kako bi se iskoristile sve informacije na slici je 300 dpi. Upotrebom FM rastera rezolucija može ostati nepromenjena, međutim kako se količina informacija koja se oslikava na štamparsku formu povećava tako i rezolucija originala može biti veća. Međutim čak i ukoliko postoji problem sa nedovoljnom rezolucijom originala, tj. da je ona manja nego 300 dpi, upotrebom FM rastera problemi sa pikselizacijom koja bi se javila na otisku mogu biti smanjeni usled „nasumične“ raspodele tačke. Kada je u pitanju rezolucija FM raster je fleksibilniji i u mogućnosti je da prikaže sadržane informacije na slici veće rezolucije kao i da smanji negativan efekat bitmapa niže rezolucije od optimalnih.

Kod AM rasterizacije povećanje linijature na 180 lpi ili 200 lpi zahteva i povećanje rezolucije originala. Ukoliko se koristi rezolucija slike veće nego što je to potrebno, RIP će samostalno izbaciti višak informacija i samim tim jedino povećanje ogledaće se u povećanju vremenu rasterizacije od strane RIP uređaja. Povećanje rezolucije nije moguće uraditi naknadno, posle kreiranja originala (fotografisanje, skeniranje, prevođenje u bitmapu), u programu za obradu slika. Softver u tom slučaju ne uvodi nove informacije u bitmapu, nego koristi samo postojeće informacije a aproksimira piksele koji se nalaze između tih informacija. Na ovaj način softver izračunava kakvo bi obojenje mogao da ima piksel između dva postojeća, tj. dodeljuje mu srednju vrednost ne doprinoseći stvarnom povećanju informacija na slici.

Vektorska grafika i tekst trebaju biti pripremljeni u izlaznom fajlu kao vektori. Kako je vektorska reprezentacija objekta njegov matematički izraz, a ne skup piksela, može biti skalirana na bilo koju veličinu, bez gubitka kvaliteta. Ukoliko je moguće vektorsku grafiku potrebno je u tom obliku sačuvati do izlaznog uređaja, npr. RIP-a. U RIP-u će se vektorska grafika automatski konvertovati u rastersku bitmapu, ali u rezoluciji definisanoj preko rezolucije izlaznog uređaja. Ukoliko je rezolucija RIP-a 2540 dpi tada će i vektorska grafika biti rastrirana u toj rezoluciji i samim tim svaka njena rasterizacija pre nego što ona bude obrađena izlaznim uređajem biće degradiranje njenog kvaliteta. Ukoliko je to postignuto vektorska grafika i tekst će biti rastriran rezolucijom od 2540 dpi koja će omogućiti upotrebu naprednih tehnika rastriranja i tako dati najbolje izlazne rezultate.

Druga prednost zadržavanja vektorske reprezentacije objekta jeste njena memorijska zahtevnost. Pošto vektorska grafika nije definisana svakim pikselom ponaosob memorija za skladištenje informacije je značajno manja, tako da se sa dokumentima koji u sebi sadrže vektorsku grafiku mnogo lakše upravlja.

Ukoliko dokument sadrži kombinaciju vektorskih, tekstualnih i bitmap elemenata, neophodno je za njihovo prebacivanje u izlazni uređaj odabrati odgovarajući format datoteke koji će obezbediti transfer svih potrebnih informacija do izlaznog uređaja bez gubitaka kvaliteta.

Opseg boja u kojem se nalazi dokument je takođe veoma bitan parametar koji je potrebno definisati pre rasterizacije. Takođe veoma je bitna, i može napraviti prilično veliku razliku u kvalitetu, sama transformacija u željeni sistem boja. Upravljanje bojom može umnogome standardizovati način dobijanja potrebnog opsega boja i to ne samo standardnog opsega nego i specijalizovanog opsega ukoliko se u procesu koriste materijali, boje, sistemi koji nisu obuhvaćeni standardom i pružaju mogućnost dobijanja većeg opsega. Upotrebom FM rastera standardni opseg boja se proširuje, međutim ukoliko se u pripremi štampe koristi profil koji je manji od onog koji se može dobiti, izlazni rezultat neće biti proširenje opsega boje, jer će on u procesu pripreme biti smanjen kako bi odgovarao standardnom. Iskorišćenje većeg opsega boje FM rastera može se postići kreiranjem personalizovanog profila boja koji će biti obuhvatiti širi opseg koji se može postići upotrebom FM rastera. Personalizaciju tj. izradu internih standarda potrebno je uraditi ukoliko se koriste specijalne podloge za štampu, UV boje ili boje sa visokom zasićenošću pigmenata, dodatne boje kako bi se proširio opseg, direktno ili indirektno i ako je potrebno uvesti visoku preciznost u postizanju obojenja.

U toku istraživanja došlo se do zaključaka da veličina, dimenzija tj. ugao posmatrača utiče na percepciju kvaliteta određene rasterske strukture. Na standardnoj udaljenosti posmatrača, na oko 40 cm, pod standardnim uslovima posmatranja, rezultati su pokazali da je dimenzija otiska koji se posmatra još jedan dodatni parametar koji utiče na percepciju rastera. Pod istim uslovima rasterizacije, linijature i veličine rasterske tačke, promenom dimenzije samog otiska, ne utičući na ostale parametre, ispitanici su ukazali na promenu u kvalitetu FM i AM rastera. Ova promena je bila veoma izražena kod slika koje su imale kombinaciju finih detalja i ujednačene tonske površine tako da se može zaključiti da je uticaj promene zavistan je od sadržaja slike. Kod slika sa velikim brojem detalja, jakog kontrasta i dinamičkog opsega, promena u dimenziji slike pozitivno utiče na kvalitet FM rastera pa je kod slika sa takvim sadržajem FM raster preporučljiv i to bez obzira na dimenziju slike. Kako je dimenzija slike vezana za više parametara kao što je njena visina i širina, udaljenost i pozicija posmatrača, u uopštenju ovih rezultata uveo se novi pojam koji objedinjuje sve ove promenljive u jednu vrednost. Pojam ugao posmatrača direktno je vezan za dimenzije i udaljenost posmatrača od otiska, prikazan je u jednačini (52). Dosadašnja istraživanja vezana za ugao posmatrača obuhvatala su slike kontinualnih tonova, tonske prelaze (rešetkaste) i mogućnost ljudskog oka da napravi razliku u količini detalja koji se može razaznati (Rovamo & Kankaanpa 1999). Primena ove jednačine na istraživanja vezana za kvalitet rasterizacije moguća je upravo iz razloga uopštavanja različitih promenljivih u jednu veličinu, ugao. Međutim, kod analize kvaliteta

rasterizacije treba imati na umu da kod povećanja dimenzija slike, samim tim i povećanja ugla posmatrača, veličina rasterskog elementa ostaje nepromenjena (linijatura), pod uslovom da se želi zadržati standardna udaljenost posmatrača. Parametar koji se menja prilikom promene dimenzije slike jeste ukupna količina rasterskih tačaka koja se na njoj nalazi. Ako rasterizaciju posmatramo kao diskretizaciju slike kontinualnih tonova tada veći broj rasterskih elemenata može da se posmatra kao veći broj informacija preostalih od originalne slike. Uzimajući u obzir dimenzije test slika u eksperimentima prikazanim u istraživanju može se zaključiti da dimenzija test slike 125 x 88 mm, iako iste rezolucije, nosi četiri puta više informacija tj. rasterskih elemenata nego najmanja test slika dimenzije 62 x 44 mm.

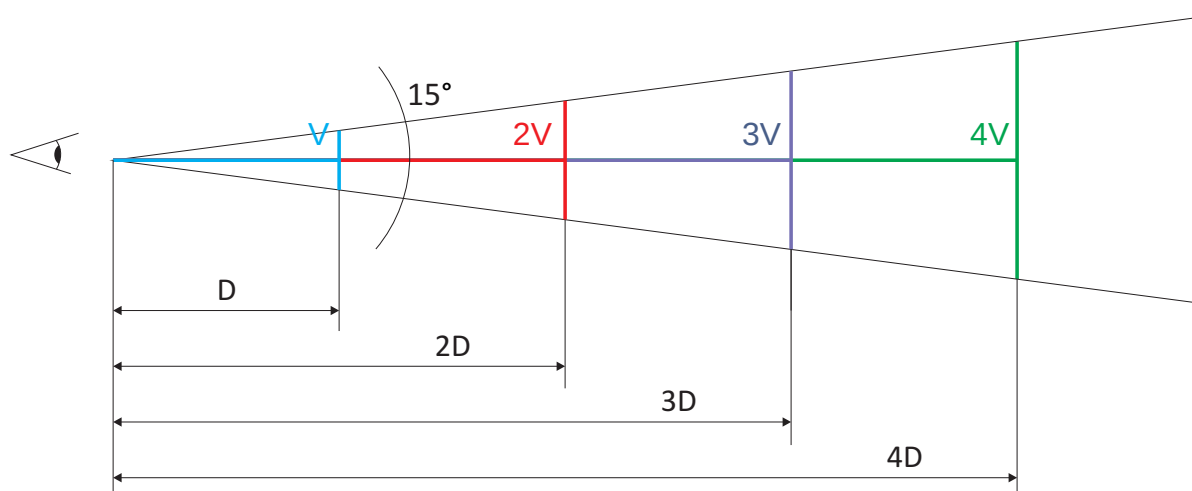
Uzimajući u obzir strukture AM i FM rastera poznato je da FM raster sadrži mnogo više informacija i u stanju je da prikaže više detalja od AM rastera, usled manjih rasterskih elemenata frekventno raspoređenih na mestima gde je informacije potrebno prikazati. Informacije kod AM rastera koje se nalaze između tačaka rasterske mreže nije moguće prikazati i samim tim mnogo je veća količina izgubljenih podataka. Mogućnost prikaza detalja FM rastera dolazi do izražaja upravo na slikama manjih dimenzija, gde AM raster ne može da mu parira. Nedostatak informacija AM rastera u ovom slučaju se ogleda kao smanjenje kvaliteta otiska u odnosu na FM raster. Povećanjem dimenzija otiska, omogućava se AM rasteru da poveća broj rasterskih tačaka kojima se opisuje originalna slika kontinualnih tonova. Kod test slika najvećih dimenzija količina informacija prenesenih AM rastriranjem je dovoljna da realno i bez većih gubitaka, u odnosu na FM, prikaže reprodukciju originala.

Kvalitet reprodukcije zavisi od više parametara vezanih za boju, karakteristike otiska, materijal itd. Konstanta koja se ovde može definisati jeste da će ukupni kvalitet otiska zavisiti od najlošijeg parametra koji ga sačinjavaju. Ukoliko je boja pogrešna, materijal i otisak besprekoran, kvalitet takvog otiska biće definisan bojom. Ukoliko su boja i otisak visokog kvaliteta, dok je podloga lošeg kvaliteta, otisak će biti određen upravo materijalom. Koristeći poznatu analogiju da je lanac jak koliko i njegova najslabija karika, može se zaključiti da je kvalitet otiska visok onoliko koliko i njegov najlošiji parametar.

Povećanjem količine informacija koje se reprodukuju AM rasterom prilikom povećanja dimenzija otiska, dolazi se do granice kada ljudsko oko više ne može da primeti razliku u odnosu na količinu informacija zadržanih u procesu FM rastriranja. Tada određivanje kvaliteta otiska i njegove realističnosti preuzima sledeći najslabiji parametar. Kako je poznato da je FM raster zbog svoje stohastičke strukture manje pogodan za prikaz ujednačenih tonova, slike na kojima su se takvi tonovi nalazili određeni su od strane ispitanika kao reprodukcije sa nižim kvalitetom, tj. AM raster je u tom slučaju određen kao kvalitetniji.

Konstantan ugao posmatrača omogućava odabir odgovarajuće veličine rastera sa promenom udaljenosti posmatrača. Na ovaj način moguće je postići isti efekat sa manjom linijaturom rastera tj. veličinom rasterske tačke. Ukoliko je reprodukcija namenjena za posmatranje sa veće udaljenosti, smanjenje linijature, tj. povećanje veličine rasterskih elemenata moguće je bez gubitaka na kvalitetu. Na ovaj način može se postići pojednostavljivanje štampe, smanjenje vremena štampe kao i memorijske zahtevnosti tj. rezolucije ulaznih bitmap dokumenata.

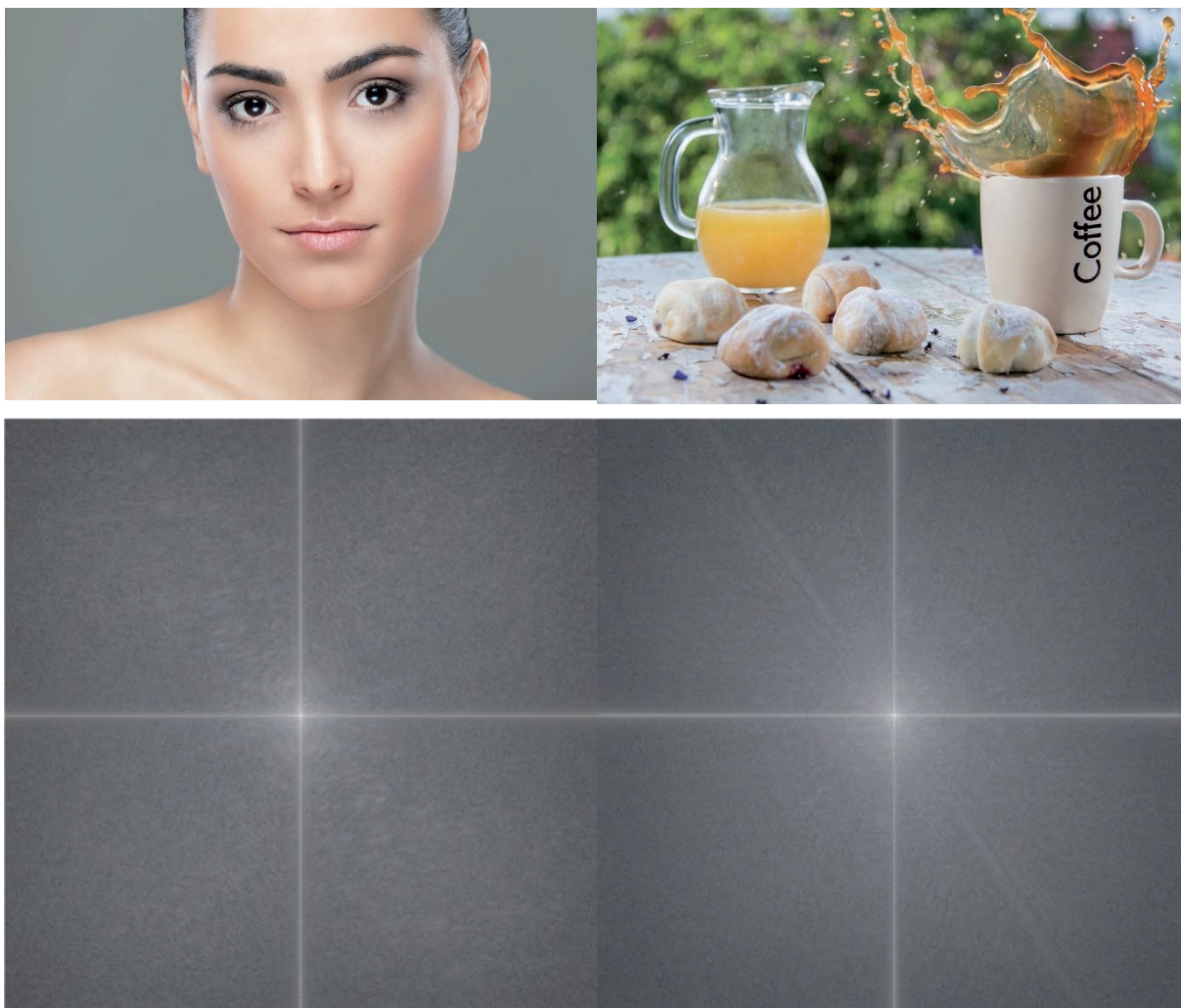
Povećavanjem udaljenosti posmatrača od reprodukcije omogućava se povećanje rasterskih elemenata tj. smanjenje rezolucije na taj način da je ono povezano sa udaljenošću. Dupliranje udaljenosti od reprodukcije omogućava dupliranje u veličini rasterskih elemenata, na taj način da se isti efekat postiže posmatranjem $20\ \mu\text{m}$ na udaljenosti od $40\ \text{cm}$ kao i posmatranjem duplo veće reprodukcije rastrirane $40\ \mu\text{m}$ rasterom na udaljenosti od $80\ \text{cm}$. Na ovaj način ugao posmatrača ostaje konstantan i samim tim ono što posmatrač vidi se ne menja (Slika 7.1).



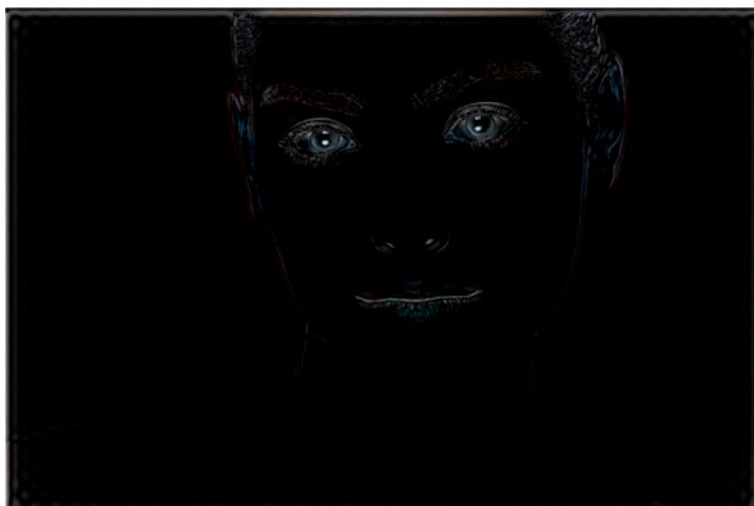
Slika 7.1. Promena daljine posmatrača D i povećanje veličine rasterskih elemenata V bez promene ugla posmatrača tj. promena parametara reprodukcije

Način na koji će slika biti analizirana kako bi se utvrdilo da li sadrži kombinaciju elemenata sa visokom frekvencijom kao i elemente sa ujednačenim tonovima dalje je tema diskusije. Kako je prikazano u eksperimentu ovako struktuirane slike imaju tendenciju promene kvaliteta u zavisnosti od dimenzija. Analiza strukture slike bi trebalo da se obavlja prilikom odabira na koji način bi se rastrirala slika kontinualnih tonova. Analiza koja je u frekventnom domenu prikazivala slike jeste Furijeva transformacija, tj. diskretna Furijeva transformacija. Prilikom analize rezultata može se utvrditi u kojim frekvencijama se nalaze elementi na slici i na osnovu toga odrediti da li je određena slika pogodnija za rasterizaciju FM ili AM rasterom.

Na slici 7.2. prikazane su logaritamske transformacije magnitude Furijeve transformacije za dve slike iz test reprodukcija. Na slici se može videti da kod reprodukcije 2 - kafa, frekvencija elemenata na slici velika. Kod reprodukcije 1 - devojke, magnituda prikazuje veći broj elemenata u nižim frekvencijama što se može ispratiti na prostornom prikazu reprodukcije 1 - devojke prikazanom iznad magnitude. Kako bi prikazali količinu informacija koja se nalazi u niskim frekvencijama, u frekventnom domenu maskiraće se polje koje prikazuje upravo elemente niske frekvencije. Na slici 7.3. prikazan je rezultat maskiranja, tj. oduzimanje elemenata sa slike 1 - devojka, koji su imali nisku frekvenciju.



Slika 7.2 Prikaz Furijevih transformacija slika 1 - devojka i 2- kafa



Slika 7.3 Reprodukcijska 1 - devojka u prostornom domenu nakon oduzimanja elemenata slike niskih frekvencija

Analizom slike sa elementima visoke frekvencije moguće je odrediti u kojim partijama slike bi FM raster imao potpunu opravdanost korišćenja. Algoritmi za rasterizaciju bi u buduću mogli kombinovati različite tehnike rastriranja u zavisnosti od upravo prednosti svakog tipa rastera. Mogućnosti kombinovanja različitih rasterskih struktura u okviru jedne štamparske forme polako postaju standard tako da ovakav vid rastriranja neće biti teško implementirati u postojeće radne tokove. I u ovom trenutku analiza sadržaja slike može pružiti uvid da li se može očekivati da će doći do promene vidljivog kvaliteta ukoliko se ugao posmatrača bude menjao tj. da se ne osnovu ove analize odredi da li će se bolji rezultat postići rasterizacijom AM ili FM rasterom.

Uticaj parametara postupaka rastriranja na otisak kao stimulus je višestruki. Promenom postupaka rastriranja stimulus se menja u zavisnosti od fizičko-hemijskih procesa koji se odvijaju u toku štampe i to:

- Svetlina – svetlina kao jedan od parametara kvaliteta slike, promenom rasterizacije menja se indirektno kroz porast rasterske tačke i u ekstremnim slučajevima spajanja rasterskih tačaka usled porasta. Upotrebom odgovarajućih kalibracionih i kompenzacionih krivi promene svetline otiska se može izbeći. Gubitak ili povećanje svetline na otisku ukazuje na poremećaj konstantnosti rasterske tačke. Ukoliko je rasterska tačka previše sitna, boja se na nju neće preneti i samim tim neće se naći ni na podlozi. To prouzrokuje povećanje svetline same reprodukcije kao i gubitak detalja u svetlim partijama. Optimalni rezultat kao i kod povećanja rasterske tačke se može dobiti izradom kompenzacionih krivi kao i povećanjem veličine rasterskih elemenata. Promenom parametara rasterizacije sa AM na FM može doći do oba poremećaja, ali kako je prikazano u radu, oni se mogu kompenzovati tj. anulirati.
- Zasićenje – nekoliko načina povećanja zasićenja je prezentovano u radu. Većina njih iziskuje potrebu za upotrebom naprednih tehnika rastriranja kako bi bili uspešnije primenjeni u praksi. Samom promenom parametara rastriranja promena zasićenja ogledaće se u povećanju opsega boja. FM rasterizacija omogućava povećanje opsega i samim tim i zasićenja. Pokrivanjem veće površine podloge FM raster smanjuje neodštampanu površinu papira koja reflektuje fotone bez filtracije kroz nanos boje i na taj način smanjuje grešku proporcionalnosti.
- Štamparski kontrast – je dobar indikator kvaliteta štampe jer detalji u senci daju važne podatke o reprodukciji. Kontrolom štamparskog kontrasta određuje se optimalna debljina nanosa boje na podlogu u korelaciji sa porastom raster tonskih vrednosti.
- Sivi balans – sivi balans FM rastera je bliži osi svetline (*luminous*) koja se proteže od bele do crne tačke nego AM raster. Promena sivog balansa ukazuje na porast rasterske tačke u određenoj separaciji i na taj način omogućava dodatnu korekciju.
- Opseg boja – opseg boja je veći prilikom upotrebe FM rastera. Usled same konstrukcije FM rastera povećanje opsega je evidentirano u delu spektra zelene boje, preko žute pa do crvene čak i u odnosu na standardni Fogra 43 opseg boja za FM štampu.
- Porast raster tonskih vrednosti – upotrebom modela kalibracije i kompenzacije raster tonskih vrednosti korišćenjem LUT tablica, problem porasta rastera je sveden na

najmanji mogući nivo. Iako je veće povećanje raster tonskih vrednosti sa upotrebom FM rastera, razlike u boji nakon kalibracije su neznatne.

- Rezolucija – parametar koji u potpunosti odgovara FM rastriranju. Povećanjem rezolucije mogu se dobiti bolji rezultati upotrebom FM rastera. Sa druge strane, smanjenje rezolucije manje negativno utiče na FM rastersku strukturu nego što je to slučaj sa AM rasterima. Prepoznatljiv šablon pikselizacije je manje vidljiv kod FM rasterske strukture zbog svog stohastičkog rasporeda elemenata.
- Upasivanje – upasivanje je proces kod kojeg se obojenja sa različitih separacija pozicioniraju jedna u odnosu na drugu, treću i četvrtu separaciju, na podlozi. Precizno postavljanje separata jedan na drugi potrebno je iz razloga dobrog uklapanja boja i samim tim dobijanja željenog tona, zatim, dobijanja oštarih detalja na otisku, kao i izbegavanja moiré efekta. Svi ovi negativni efekti pogrešnog upasivanja vezani su za AM raster. Dodatno, u moiré efekat je mnogo manje vidljiv ukoliko se nalazi u visokim frekvencijama koje su omogućene FM rasterom. I u ovom slučaju, upotreba FM rastera smanjuje greške prilikom upasivanja boja, tj. greške će biti manje vidljive nego u odnosu na AM rastersku strukturu.
- Moiré efekat – Jedna od najvećih prednosti FM rastera jeste izbegavanje moiré efekta. Korišćenjem frekventno moduliranih rasterskih struktura uklanja se veliki problem *moiré* efekta prouzrokovan preklapanjem dva ili više šablona. To je jedna od velikih prednosti FM rastera koja mu je omogućila primenu kod uređaja i sistema koji štampaju i više od četiri separacije. Greške u FM rasteru koje se mogu uporediti sa *moiré* efektom su greške koje nastaju nasumičnim preklapanjem izolovanih rasterskih tačaka različitih separacija. Takođe FM raster se može iskoristiti da bi se izbegao moiré efekat koji je prouzrokovan sadržajem slike.
- Oštrina – oštrina otiska povezana je za nekoliko prethodno navedenih parametara. Upasivanje, moiré efekat, kontrast, debljina nanosa boje, svi ovi parametri utiču na konačnu oštrinu otiska. Svakako jedan od ključnih uticajnih parametara za dobijanje bolje oštine otiska jeste veličina rasterskog elementa. Usled sitnijih rasterskih elemenata, raspoređenih van mreže u zavisnosti od elemenata same slike, veća oštrina se može očekivati kod FM rastera. Dodatno, greške u štampi koje mogu dovesti do gubitka oštine su manje primetne kod stohastičkog tipa rastriranja.
- Zrnasta struktura – zrnasta struktura može biti posledica rasterske strukture. Zrnasta struktura, ukoliko je vidljiva okom, predstavlja degradirajući element kvaliteta slike. U FM rasterskim strukturama pokazala se kao degradirajući faktor kod reprodukcija većih dimenzija, ali isključivo na reprodukcijama koje su u sebi sadržale ujednačeni ton ili fine tonske prelaze.

Na osnovu istraženog i izloženog može se zaključiti da, veliki broj uticajnih faktora na stimulus otiska je povezan. Oni mogu biti u pozitivnoj vezi, gde porastom jednog faktora raste i drugi uticajni faktor na stimulus otiska, ali mogu biti i obrnuto srazmerni, gde porast jednog faktora prouzrokuje negativan efekat kod drugog uticajnog faktora, kao što su oštrina i zrnasta struktura.

Kontrola parametara ulaznih i izlaznih podrazumeva standardne uređaje za kontrolu otisaka. Sistem koji omogućava kontrolu otisaka na izlazu mašine omogućuje brzu i vremenski nezahtevnu analizu otisaka i podešavanje parametara mašine. Pre same štampe štamparski sistem je u mogućnosti učitavanja podataka iz RIP uređaja, omogućavajući automatsko podešavanje mašine za tačno određenu štamparsku formu. Vreme podešavanja mašine, na taj način, drastično je smanjeno i ne razlikuje se u zavisnosti od tehnike rasterizacije. U zavisnosti od standarda koji se želi postići proveravaju se tolerancije i pristupa otiskivanju u veoma kratkom roku.

Pored pojednostavljenja procesa izrade, koji se postižu isključujući neke od najvećih nedostataka AM rastera i samim tim skraćanja vremena proizvodnje, uz povećanje kvaliteta, FM raster obezbeđuje i uštede u količini boje koja se upotrebi u procesu proizvodnje. Prosečna ušteda boje prilikom prelaska sa 175 lpi AM raster na 20 μ m FM raster je od 10 do 15%, prema empirijskim podacima. Smanjenje potrošnje boje proizilazi iz smanjenog nanosa boje i kompenzacionih krivi koje se primenjuju u pripremi radi kontrolisanja porasta rasterske tačke. Dalja ušteda boje može se dobiti primenom GCR metoda separacije. Pored uštede na boji GCR metod separacije, omogućava stabilniju stabilnost obojenja, bez problematičnih oscilacija u sivim tonovima (sivi balans).

Najuticajniji atributi na kvalitet otiska jesu oni koji u najvećoj meri degradiraju kvalitet. Visina kvaliteta određenog proizvoda najčešće se određuje najnižim kvalitetom koji poseduje. Na taj način parametar sa najnižim kvalitetom određuje ukupni kvalitet otiska. Ovakva gradnja ukupnog kvaliteta podrazumeva da svaki od parametara mora biti dobro kontrolisan i predvidljiv kako bi otisak odgovarao zahtevima poručioca.

Štamparska forma je nosilac rasterskih elemenata i njihov prenosač na otisak. Odabir štamparske forme je od ključnog značaja za uspešan prijem i transfer boje sa sitnih rasterskih elemenata na otisak. Kao najadekvatnije pokazale su se termo štamparske forme. Termo štamparske forme su pogodne za rad, jer ne zahtevaju posebno osvetljenje i samim tim ni specijalno okruženje kako bi se sa njima rukovalo. Pogodne su za izradu sa FM rasterom jer ne podležu podeksponiranju i preeksponiranju. Ovo je veoma značajno iz razloga što se upravo pogrešnom ekspozicijom mogu izgubiti sitni rasterski elementi, dok je sa ovim tipom štamparskih ploča takva mogućnost svedena na minimum. Pored toga, zbog mogućnosti velikih rezolucija, posebno su pogodne upravo za stohastičke rastere.

Oplemenjivanje otiska, povećavajući opseg boje olakšan je upotrebom FM rastera. Štampa sa više od četiri boje umnogome je olakšana, usled prirode FM rastera, tj. nepostojanja uglova rastera. Kako bi se štampa od više od četiri boje koristila i na AM rasterima, peta i ostale boje morale su biti ili spot ili koristiti neke od uglova rastera primarnih separacija. Ukoliko postoji česta potreba za štampanjem više od četiri separacije, bez obzira koja je peta ili ostale boje, FM rasterizacija pruža mogućnosti koje se mogu u potpunosti iskoristiti za dobijanje otisaka koji će se istaći svojim kvalitetom.

Prilikom odabira tehnike rasterizacije, na osnovu istraživanja, mogu se izdvojiti tri kategorije uticajnih faktora i aspekata:

- Ekonomski aspekt – koji određuje prednosti i ekonomske koristi koje se mogu dobiti investicijom, kao i veličinom investicije koju je potrebno uložiti u promenu tehnika rastriranja
- Grafički sistem – tehnološki nivo razvijenosti grafičkog sistema može odrediti način rasterizacije.
- Razred kvaliteta – određuje se na osnovu prethodna dva parametra, vrstom štampanog proizvoda i potrebama potrošača.

Rezultat razvoja dinamičkog modela kontrole procesnih parametara postupka rastriranja i njihov uticaj na otisak kao stimulus mora biti:

- Ubrzavanje procesa podešavanja proizvodnog sistema radnim uslovima
- Brzo reagovanje na nastale greške u toku proizvodnje
- Analiza i sistematizacija grešaka – podešavanje ulaznih parametara
- Analiza konačnih rezultata

Analizom više metrika za određivanje kvaliteta reprodukcije koje su zasnovane na principu reference, SSIM metrika, zasnovana na analizi strukture slike, daje najbolje rezultate kada je u pitanju analiza sličnosti između rastrirane slike i originala. Kako je analiza bila usresređena na analizu rasterske strukture, tako i ovaj tip metrike, koja zadržava informaciju o strukturi slike, ne primenjujući *low-pass* filtere najviše odgovara ovom tipu analiza. HVS i CSF se ponašaju kao *low-pass* filter, na taj način simulirajući ljudski vid te isključuju vidljivost sitnih detalja rastera, na taj način percipirajući odštampanu površinu kao lokalni prostorni prosek. Metod pripreme reprodukcija sa upotrebom modela omogućuje jednostavniji dolazak do dodatnih informacija o mogućnostima koji određeni tip rastera može ponuditi. Nedostatak primene SSIM metrike jeste njena nemogućnost da analizira boje, međutim, kontrola obojenja i nanosa standardni je deo grafičkog sistema.

Kako bi četvorbojna štampa bila uspešna, moraju se ispuniti određeni preduslovi. Prvi preduslov je dobro upasivanje za svaku boju, drugi je međusobni odnos boje, treći su preduslovi vezani za procese koji se odvijaju u toku štampe, kao što su smanjeno prihvatanje boje zbog već nanete boje, kao i vlažnost papira usled dodira sa sistemom za vlaženje, i četvrto promena dimenzije otiska. Kako će se određeni raster ponašati u ova četiri preduslova odrediće i njegovu upotrebnu vrednost.

Na osnovu prikupljenih podataka i informacija može se definisati model čija implementacija obezbeđuje stabilan sistem i obuhvata parametre postupka rastriranja. Model obuhvata tri celine:

- Transformaciju sistema iz AM u FM
- Definisanje kritičnih tačaka procesa i njihovu kontrolu (priprema, štamparske forme i štampa)
- Povratnu spregu izlaznih rezultata i kontrole

Prilikom uvođenja novih tipova rasterizacije tj. promene rasterizacije koja će se upotrebljavati u grafičkom sistemu, potrebno je uraditi analizu po koracima, koja ima za cilj omogućavanje relevantnih informacija kako bi se potvrdila opravdanost investicija. Analiza po koracima obuhvata sledeće:

1. Analiza pogodnosti sistema za unapređenje rastriranja,
2. Definisanje kritičnih tačaka sistema,
3. Optimizacija i priprema,
4. Analiza tehnika osvetljavanja radi dobijanja optimalne štamparske forme,
5. Primena tehnike rastriranja na zadati sistem,
6. Analiza i unapređenje kvaliteta štampe,
 - a. Definisanje greške, odstupanja od idealnog otiska (digitalnog ili proof-a),
 - b. Kreiranje korekcije,
 - c. Integrisanje korekcionih parametara u napredne tehnike pripreme,
 - d. Memorisanje u bazu podataka,
 - e. Pronalazak optimalnog načina rastriranja za svaku reprodukciju,
 - f. Razlika u stimulusu između originala i reprodukcije.

Primena procesa unapređenja je potrebna ukoliko dođe do promene tipa rastriranja i/ili materijala na kojem se štampa, bez obzira da li je ona već prethodno urađena.

8. Zaključak

Razvoj dinamičkog modela kontrole procesnih parametara postupaka rastriranja i njihov uticaj na stimulus otiska je jedan značajan korak ka implementaciji savremenih tendencija koji za cilj imaju smanjenje troškova proizvodnje kroz povećanje kvaliteta u lancu grafičke reprodukcije. Istraživanja u ovom domenu su aktuelna u svetu i donose značajnije promene u reprodukciji originala. Tendencija u istraživanjima je da se analizi kvaliteta slike i otiska pristupi sa naučnih aspekata. Ova tendencija je veoma opravdana jer određivanje kvaliteta nije jednostavan, nego je više dimenzioni zadatak, a sastoji se kako od objektivnih tako i subjektivnih metoda. Zbog svoje kompleksnosti, dužine trajanja, specifične opreme za objektivnu analizu, potrebe većeg broja ispitanika za subjektivnu analizu, objektivne i subjektivne metode su u korelaciji i objedinjenom analizom daju pouzdanije zaključke. Svako istraživanje koje u sebi sadrži informacije koje mogu pomoći boljim korelacijama između objektivnih i subjektivnih metoda je veoma značajno.

Još od nastanka FM rastera on biva upoređivan sa klasičnim AM rasterom, a rezultati istraživanja doveli su do kreiranja velikog broja varijacija stohastičkih rastera. FM raster je svoju punu primenu pronašao u digitalnoj tehnici štampe i omogućio joj da se po kvalitetu približi ofsetnoj tehnici štampe. Svojim prednostima se već uveliko nameće kao raster visokog kvaliteta i u ofset tehnici, ali nepoznavanje njegovih karakteristika stvara određeno nepoverenje u primenjenim tehnikama reprodukcije. Proizvođači CTP uređaja pružaju mogućnost osvetljavanja štamparskih formi sa određenom vrstom FM rastera. Tamo gde fina struktura FM rastera nije upotrebljiva može se koristiti hibridni raster koji, uvodi određene prednosti FM rastera u konvencionalnu, mrežnu konstrukciju AM rastera. Samo ovaj podatak dovoljno govori o tome da prednosti stohastičkog rastera nisu samo u domenu teorijskih, nego su itekako primenljive i vidljive u praksi.

Najveći izazov u procesu dobijanja slike i njene reprodukcije, bez obzira na izlazni uređaj je opseg boja. Opseg boja originalne slike je, najčešće veći nego što su to mogućnosti postizanja izlaznog uređaja. Odabir modela reprodukcije koji će obezbediti očuvanje maksimalnog opsega boje ključ je za unapređenje kvaliteta reprodukcije u proizvodnim procesima. Međutim opseg boja nije jedinstveni parametar nego je rezultat više različitih parametara procesa pripreme i otiskivanja koji su bili predmet ovog istraživanja, ali i individualnih parametara samog grafičkog sistema. U radu su izdvojeni parametri koji su univerzalni i primenljivi na svaku vrstu štampe i grafičkih sistema, dok su sami grafički sistemi, zbog svoje individualnosti objedinjeni kroz internacionalni standard ISO 12647, koji je primenljiv na sve forme digitalnog probnog otiska, sve vrste štampe koje koriste štamparske forme sa četvorobojnim separacijama boja, na štampu na kartonskim materijalima za ambalažu, i grafičke sisteme koje koriste različite metode sušenja otisaka.

Model analize procesnih parametara rastriranja omogućava brži prolazak podataka od stanice do stanice sistema reproduccionog grafičkog procesa, smanjenu mogućnost uticaja spoljašnjih faktora koji mogu negativno da utiču ne samo na kvalitet otiska nego i njegove druge karakteristike upravo preko brzine dobijanja finalnog proizvoda, pojave otkaza u lancu reprodukcije, sprečavanje širenja greške, i kada se ona dogodi, na sledeće faze procesa, već njeno otkrivanje i uklanjanje. Ovakav model takođe omogućava razvoj baze grešaka koje se često javljaju u procesu čijom se analizom mogu detektovati sistemске greške. Krajnji cilj je povećanje kvaliteta izrade otiska i stimulusa otiska koji dolazi do korisnika reprodukcije.

Ovakav pristup je u skladu sa savremenim trendovima u grafičkoj reprodukciji koji se pretežno baziraju na kontroli procesa a ne više samo na usklađivanju prvog otiska sa probnim.

Istraživanjima su obuhvaćeni parametri koji utiču na stimulus otiska a zavisni su od tipa rasterizacije. U delu analize dostignuća u predmetnoj oblasti istraživanja diskutovani su različiti tipovi rasterizacije, zatim su određeni ključni parametri koji utiču na stimulus otiska. Parametri koji su istraživani u prethodnim eksperimentima autora ovog istraživanja analizirani su kroz prizmu njihove dinamike u odnosu na tip rastriranja, dok su definisani i novi, do sada ne zabeleženi dinamički parametri, čiji je uticaj potvrđen kroz eksperimentalna istraživanja. Uticaj parametra dimenzija rasterizacije može biti od velikog značaja prilikom kreiranja novih objektivnih metoda određivanja kvaliteta slike, kao i pri određivanju tipa rasterizacije u komercijalnim uslovima.

Kvalitet slike nije jednostavno definisati, pogotovo ne objektivnim metodama, jer je skup više različitih hemijsko-fizičkih faktora koji se moraju pri analizi raščlaniti, oceniti, odrediti njihove važnosti, tj. uticaj na ukupni kvalitet i zatim ponovo zbrojiti kako bi smo dobili jednu vrednost, ocenu kvaliteta. Ovakav pristup iziskuje spajanje više različitih područja nauke u jednu multidisciplinarnu celinu kako bi se obuhvatila sva kompleksnost ovog pitanja. Bez ovakvog pristupa metrika za određivanje kvaliteta slike biće u slaboj korelaciji sa stvarnim posmatračima,

tj. korisnicima štampanih medija. Ovim istraživanjem se pruža doprinos jednom kompleksnom pitanju iz ugla oblasti nauke koji se bavi grafičkim inženjerstvom i dizajnom.

Primena modela analize dinamičkih parametara omogućiće definisanje putanje za optimalnu primenu alternativnih modela rastriranja kroz:

- studioznu analizu pogodnosti sistema za unapređenje procesa rastriranja,
- egzaktno definisanje kritičnih tačaka sistema,
- definisanje metode kontrole i analize kritičnih tačaka sistema,
- optimizaciju i uticaj na pripremne tehnike od grafičke pripreme do izrade štamparske forme,
- analizu mogućih načina osvetljavanja štamparske forme u cilju dobijanja rasterske slike što je moguće približnije originalu,
- primenu razvijene optimalne tehnike rastriranja za zadati sistem.

Svaka od tehnika rastriranja ima svoje prednosti i mane, koje u zavisnosti od onoga što je potrebno odštampati, koje dolaze do izražaja u reprodukciji. Poznavanje prednosti i mana svake od tehnika rasterizacije omogućava pronalaženje optimalnog načina rasterizacije za svaki komercijalni zahtev. Kao rezultat se očekuje povećanje kvaliteta štampe, lakše upravljanje procesom štampe, ponovljivost štampe nakon određenog vremena, manje količine makulature, brža priprema mašine za štampu kao skraćanje vremena trajanja toka procesa.

Primena modela omogućila bi proizvodni tok bez nekontrolisanih parametara i zaokruženost informacija. Pre samog procesa štampe svi kritični parametri koji će uticati na proces su poznati i samim tim mogu se preduzeti akcije kako bi se smanjili njihovi negativni uticaji i samim tim pojave otkaza usled neprilagođenih parametara kao i širenje greške koje se ogledala u nekontrolisanom ukupnom porastu rasterske tačke, koji ima negativan uticaj na stimulus samog otiska (neodgovarajuće osvetljena štamparska forma, koja dalje u mašini prouzrokuje veći porast...). U okviru modela mogla bi se formirati i baza sistemskih grešaka koje mogu da se jave u procesu izrade.

Komercijalna primena ovakvog modela, osim direktnim uticajem na grafički sistem, indirektno može poboljšati stimulus potrošača kroz veću slobodu dizajnera proizvoda, koji će obezbediti bolju vidljivost proizvoda na tržištu.

U prilog upotrebljivosti stohastičkog rastera idu podaci koji su prikupljeni u toku eksperimentalne štampe i istraživanja. Može se reći da upotrebnom FM rastera slike postaju oštrije, prikazuju više detalja, što se posebno ističe kada su u pitanju reprodukcije manjih dimenzija. Prilikom štampe nisu primećena veća odstupanja i varijacije u odnosu na štampu sa AM rasterom. Pripremno vreme mašine i količina makulature su bili u granicama koje su ustanovljene pri štampi sa konvencionalnim rasterom. Postizanje otiska koji se nalazi unutar

ISO 12647-2:2006 standarda je proteklo bez problema dok su parametri ostali stabilni kroz štampu čitavog tiraža. Na osnovu štampe koja je urađena za potrebe istraživanja može se zaključiti da je sistem stabilan kada je bez uticaja spoljašnjih faktora. Gustina obojenja, porast rasterske tačke su bili unutar tolerancije propisane ISO 12647-2:2006 standardom dok je merenje spektrofotometrom pokazalo da je dobijen veći opseg boje nego što to predviđa ICC profil za aperiodičnu strukturu rastera *PSO Coated NPscreen ISO12647*.

Prilikom uvođenja novih tehnika rastriranja mora se razviti svest da je potrebno konstantno nadziranje sistema po svim ključnim parametrima štamparskog procesa prikazanih u istraživanju kako bi se dobio očekivani izlazni rezultat. Uvođenje odgovarajućeg modela analize je najbolji način za eliminisanje svih spoljašnjih uticaja koji mogu da poremete kvalitet štampe. Ne sme se desiti da se prilikom grafičke proizvodnje na štamparskom tabaku ne nalaze elementi kontrole, kontrolne merne trake, oznake za pozicioniranje separacija ili da se ne koriste instrumenti za kontrolu odštampanog otiska. Svaki od instrumenata mora biti redovno servisiran i kalibrisan kako bi pružio relevantne rezultate merenja. Kako bi se uspešno implementirao stohastički raster u proizvodni proces neophodno je da se sakupe sva potrebna znanja kako o samom proizvodnom procesu tako i o tehnici otiskivanja. Kontrola procesnih parametara mora biti sastavni deo grafičke proizvodnje a ne samo povremena kontrola tekst uzoraka. Ona se sastoji od početne kontrole kvaliteta pripreme i separacija boje, montaže tabaka i adekvatnog kreiranja pdf ili ps fajla. Odabir odgovarajućeg profila za rasterizaciju u RIP uređaju je sledeći korak za pravilnu pripremu štamparskih formi, kao i primena odgovarajućih kompenzacionih krivi koje će RIP koristiti. Takođe bitno je obezbediti rad štamparskog sistema u nepromenljivim uslovima štampe iz dana u dan, čime standardizacija proizvodnje postaje neizbežan faktor koji će obezbediti konstantan kvalitet.

Dalja istraživanja mogu se usredsrediti, kada je u pitanju FM raster, na način uklapanja različitih separacija boja na način da iako su kreirane stohastičkim rasterom njihovo uklapanje ne bude slučajno. Separacije moraju biti ograničene i kreirane jedna u odnosu na drugu kako bi se izbegao moiré efekat koji nastaje slučajnim preklapanjem nezavisnih stohastičkih šablona.

Štamparska forma kao nosilac informacija veoma je značajna u procesu štampe. Mogućnosti određenih tipova štamparske forme odrediće i način rastriranja. Razvijanje u pravcu kreiranja i održavanja mikronskih veličina rasterskog elementa omogućiće sigurniju primenu savremenih tehnika rastriranja. Novi tipovi štamparskih formi koji će imati mogućnost ponovnog iskorišćavanja su u procesu razvoja i zbog brojnih drugih prednosti koji takav jedan proces nosi verovatno je da će, kada bude imao dovoljnu stabilnost i kvalitet zameniti konvencionalne štamparske forme. Mogućnosti novih tipova štamparskih formi mogu dati prevagu jednom ili drugom tipu rastriranja ili ih čak bez problema oba implementirati istovremeno.

Kako je napomenuto da je kontrola procesa veoma važna za stabilnost sistema, nove tehnike objektivne analize štampane slike su veoma interesantno područje. Ukoliko se uzme u obzir da je kontrola obojenja jedan od glavnih parametara standardizacije i uvodi se kao najbitniji

parametar kontrole štampe po ISO 12647-2:2013, ono što ostaje predmet analize jeste struktura slike. Metrike koje će analizirati strukturu slike i vršiti objektivnu ocenu kvaliteta na osnovu strukturalnih karakteristika mogle bi biti traženo rešenje kako bi se definisao ukupan kvalitet štampe. Kako je otisak nastao od originala koji je u elektronskom obliku, može se koristiti jednostavniji tip metrike za određivanje ukupnog kvaliteta slike nazvan referentna metrika. Jedan od algoritama koji su pokazali odgovarajućim za ovakav tip analize sa dobrom korelacijom sa ispitanicima jeste i SSIM.

Unapređenja grafičke boje se nikako ne smeju izostaviti kada je u pitanju dalji razvoj reprodukcije. Veličina pigmenata u boji može biti direktno vezana za nemogućnost primene mikronskih rasterskih elemenata, gde preveliki pigmenti jednostavno neće moći da se zadrže na sitnim štampanim površinama. Potreba za što manjim pigmentom može dovesti do primene nano boja koje mogu dovesti do prelomne tačke kada je u pitanju i odabir tehnike rastriranja, možda čak i do štampe kontinualnih tonova.

Sva ova unapređenja bi trebala da imaju cilj koji je veoma jasno definisati, a to je smanjenje gubitaka informacija u odnosu na original.

Rezultati prikazani u istraživanju su potvrdili postavljenu hipotezu kroz razvoj dinamičkog modela kontrole parametara rastriranja koji kao rezultat imaju poboljšanje otiska kao stimulusa čime se značajno utiče na kvalitet otiska a time i procesa reprodukcije.

9. Naučni doprinos istraživanja i mogućnost primene u praksi

Naučni doprinos istraživanja se ogleda u savremenom metodološkom prilazu razvoja dinamičkog modela kontrole parametara rastriranja koji kao rezultat ima novi proces reprodukcije kroz rasterizaciju koja dovodi do poboljšanja otiska kao stimulusa čime se značajno utiče na kvalitet proizvoda. U istraživanjima je izdvojen uticaj tehnike reprodukcije na kvalitet otiska. Bez promene ijednog drugog parametra reprodukcije, kao što su rezolucija i linijatura, promena dimenzije odštampane slike može dovesti do promene kvaliteta, kada je u pitanju komparacija AM i FM rasterske strukture. Prednosti ovako razvijenog procesa se ogledaju u kreiranju kvalitetnijih alata za analizu primenjenih vrsta rasterizacije, koji će dati ujednačenije i jasnije rezultate procesa reprodukcije.

Razvijeni dinamički model otvara mogućnost praktične primene u grafičkim proizvodnim procesima. Prilikom određivanja optimalnog načina rasterizacije, rezultati mogu pomoći pri odabiru odgovarajuće metode u zavisnosti od konkretnog proizvodnog problema i potreba.

U istraživanjima kroz dobijene rezultate se došlo do zaključka da AM i FM tip rastriranja ima prednosti bez kojih kvalitet rasterizacije opada. Kombinovanje ova dva tipa rasterizacije je pravac u kojem će se dalje usavršavati i razvijati dinamički model rasterizacije. Načini kombinovanja i spajanja, određivanje struktura reprodukcije koje će biti rastrirani različitim rasterima kao i veličina samih slika moraju biti ulazni parametri kod kreiranja rastera treće generacije.

Analiza sadržaja i strukture slike (Rouse & Hemami, 2008), (He, 2004) prilikom kreiranja rasporeda rasterskih tačaka bi trebala da u sebe unese i podatke o finalnim dimenzijama koje će slika imati kada izađe iz štampe što je potvrđeno kroz dobijene eksperimente i ispitivanja.

Kroz studioznu analizu poznatih parametara, test štampu obe tehnike rastriranja, objektivnim i subjektivnim metodama definisani su parametri rastriranja koji imaju najveći uticaj na stimulus otiska. Razvijeni dinamički model rasterizacije daje mogućnost procesne kontrole dobijanja otiska kao stimulusa. Taj stimulus ima izuzetan značaj u predstavljanju proizvoda kroz otiske na grafičkoj ambalaži i grafičkim proizvodima. Ovim načinom se realizuje direktna sprega krajnjeg

cilja usmerenog ka kupcu. Takođe, dati su predlozi za njihovu kontrolu pre i u toku samog procesa štampe.

Eksperimenti su realizovani objektivnim metodama istraživanja a ispitivanjima se došlo do metodologije ocenjivanja kvaliteta reprodukcije. Istraživanja daju pregled najznačajnijih metrika, i na osnovu njihovih karakteristika i načina izračunavanja nivoa kvaliteta predložena je metrika koja će dati najbolje rezultate u skladu sa definisanim značajnim parametrima rasterske strukture.

U razvoju dinamičkog modela kontrole parametara rastriranja, koji kao rezultat imaju poboljšanje otiska kao stimulusa, došlo se do parametara koji značajno utiču na kvalitet otiska. Pri ovom su korišćeni su realni objekti koji imaju primenu u praksi.

Kroz istraživanja se došlo do metodologije povećanja kvaliteta otiska ubacivanjem jedne separacije FM načina rastriranja, radi povećanja broja detalja, u AM separaciju, uz način određivanja površine pod FM rasterom.

Razvijeni dinamički model izdvaja predlog parametara koji se mogu koristiti prilikom uspešnosti implementacije novog načina rastriranja u proizvodni proces ili tehničko-tehnološko unapređenje procesa.

Očekivani rezultati primene u praksi po kojima se može ocenjivati uspešnost implementacije ogledaju se kroz:

- Povećanje kvaliteta,
- Lakše upravljanje procesom štampe (manje varijacije),
- Ponovljivost štampe,
- Manje makulature,
- Brzina priprema mašine,
- Skraćenje vremena toka,
- Manji utrošak boje,
- Ekonomski isplativije procese.

10. Literatura

- Aijazi, A.T., 2010. Hybrid Color Halftoning Hybrid Color Halftoning Examensarbete utfört i medieteknik Ahmed Tausif Aijazi.
- Alford, J. & Mitsa, T., 1999. An adaptive iterative multistage , multichannel halftone algorithm. *Displays* 20, 20(April), pp.83–91.
- Amidror, I., Hersch, R.D., Ostromoukhov, V., 1994. Spectral analysis and minimization of moire patterns in color separation, *J. Electron. Imaging*, vol. 3, no. 3, pp. 295-317.
- Amirshahi, S.A., A Framework for Applying Image Quality Metrics on Printed Images. , pp.127–131.
- Anand, A., 2003. Tracing of interference fringes using average gray value and simultaneous row and column scan. *Optics & Laser Technology*, 35(2), pp.73–79. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0030399202001433>.
- Arney, J.S.: Color Desktop Printer Technology: Image Quality of Printed Text and Images; Rochester Institute of Technology, New York, USA, February, 2006.
- Aspler, J., 2003. The subjective print quality of commercial heatset offset prints Physical Measurements : , 9, pp.226–229.
- Bang, Y., Pizlo, Z., Allebach, J. P. 2005. Perception based hardcopy banding metric. IS&T NIP21: International Conference on Digital Printing Technologies, pp. 78-83, Baltimore, MD
- Barltleson, C. J., 1982. The combined influence of sharpness and graininess on the quality of color prints. *J. Photogr. Sci.*, 30, pp.33-38

- Bartolić, T. Majnarić, I., Bracić, M., Golubović, K., 2013. DOT GAIN EVALUATION BY CHANGING DOT SHAPES AND SCREEN RULING ON PRINTS DEFINED OUTSIDE OF OFFSET STANDARD. In *17th international conference on printing, design and graphic communications Blaž Baromić*. Senj, Croatia: Croatian Society of Graphic Artists, Croatia, pp. 205–221.
- Bayer, B.E., 1973. An optimum method for two-level rendition of continuous-tone pictures. In *IEEE International Conference on Communications*. pp. 11–15.
- Bergman, L., 2005. *Using Multicoloured Halftone Screens for Offset Print Quality Monitoring*
- Bradley, D.R., McGrath, S. G., Cutcomb, S. D. 1979. Type I error rate of the chi-square test in independence in $R \times C$ tables that have small expected frequencies. *Psychological Bulletin*, 86(6), pp.1290–1297.
- Braden Sutphin Ink Company., Stochastic screening – What is it and why is it a hot issue ... today and tomorrow, pp.1–5.
- Burkes, D., 1988. Presentation of the Burkes error filter for use in preparing continuous-tone images for presentation on bi-level devices, *LIB 15* (Publications), CIS Graphics Support Forum.
- Chen, J., Chen, T.-S. & Pan, Y.-M., 2005. A crisscross checking technique for tamper detection in halftone images. *Journal of Systems and Software*, 76(3), pp.287–295. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0164121204000998> [Accessed June 28, 2015].
- Cigula, T., Bolanča, S. & Majnarić, I., 2006. STUDY OF TRAPPING IN DIGITAL OFFSET PRINTING. In *Blaž Baromić*. pp. 127–132.
- ColorGate, *Technical background information Screen printing mesh – carrier of the stencil*,
- Colour Splash., Benefits of FM screening, Strategy Briefing
- Company, E.K., 2006. *Advanced screening technology for consistent , reliable , high-impact print production Staccato*.
- Committee for Graphic Arts Technologies Standards (CGATS). (1993, Reaffirmed 1998), Graphic Technology – Graphic Arts Reflection Densitometry Measurements – Terminology, Equations, *Image Elements and Procedures*, Reston, VA: NPES, The Association for Suppliers of Printing and Publishing Technologies.
- Cornsweet, T. W., 1971. Visual Perception, Academic Press, New York.

- Crilly, N., Moultrie, J. & Clarkson, P.J., 2004. Seeing things: consumer response to the visual domain in product design. *Design Studies*, 25(6), pp.547–577. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0142694X04000225> [Accessed August 14, 2013].
- CIE. Colorimetry. Technical Report 15, 2004.
- Cui, C., 2000. Comparison of Two Psychophysical Methods for Image Color Quality Measurement: Paired Comparison and Rank Order. In *Color and Imaging Conference, 8th Color and Imaging Conference Final Program and Proceedings*. Society for Imaging Science and Technology, pp. 222–227.
- Cui, C., Cao, D., Love, S., 2001. Measuring visual threshold of inkjet banding. Image Processing, Image Quality, Image Capture, Systems Conference (PICS), pp. 84-89, Montreal, Canada, IS&T.
- Daly, S., 1992. Visible differences predictor: an algorithm for the assessment of image fidelity, *Proc. SPIE 1666*, pp. 2–15.
- Denecker, K. Ville, D. V. D., Habils, F., Meeus, W., Brunfaut, M., Lemahieu, I. 2002. Design of an improved lossless halftone image compression codec. *Signal Processing: Image Communication*, 17, pp.277–292.
- Dharavath, H., Bensen, T. & Gaddam, B., 2005. Analysis of Print Attributes of Amplitude Modulated (AM) vs. Frequency Modulated (FM) Screening of Multicolor Offset Printing. *Journal of Industrial Technology*, 21(3). Available at: [http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Analysis+of+Print+Attributes+of+Amplitude+Modulated+\(AM\)+vs.+Frequency+Modulated+\(FM\)+Screening+of+Multicolor+Offset+Printing#0](http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Analysis+of+Print+Attributes+of+Amplitude+Modulated+(AM)+vs.+Frequency+Modulated+(FM)+Screening+of+Multicolor+Offset+Printing#0) [Accessed August 8, 2014].
- Dunn, D.F. & Mathew, N.E., 2000. Extracting color halftones from printed documents using texture analysis. *Pattern Recognition*, 33, pp.445–463.
- Eerola, T. Lensu, L., Kälviäinen, H., Kamarainen, J-K., Leisti, T. Nyman, G., Halonen, R. Oittinen, P. 2010. Full Reference Printed Image Quality: Measurement Framework and Statistical Evaluation. *Journal of Imaging Science and Technology*, 54(1), p.010201. Available at: <http://www.ingentaconnect.com/content/ist/jist/2010/00000054/00000001/art00003> [Accessed January 15, 2015].
- Engel drum, P., 1999. Image quality modeling: Where are we? *PICS*, pp.251–255. Available at: http://www.imcotek.com/pdf_temp/PICC_99_IQM.pdf [Accessed August 12, 2014].
- Engel drum, P., 2001. Psychometric Scaling: Avoiding the pitfalls and hazards. *PICS*, pp.101–107. Available at: http://www.imcotek.com/pdf_temp/PICS-27.pdf [Accessed August 12, 2014].

- Engeldrum, P., 2002. Extending image quality models. *IS AND TS PICS CONFERENCE*, (5), pp.1–4. Available at: http://www.imcotek.com/pdf_temp/PICS_2002.PDF [Accessed August 12, 2014].
- Engeldrum, P., 2004. A theory of image quality: The image quality circle. *Journal of imaging science and technology*, 48(5), pp.446–456. Available at: <http://www.ingentaconnect.com/content/ist/jist/2004/00000048/00000005/art00012> [Accessed August 12, 2014].
- Fairchild, D. M. 2005. Color Appearance Models, drugo izdanje, Munsell Color Science Laboratory RIT, USA, ISBN 0-470-01216-1
- Fan Z., Harrington, S., 1999. Semi-vector error diffusion for color images, in Color imaging: device-independent color, color hardcopy, and graphic arts, *Proc. SPIE*, 3648, 466–469.
- Ferreira, T. & Rasband, W., 2011. *The ImageJ user guide*, Available at: <http://imagej.nih.gov/ij/docs/guide> [Accessed March 24, 2014].
- Field, G.G., 1987. Influence of Ink Sequence on Color Gamut, TAGA Proceedings, pp. 673–677
- Fleming, P.D., Dollak, J. & Fryzlewicz, S., 1994. Stochastic screening : what to do when your rip doesn ' t support it and comparison with conventional halftone Abstract : Introduction : Experimental Procedures : , pp.15–23.
- Fribert, M., 2003. Separation model of colour regions in a halftone print. *Computers & Graphics*, 27(5), pp.801–806. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0097849303001523> [Accessed June 28, 2015].
- Floyd, R. W., and L. Steinberg, "An Adaptive Algorithm for Spatial Gray Scale," *International Symposium Digest of Technical Papers*, Society for Information Displays, 1975, p. 36.
- Fung, Y. & Chan, Y., 2009. A MULTISCALE ERROR DIFFUSION ALGORITHM. In *17th European Signal Processing Conference (EUSIPCO 2009) Glasgow*,. Glasgow, pp. 2258–2262.
- Fung, Y. & Chan, Y., 2013. Tone-dependent noise model for high-quality halftones. *Journal of Electronic Imaging*, 22(2), p.023004. Available at: <http://dx.doi.org/10.1117/1.JEI.22.2.023004> [Accessed February 11, 2015].
- Funkhouser, T., 2009. Image Compositing. , pp.1–9., 2010. Image Processing. , pp.1–15., 2000. Image Quantization , Halftoning , and Dithering. , pp.1–15., Image Warping • Any function of u and v : , pp.1–12.
- Gast, G. & Tse, M. K. 2001. A report on a subjective print quality survey conducted at NIP16. NIP 17: International conference on Digital Printing Technologies, pp. 723–727, Fort Lauderdale, FL.

- Gomes, J., Color Halftoning with Stochastic Screening and Adaptive Clustering. , pp.1–21.
- Gooran, S., 2005. Hybrid halftoning, a useful method for flexography. *Journal of Imaging Science and Technology*, 49(1), pp.85–95. Available at: <http://www.ingentaconnect.com/content/ist/jist/2005/00000049/00000001/art00011> [Accessed August 8, 2014].
- Grice, J. & Allebach, J.P., 1999. The Print Quality Toolkit : An Integrated Print Quality Assessment Tool. *Journal of Imaging Science and Technology*, 43(2), pp.187–199.
- Gulrajani, M.L., 2010. *Colour measurement*, Woodhead Publishing.
- Guo, J. & Liu, Y., Multi-tone Watermark Hiding in Halftone Images Using Generalized Noise-Balanced Error Diffusion.
- Guoliang, X. & Qingping, T., 2010. Color Shift of Printing with Hybrid Halftone Images for Overlay Misalignment. , pp.497–501.
- Halonen, R., Westman, S. & Oittinen, P., Naturalness and interestingness of test images for visual quality evaluation. In *Proc. SPIE 7867*.
- Harman, P. M. 1998: The Natural Philosophy of James Clerk Maxwell. Cambridge University Press. ISBN 052100585
- Hassan, M., 2012. Structural Similarity Measure for Color Images. , 43(14), pp.7–12
- Hauck, S., 2015. Automated CTP Calibration for Offset Printing Dot Gain Compensation, register variation and trapping evaluation, PhD Thesis, Department of Science and Technology, Linköping, University of Sweden
- He, Z., 2004. AM/FM halftoning: digital halftoning through simultaneous modulation of dot size and dot density. *Journal of Electronic Imaging*, 13(2), p.286. Available at: <http://electronicimaging.spiedigitallibrary.org/article.aspx?doi=10.1117/1.1669555> [Accessed August 8, 2014].
- Herron, S., 2008. A Guide to Halftone Technologies Strategies and methods, Isis Imaging Corporation.
- Hersch, R.D., Ostromoukhov, V. & Fédérale, E.P., Recent Progress in Digital Halftoning for Color Reproduction State of the Art Report. , pp.1–8.
- Hladnik, A., Muck, T., Lazar, M. 2011: Frequency Modulated Halftone Images and their objective and subjective quality assessment. *Xth Seminar in graphic arts: book of proceedings*, pp. 88-93, ISBN 978-80-7395-420-8, Pardubice, September 2013, University of Pardubice, Department of Graphic Arts and Photophysics, Pardubice

- Hladnik, A., Muck, T., Stanić, M., Černič, M., 2012. Fast Fourier Transform in Papermaking and Printing: Two Application Examples, *Acta Polytechnica Hungarica*, Vol. 9, No. 5, pp. 155-166.
- Hunt, R.W.G., 1987. The reproduction of Colour, *Fountain Press*, England, 1987)
- Itoua, P., Beghdadi, A. & Leseigno, P.V.D.E., 2010. OBJECTIVE PERCEPTUAL EVALUATION OF HALF TONING USING IQ Metrics. In *10th International Conference on Information Science, Signal Processing and their Applications (ISSPA 2010)*. pp. 456–459.
- Jähne, B., 2005. *Digital Image Processing*, Springer Berlin Heidelberg New York.
- Jarvis, J. F., Judice, C. N., Ninke, W. H., 1976. A Survey of Techniques for the Display of Continuous Tone Pictures on Bilevel Displays, *Computer Graphics and Image Processing*, vol. 5, pp. 13–40.
- James, T. H. 1977. *The Theory of the Photographic Process*, 4 izdanje, MacMillan
- Johnson, G. M., Fairchild, M. D., 2002. On contrast sensitivity in an image difference model, *In Image Processing, Image Quality, Image Capture, System Conference (PICS)*, pp. 18-23, Portland, OR
- Kang H., 1999. Digital Color Halftoning. SPIE Press, Bellingham WA
- Karlović, I. Tomić, I., Jurič, I. Pinčjer, I. 2014. FINDING THE RELATION BETWEEN AM AND FM HALFTONING WITH S-CIE LAB METRICS. In *7th Symposium of Information and Graphic Arts Technology*. Ljubljana: University of Ljubljana, Faculty of Natural Sciences, pp. 50–55.
- Kašiković, N., Pinčjer, I., 2008. Primer investicije pri prelasku na CTP tehnologiju, Naučno - stručni simpozijum GRID, Vol. 286, pp. 59-64, ISBN 978-86-7892-145-2
- Ke, N. He, X., Wang, Y., Zhang, Y. 2014. Improving Clapper – Yule model of the reflectance prediction by the path branching factor depending on the screen frequency of color halftone imaging. *Optik - International Journal for Light and Electron Optics*, 125, pp.6242–6244.
- Keif, M.G. & Goglio, T., Identifying High-Volume Printing Processes. , pp.35–42.
- Kuehni, R.G., 2003. *Color Space & its Divisions*, John Wiley & Sons Publication.
- Lau, D.L., Arce, G.R. & Gallagher, N.C., 1998. Green-noise digital halftoning. *Proceedings of the IEEE*, 86(12), pp.2424–2444
- Lau, D.L., Arce, G.R., 2008. Modern digital halftoning 2nd.ed., Taylor & Francis Group, LLC, USA
- Lau, D.L., Ulichney, R., 2006. Blue-Noise Halftoning for Hexagonal Grids. , 15(5), pp.1270–1284.

- Lau, D.L., Ulichney, R. & Arce, G.R., 2003a. Blue- and Green-Noise Halftoning Models. *IEEE Signal processing magazine*, (July), pp.28–38.
- Lau, D.L., Ulichney, R. & Arce, G.R., 2003b. Fundamental Characteristics of Halftone Textures : Blue-Noise and Green-Noise.
- Lawler, B.P., 2003. Resolving the halftone resolution issue : how many dpi does it take to make an lpi ? , pp.1–7.
- Lawler, B.P., Know thy enemy : understanding dot gain and its effects. , pp.1–5.
- Lee, H.-C., 2005. *Introduction to Color Imaging Science*, Cambridge University Press.
- Liu, H. Huang, M., Liu, Y., Wu, B., Xu, Y. 2013. Color-Difference Evaluation for Digital and Printed Images. *Journal of Imaging Science and Technology*, 57(September 2012), pp.1–9. Available at: <http://www.ingentaconnect.com/content/ist/jist/pre-prints/content-jist5754820> [Accessed January 28, 2015].
- Liu, X. & Ehrich, R., 2000. Analysis of moire patterns in non-uniformly sampled halftones. *Image and Vision Computing* 18, 18, pp.843–848.
- Mahovic, S., Mandić, L., Agić, D., Gojo, M. 2005. A CONTRIBUTION TO THE AM AND THE FM SCREENING IN THE GRAPHIC REPRODUCTION PROCESS. In *DAAAM International Scientific Book 2005*. Vienna, pp. 395–404.
- Majnarić, I. Hasan, T., Igor, Z., Stanislav, B. 2008. The influence of the structure of the offset rubber on the screen reproduction. *International Conference MATRIB ...*, pp.173–182. Available at: <http://bib.irb.hr/datoteka/360760.Majnari.pdf> [Accessed March 24, 2014].
- Majnarić, I., Bolanča, I., Bolanča, Z., Milković, M. 2005. Conditions in Digital Printing of Packaging on the Print Quality. In Amsterdam, The Netherlands: The Society for Imaging Science and Technology, pp. 97–99.
- Majnarić, I., 2004. *The quality of digital prints caused by aging of printing substrate – Kvaliteta digitalnih otisaka uvjetovana starenjem tiskovne podloge*, Magistarski rad, Zagreb.
- Majnarić, I., Zadro, A. & Pučić, I., 2006. SCREEN SHAPES AND THE INK APPLICATION AS THE FACTORS OF QUALITATIVE OFFSET PRINTING. In *Braž Baromić*. Senj, Croatia, pp. 79–88.
- Mandić, I. Majnarić, I., Agić, D., Pap, K., Stanić, N. 2008. THE QUALITY OF DIGITAL PRINT. In *10th International DesignConferenceDESIGN2008*. Dubrovnik: University of Zagreb, Faculty of Graphic Arts, Croatia, pp. 1453–1458.
- Mese, M. & Vaidyanathan, P., 2001. Recent Advances in Digital Halftoning and Inverse Halftoning Methods. *IEEE TRANSACTIONS ON CIRCUITS AND SYSTEMS I*, XX(Y).

- Metaxas, P.T., 2003. Parallel Digital Halftoning by Error-Diffusion.
- Mitsa, T., Ulichney, R. & Parker, K.J., 1991. The Construction and Evaluation of Halftone Patterns with Manipulated Power Spectra. In *Raster Imaging and Digital Typography II*. pp. 90–97.
- Miyata, K., Tsumura, N., Haneishi, H., Miyake, Y. 1999. Subjective image quality for multi-level error diffusion and its objective evaluation method. *Journal of Imaging Science and Technology*, 43(2), pp.170-177.
- Mohawk Paper Mills, I., 2006. *Conventional and stochastic screens*, New York. Available at: www.mohawkpaper.com.
- Namedanian, M. & Gooran, S., 2011. Characterization of Total Dot Gain by Microscopic Image Analysis. *Journal of Imaging Science and Technology*, 55(4), p.040501. Available at: <http://www.ingentaconnect.com/content/ist/jist/2011/00000055/00000004/art00009>.
- Nedeljković, U., Puškarević, I., Pinčjer, I. 2015. The effectiveness of juice box graphic design solution incongruent with consumer memory schema, *Printing and Design 2015*, Zagreb, Akademija Tehničkih Znanosti Hrvatske - Centar za grafičko inženjerstvo i Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 27–28.3.2015; ISBN 978-953-7064-28-0
- Ng, Y. Zeise, E., Mashtare, D., Kessler, J., Wang, J., Kuo, C., Maggard, E., Mehta, P. 2003. Standardization of Perceptual based Gloss and Gloss Uniformity for Printing Systems. , pp.4–9.
- Nilsson, F., 1997. Objective quality measures of halftoned images. *International Conference on Digital Printing Conference*, pp. 569-573, Seattle, WA, IS&T.
- Nilsson, F., 1999. Digital Halftoning using Pre-Computed Maps. *Journal of Imaging Science and Technology*, 43(2), pp.153–159.
- Noffke, P. & Seymour, J., 2012. A Universal Model for Halftone Reflectance. In *Proceedings of the Technical Association of the Graphic Arts (TAGA '12)*. pp. 1–40.
- Norberg, O. & Andersson, M., 2009. Perceived Image Quality of Printed Images and Their Relation to Paper Properties. In *Seventeenth Color Imaging Conference: Color Science and Engineering Systems, Technologies, and Applications*. Albuquerque, New Mexico, pp. 210–215.
- Novaković, D., Pešterac, Č.: *Denzitometrija i kolorimetrija*, FTN, Novi Sad, 2004.
- Novaković, D., Pavlović, Ž., Karlović, I., Pešterac, Č.: *Reprodukciona tehnika - priručnik za vežbe*, FTN, Novi Sad, 2009.
- Novaković, D., Pavlović, Ž., Dedijer, S. 2013. *Od kompjutera do štampe : Computer to Plate tehnologije*, FTN izdavaštvo, Tehničke nauke – udžbenici, 434

- Ohta, N. & Robertskan, A.R., 2005. *Colorimetry Fundamentals and Applications*, John Wiley & Sons Publication.
- Oittinen, P. Halonen, R., Kokkonen, A., Leisti, T., Nyman, G., Eerola, T. 2008. Framework for modeling visual printed image quality from the paper perspective. *Proc. SPIE*, 6808, pp.1–12.
- Oittinen, P., Huttu, I., Mensonen, A., 1996. End user preferences of quality of on-demand printed products, International Conference on Digital Printing Technologies, pp. 147-152, San Antonio, IS&T.
- Oliver, G.R., 2007. *Apparent quality of alternative halftone screening when compared to conventional screening in commercial offset lithography*.
- Oliver, G.R., Waite, J.J. & Structures, D., 2003. Authentic Assessment of the Halftoning Process : Conventional , Stochastic , and Hybrid Halftone Dot Structures In this paper , a series of multilevel activities is provided so that teachers can authentically assess their students ' knowledge of halftone . , (April).
- Ostromoukhov, V. Emmel, P., Rudaz, N., Amidror, I., Hersch, R D., 1996. MULTI-LEVEL COLOUR HALFTONING ALGORITHMS 1. , 2949, pp.332–340.
- Pappas, T., 2004. Model-Based Halftoning.
- Pappas, T.N. & Member, S., 1997. Model-Based Halftoning of Color Images. *IEEE Transaction on image processing*, 6(7), pp.1014–1024.
- Parker, K.J., 2002. Prediction of the texture visibility of color halftone patterns. *Journal of Electronic Imaging*, 11(2), p.195. Available at: <http://electronicimaging.spiedigitallibrary.org/article.aspx?doi=10.1117/1.1455010> [Accessed March 13, 2015].
- Pearson, ML. 1980. N-Value of General Conditions, Proceedings of TAGA-Technical Association of the Graphic Arts, 415-425
- Pedersen, M. Bonnier, N., Hardeberg, J Y., Albregtsen, F., 2011. Image Quality Metrics S. P. Farnand & F. Gaykema, eds. , 7867, pp.786702–786702–19. Available at: <http://proceedings.spiedigitallibrary.org/proceeding.aspx?articleid=730981> [Accessed August 8, 2014].
- Pedersen, M., Hardeberg, J. Y., 2009. Survey of full-reference image quality metrics: classification and evaluation. *Hogskolen i Gjøviks rapportserie 5*, The Norwegian Color Research Laboratory, ISSN: 1890-520X
- Peli, E., 1990. Contrast in complex images, *J. Opt. Soc. Am. A* 7, 2032

- Petrić Maretić, K., Majnarić, I. & Modrić, D., 2010. Analytical description of screen element edge. In *14th international conference on printing, design and graphic communications Blaž Baromić*. Senj, Croatia: University of Zagreb, Faculty of graphic arts Pulp and paper institute, Ljubljana, Slovenia, University of Ljubljana, Faculty of natural sciences and engineering, Ljubljana, Slovenia, pp. 330–343.
- Pinčjer, I., Nedeljković, U. & Draganov, S., 2014. Subjective analysis of image quality : experts and naïve. In *International Symposium on Graphic Engineering and Design GRID, Proceedings*. Novi Sad, Serbia, pp. 449–456.
- Pinčjer, I., Nedeljković, U. & Nedeljković, S., 2010. Colour gamut of FM screening. In *Grid10 Proceedings*. FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES GRAPHIC ENGINEERING AND DESIGN, pp. 273–278.
- Pinčjer, I., Nedeljković, U. & Papić, M., 2012. Development of FM screens. *JGED Journal of Graphic Engineering and Design*, 3(1), pp.1–8.
- Pinčjer, I., Vladić, G., Avramović, D., Kašiković, N., 2008. Analiza kvaliteta amplitudno modulisanog i frekventno modulisanog štamparskog rastera u ofsetnoj štampi, Naučno - stručni simpozijum GRID, Vol. 286, pp. 145-154, ISBN 978-86-7892-145-2
- Pinčjer, I., Pal, M., 2010. Analysis of halftone dots deformation in the process of packaging and exploitation of cardboard package, Simpozijum o konstruisanju, oblikovanju i dizajnu – KOD, pp. 249-252, ISBN 978-86-7892-278-7
- Pons, A.M. Malo, J., Artigas, J. M., Capilla, P., 1999. Image quality metric based on multidimensional contrast perception models. *Displays* 20, 20, pp.93–110.
- Printcolor, Frequency-modulated halftones for screen printing. , pp.1–3.
- Printing and Copy Services, 2009. Digital Imaging for Print Media. *FactSheet*, 14(5), p.8.
- Puhalla, D.M., 2008. *Perceiving hierarchy through intrinsic color structure*, Available at: <http://vcj.sagepub.com/cgi/doi/10.1177/1470357208088759> [Accessed March 13, 2015].
- Puškarčić, M., Jurić, N. & Majnarić, I., 2000. INFLUENCE OF THE RENDERING METHODS ON DEVIATIONS IN PROOF PRINTING. , (October). Available at: http://bib.irb.hr/datoteka/429307.puskaric_juric_majnaric.pdf [Accessed March 24, 2014].
- Qian, Y., Mahfooth, N. & Kyan, M., 2013. Improving the Yule-Nielsen modified spectral Neugebauer model using Genetic Algorithms. In *45th Annual Conference of the International Circle*.
- Reid, B. D., Apostol, B. 2004. Extended Gamut Printing Pantone Hexachrome, Presentation www.rpimaging.com

- Rouse, D. M., & Hemami, S. S. (2008). Analyzing the Role of Visual Structure in the Recognition of Natural Image Content with Multi-Scale SSIM. In *SPIE Human Vision and Electronic Imaging XIII*.
- Roetiling, P. G., 1976. Visual performance and image coding, *Proc. SPIE*, Vol. 74, pp. 195-199.
- Rosen, M., Ohta, N. 2006. Color desktop printer technology, Boca Raton, Florida: CRC Press. ISBN 978-0824753641.
- Rosenberg, A. and A. Paul, "Color Gamut Improvement When Using FM-Screening," *TAGA Proceedings*, pp. 594-605 (1999)
- Rosenberger, R. & Clark, D., 2000. *Predicting half-tone print mottle using digital imaging and stochastic frequency distribution analysis*,
- Rouse, D.M. & Hemami, S.S., 2008. Analyzing the Role of Visual Structure in the Recognition of Natural Image Content with Multi-Scale SSIM. In *SPIE Human Vision and Electronic Imaging XIII*.
- Rovamo, J.M. & Kankaanpa, M.I., 1999. Modelling spatial contrast sensitivity functions for chromatic and luminance-modulated gratings. *Vision Research*, 39, pp.2387–2398.
- Sawyer, J. F., 1980. Effect of graininess and sharpness on perceived print quality, *Photographic Image Quality Symposium*, pp. 222-231, Oxford, UK, Royal Photographic Society.
- Science, C., 2010. Full Reference Printed Image Quality : Measurement Framework and Statistical Evaluation. , 54(1), pp.1–48.
- Sheikh, H.R. & Bovik, A.C., 2006. Image Information and Visual Quality. *IEEE TRANSACTIONS ON IMAGE PROCESSING*, 15(2), pp.430–444.
- Sierra, F., 1989. LIB 17 (Developer's Den), CIS Graphics Support Forum
- Simonian, G.N., 2003. Comparative Study between Different Digital and Offset Litho Printing Systems. *DESIDOS Bulletin of Information Technology*, 23(1), pp.43–55.
- Slavuj, R., Nussbaum, P. & Hardeberg, J.Y., 2013. Review and analysis of spectral characterization models and halftoning for multi-channel printing. In *IARIGAI*.
- Streckel, B. Steuernagel, B., Falkenhagen, E., Jung, E., 2003. Objective Print Quality Measurements Using a Scanner and a Digital Camera. In *DPP2003:IS&Ts International Conference on Digital Production Printing and Industrial Applications*. Barcelona, pp. 145–147.

- Stucki, P., 1981. MECCA – A multiple-error correcting computation algorithm for bilevel image hardcopy reproduction, *Research Report RZ1060*, IBM Research Laboratory, Zurich, Swetzerland.
- Trussell, H.J. & Vrhel, M.J., 2008. *Fundamentals of digital imaging*, Available at: <http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=uWrVD50DU-YC&oi=fnd&pg=PT7&dq=Fundamentals+of+Digital+Imaging&ots=KDytPvxs9t&sig=3Yfw6QM4ztRq9rn4lleUui6uZYk> [Accessed March 24, 2014].
- Ulichney, R., 1976. *Digital Scaling of Binary Images*. Massachusetts Institute of Technology.
- Ulichney, R., 1988. Dithering with Blue Noise. *Proceedings of the IEEE*, 76(1), pp.56–79.
- Ulichney, R., 1989. Frequency Analysis of Ordered Dither. *SPIE*, 1079, pp.361–373.
- Ulichney, R., 1994. Halftone Characterization in the Frequency Domain. In *IS&T's Annual Conference/ICPS*. pp. 464–467.
- Ulichney, R., 1999. Review of halftoning techniques. *Electronic Imaging*. Available at: <http://proceedings.spiedigitallibrary.org/proceeding.aspx?articleid=920677> [Accessed August 8, 2014].
- Velho, L. & Gomes, J., 1995. Stochastic Screening Dithering with Adaptive Clustering. In *SIGGRAPH '95 Proceedings of the 22nd annual conference on Computer graphics and interactive techniques*. pp. 273–276. Available at: ISBN:0-89791-701-4 .
- Velho, L. & Gomes, J., 2002. Color Halftoning with Stochastic Dithering and Adaptive Clustering. In *First European Conference on Color in Graphic, Image and Vision (CGIV)*. Poitiers, France: IS&T, pp. 627–632.
- Wang, Z. Bovik, A., Sheikh, H., Simoncelli, E., 2004. Image quality assessment: from error visibility to structural similarity. *IEEE transactions on image processing : a publication of the IEEE Signal Processing Society*, 13(4), pp.600–612. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15376593>.
- Wang, Z., Simoncelli, E.P. & Bovik, A.C., 2003. Multiscale structural similarity for image quality assessment. In *The Thrity-Seventh Asilomar Conference on Signals, Systems & Computers, 2003*. IEEE, pp. 1398–1402. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=1292216> [Accessed February 20, 2015].
- Warnock, J.E., 1969. *A hidden surface algorithm for computer generated halftone pictures*, Technical report 4-15. Salt Lake City, Utah: University of Utah.
- Wolin, D., Johnson, K. & Kipman, Y., 1998. The importance of objective analysis in image quality evaluation. *NIP & Digital Fabrication ...*, pp.603–606. Available at:

- <http://www.ingentaconnect.com/content/ist/nipdf/1998/00001998/00000002/art00065> [Accessed August 14, 2014].
- Xi, S. & Zhang, Y., 2013. Neugebauer reflectance model of frequency modulation halftone image. *Optik - International Journal for Light and Electron Optics*, 124(15), pp.2103–2105. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S003040261200469X> [Accessed June 28, 2015].
- X-rite, 2000. A Guide to Understanding Graphic Arts Densitometry, 3100 44th Street SW, Grandville, MI 49418.
- Yu, Q. & Parker, K.J., 1997. Stochastic Screen Halftoning for Electronic Imaging Devices. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 8(4), pp.423–440. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1047320397903631>.
- Yule, J.A.C. & Neilsen, W.J., 1951. The penetration of light into paper and its effect on halftone reproduction. In *TAGA (Technical Association of the Graphic Arts) Proceedings*. pp. 65–76.
- Zeise, E.K. Williams, D., Burns, P., Kress, W., 2007. Scanners for Analytic Print Measurement – the devil in the details. In L. C. Cui & Y. Miyake, eds. *Proc. SPIE Vol. 6494, Image Quality and System Performance IV*. San Jose, CA, USA, p. 64940L.
- Zhang, X., Wandell, B. A., 1996. A spatial extension of CIELAB for digital color image reproduction. In *Soc. Inform. Display 96 Digest*, p.731-794, San Diego, CA
- Zhang, Y. & Xing, W., 2013. Optik Reflectance prediction model of frequency modulation halftone image copied by variable dot-volume press. *Optik - International Journal for Light and Electron Optics*, 124, pp.1730–1735.
- Zhuge, X. & Nakano, K., 2010. Halftoning via Error Diffusion using Circular Dot-overlap Model. *International Journal of Digital Content Technology and its Applications*, 4(6), pp.8–17. Available at: http://www.aicit.org/jdcta/paper_detail.html?q=206 [Accessed March 13, 2015].

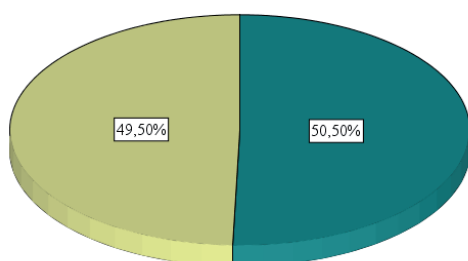
11 PRILOZI

P.11.1 – odgovori ispitanika za tražene attribute kvaliteta

Tabela P.11.1 Profesionalna opredeljenost ispitanika
ima veze sa grafičkom industrijom

		Frekvencija	Procenat	ni procenat
	Da	51	50,5	50,5
	Ne	50	49,5	49,5
	Total	101	100,0	100,0

■ Da
■ Ne

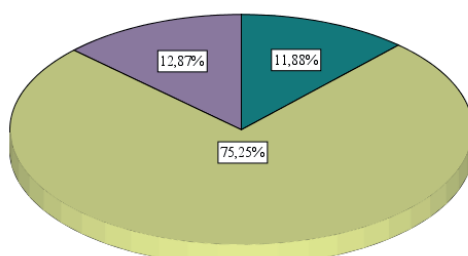


Slika P.11.1 Grafički prikaz povezanosti ispitanika za grafičkom industrijom

Tabela P.11.2 Profesionalna struktura ispitanika

		Frekvencija	Procenat	ni procenat
	Predavač	12	11,9	11,9
	Student	76	75,2	75,2
	Drugo	13	12,9	12,9
	Total	101	100,0	100,0

■ Predavač
■ Student
■ Drugo



Slika P.11.2 Grafički prikaz strukture ispitanika

IZRAŽENOST VARIJABLI ISTRAŽIVANJA

Tabela P.11.3 Najrealističnija reprodukcija (slika 1.1)

		Frekvencija	Procenat
	A (20μm)	51	50,5
	B (40μm)	3	3,0
	C (150lpi)	10	9,9
	D (175lpi)	37	36,6
	Total	101	100,0

$$\chi^2=60,54, df=2, p=0,000$$

Tabela P.11.4 Najrealističnija reprodukcija (slika 1.2)

		Frekvencija	Procenat
	A (20μm)	40	39,6
	B (40μm)	3	3,0
	C (150lpi)	20	19,8
	D (175lpi)	35	34,7
	Nema razlike	3	3,0
	Total	101	100,0

$$\chi^2=59,54, df=4, p=0,000$$

Tabela P.11.5 Najrealističnija reprodukcija (slika 1.3)

		Frekvencija	Procenat
	A (20μm)	7	6,9
	B (40μm)	8	7,9
	C (150lpi)	35	34,7
	D (175lpi)	51	50,5
	Total	101	100,0

$$\chi^2=55,00, df=3, p=0,000$$

Tabela P.11.6 Najmanje приметna zrnasta struktura (slika 2.1)

		Frekvencija	Procenat
	A (20μm)	61	60,4
	B (40μm)	5	5,0
	C (150lpi)	10	9,9
	D (175lpi)	11	10,9
	Nema razlike	14	13,9
	Total	101	100,0

$$\chi^2=105,08, df=4, p=0,000$$

Tabela P.11.7 Najrealističnija reprodukcija (slika 2.1)

		Frekvencija	Procenat
	A (20μm)	53	52,5
	B (40μm)	8	7,9
	C (150lpi)	7	6,9
	D (175lpi)	17	16,8
	Nema razlike	16	15,8
	Total	101	100,0

$$\chi^2=70,63, df=3, p=0,000$$

Tabela P.11.8 Najmanje приметna zrnasta struktura (slika 2.2)

		Frekvencija	Procenat
	A (20μm)	72	71,3
	B (40μm)	5	5,0
	C (150lpi)	5	5,0
	D (175lpi)	16	15,8
	Nema razlike	3	3,0
	Total	101	100,0

$$\chi^2=171,22, df=4, p=0,000$$

Tabela P.11.9 Najrealističnija reprodukcija (slika 2.2)

		Frekvencija	Procenat
	A (20μm)	54	53,5
	B (40μm)	4	4,0
	C (150lpi)	11	10,9
	D (175lpi)	26	25,7
	Nema razlike	6	5,9
	Total	101	100,0

$$\chi^2=85,38, df=4, p=0,000$$

Tabela P.11.10 Najmanje приметna zrnasta struktura (slika 2.3)

		Frekvencija	Procenat
	A (20μm)	79	78,2
	B (40μm)	6	5,9
	C (150lpi)	7	6,9
	D (175lpi)	3	3,0
	Nema razlike	6	5,9
	Total	101	100,0

$$\chi^2=214,39, df=4, p=0,000$$

Tabela P.11.11 Najrealističnija reprodukcija (slika 2.3)

		Frekvencija	Procenat
	A (20μm)	66	65,3
	B (40μm)	4	4,0
	C (150lpi)	14	13,9
	D (175lpi)	10	9,9
	Nema razlike	7	6,9
	Total	101	100,0

$$\chi^2=132,51, df=4, p=0,000$$

Tabela P.11.12 Najmanje приметna zrnasta struktura (slika 3.1)

		Frekvencija	Procenat
	A (20μm)	64	63,4
	B (40μm)	7	6,9
	C (150lpi)	14	13,9
	D (175lpi)	10	9,9
	Nema razlike	6	5,9
	Total	101	100,0

$$\chi^2=120,63, df=4, p=0,000$$

Tabela P.11.15 Najrealističnija reprodukcija (slika 3.2)

		Frekvencija	Procenat
	A (20μm)	48	47,5
	B (40μm)	8	7,9
	C (150lpi)	15	14,9
	D (175lpi)	16	15,8
	Nema razlike	14	13,9
	Total	101	100,0

$$\chi^2=49,74, df=4, p=0,000$$

Tabela P.11.13 Najrealističnija reprodukcija (slika 3.1)

		Frekvencija	Procenat
	A (20μm)	48	47,5
	B (40μm)	6	5,9
	C (150lpi)	17	16,8
	D (175lpi)	19	18,8
	Nema razlike	11	10,9
	Total	101	100,0

$$\chi^2=53,40, df=4, p=0,000$$

Tabela P.11.16 Najmanje приметna zrnasta struktura (slika 3.3)

		Frekvencija	Procenat
	A (20μm)	42	41,6
	B (40μm)	6	5,9
	C (150lpi)	24	23,8
	D (175lpi)	24	23,8
	Nema razlike	5	5,0
	Total	101	100,0

$$\chi^2=46,37 df=4, p=0,000$$

Tabela P.11.14 Najmanje приметna zrnasta struktura (slika 3.2)

		Frekvencija	Procenat
	A (20μm)	64	63,4
	B (40μm)	4	4,0
	C (150lpi)	14	13,9
	D (175lpi)	11	10,9
	Nema razlike	8	7,9
	Total	101	100,0

$$\chi^2=121,42, df=4, p=0,000$$

Tabela P.11.17 Najrealističnija reprodukcija (slika 3.3)

		Frekvencija	Procenat
	A (20μm)	30	29,7
	B (40μm)	7	6,9
	C (150lpi)	20	19,8
	D (175lpi)	33	32,7
	Nema razlike	11	10,9
	Total	101	100,0

$$\chi^2=25,68, df=4, p=0,000$$

Tabela P.11.18 Najmanje приметna zrnasta struktura (slika 4.1)

		Frekvencija	Procenat
	A (20μm)	86	85,1
	B (40μm)	6	5,9
	C (150lpi)	3	3,0
	D (175lpi)	4	4,0
	Nema razlike	2	2,0
	Total	101	100,0

$$\chi^2=268,35, df=4, p=0,000$$

Tabela P.11.21 Najrealističnija reprodukcija (slika 4.2)

		Frekvencija	Procenat
	A (20μm)	63	62,4
	B (40μm)	5	5,0
	C (150lpi)	12	11,9
	D (175lpi)	13	12,9
	Nema razlike	8	7,9
	Total	101	100,0

$$\chi^2=115,38, df=4, p=0,000$$

Tabela P.11.19 Najrealističnija reprodukcija (slika 4.1)

		Frekvencija	Procenat
	A (20μm)	70	69,3
	B (40μm)	4	4,0
	C (150lpi)	13	12,9
	D (175lpi)	10	9,9
	Nema razlike	4	4,0
	Total	101	100,0

$$\chi^2=156,47, df=4, p=0,000$$

Tabela P.11.22 Najmanje приметna zrnasta struktura (slika 4.3)

		Frekvencija	Procenat
	A (20μm)	89	88,1
	B (40μm)	6	5,9
	C (150lpi)	2	2,0
	D (175lpi)	1	1,0
	Nema razlike	3	3,0
	Total	101	100,0

$$\chi^2=293,60, df=4, p=0,000$$

Tabela P.11.20 Najmanje приметna zrnasta struktura (slika 4.2)

		Frekvencija	Procenat
	A (20μm)	85	84,2
	B (40μm)	3	3,0
	C (150lpi)	5	5,0
	D (175lpi)	5	5,0
	Nema razlike	3	3,0
	Total	101	100,0

$$\chi^2=260,04, df=4, p=0,000$$

Tabela P.11.23 Najrealističnija reprodukcija (slika 4.3)

		Frekvencija	Procenat
	A (20μm)	61	60,4
	B (40μm)	8	7,9
	C (150lpi)	15	14,9
	D (175lpi)	13	12,9
	Nema razlike	4	4,0
	Total	101	100,0

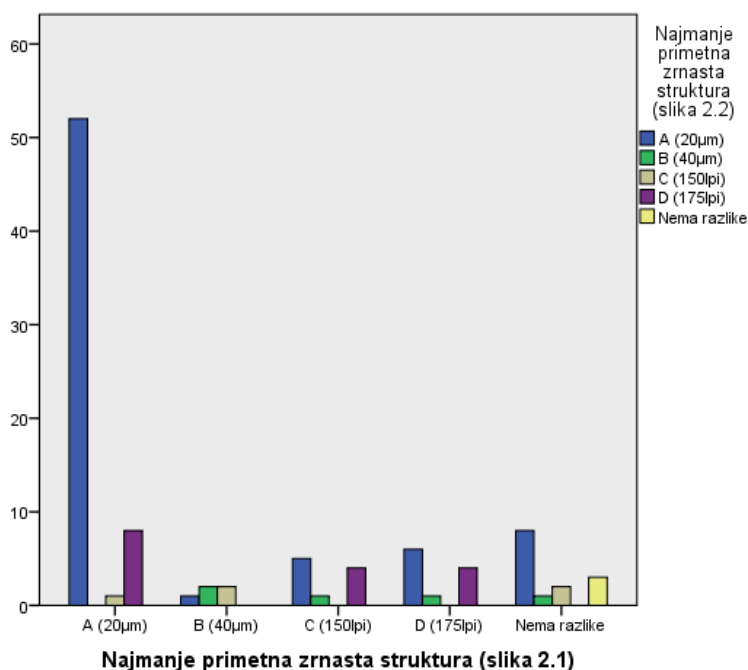
$$\chi^2=106,67, df=4, p=0,000$$

P.11.2 Unakrsna provera za slike: 2 – kafa, 3 – tanjir i 4 - automobil

Tabela P.11.24 Najmanje приметna zrnasta struktura (slika 2.1) * Najmanje приметna zrnasta struktura (slika 2.2)

			Najmanje приметna zrnasta struktura (slika 2.2)					Total
			A (20μm)	B (40μm)	C (150lpi)	D (175lpi)	Nema razlike	
Najmanje primetna zrnasta struktura (slika 2.1)	A (20μm)	Ukupno	52	0	1	8	0	61
		%	85,2%	0,0%	1,6%	13,1%	0,0%	100,0%
	B (40μm)	Ukupno	1	2	2	0	0	5
		%	20,0%	40,0%	40,0%	0,0%	0,0%	100,0%
	C (150lpi)	Ukupno	5	1	0	4	0	10
		%	50,0%	10,0%	0,0%	40,0%	0,0%	100,0%
	D (175lpi)	Ukupno	6	1	0	4	0	11
		%	54,5%	9,1%	0,0%	36,4%	0,0%	100,0%
	Nema razlike	Ukupno	8	1	2	0	3	14
		%	57,1%	7,1%	14,3%	0,0%	21,4%	100,0%
Total		Ukupno	72	5	5	16	3	101
		%	71,3%	5,0%	5,0%	15,8%	3,0%	100,0%

$$\chi^2=67,24, df=12, p=0,000$$



Slika P.11.3 Grafički prikaz unakrsne provere po atributu najmanje приметna zrnasta struktura za slike 2.1 i 2.2.

Tabela P.11.25 Najmanje приметna zrnasta struktura (slika 2.1) * Najmanje приметna zrnasta struktura (slika 2.3)

			Najmanje приметna zrnasta struktura (slika 2.3)					Total
			A (20μm)	B (40μm)	C (150lpi)	D (175lpi)	Nema razlike	
Najmanje primetna zrnasta struktura (slika 2.1)	A (20μm)	Ukupno	55	2	2	1	1	61
		%	90,2%	3,3%	3,3%	1,6%	1,6%	100,0%
	B (40μm)	Ukupno	2	2	0	1	0	5
		%	40,0%	40,0%	0,0%	20,0%	0,0%	100,0%
	C (150lpi)	Ukupno	6	2	2	0	0	10
		%	60,0%	20,0%	20,0%	0,0%	0,0%	100,0%
	D (175lpi)	Ukupno	8	0	2	1	0	11
		%	72,7%	0,0%	18,2%	9,1%	0,0%	100,0%
	Nema razlike	Ukupno	8	0	1	0	5	14
		%	57,1%	0,0%	7,1%	0,0%	35,7%	100,0%
Total		Ukupno	79	6	7	3	6	101
		%	78,2%	5,9%	6,9%	3,0%	5,9%	100,0%

$$\chi^2=56,28, df=16, p=0,000$$

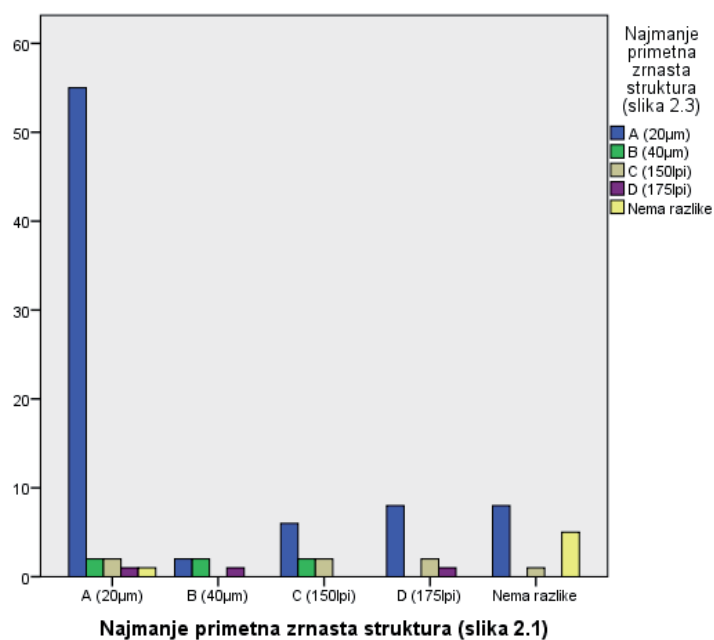
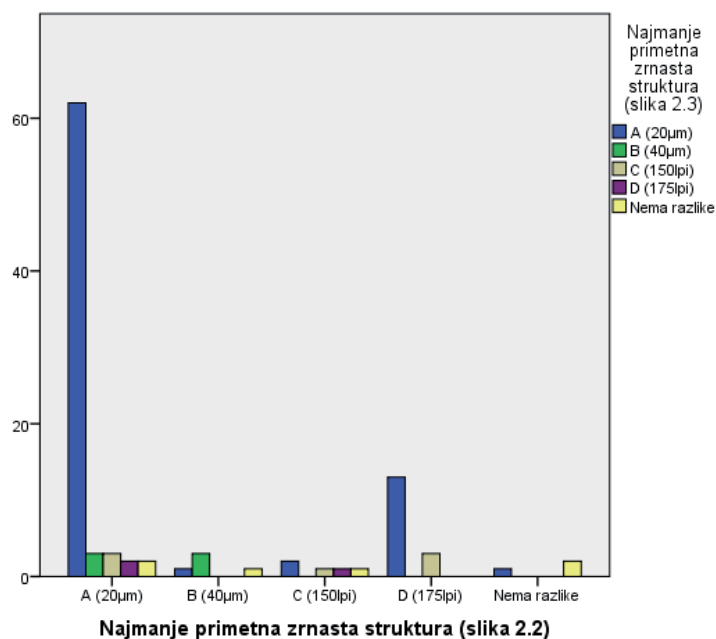
*Slika P.11.4* Grafički prikaz unakrsne provere po atributu najmanje приметna zrnasta struktura za slike 2.1 i 2.3.

Tabela P.11.26 Najmanje приметna zrnasta struktura (slika 2.2) * Najmanje приметna zrnasta struktura

			Najmanje приметna zrnasta struktura (slika 2.3)					Total
			A (20μm)	B (40μm)	C (150lpi)	D (175lpi)	Nema razlike	
Najmanje primetna zrnasta struktura (slika 2.2)	A (20μm)	Ukupno	62	3	3	2	2	72
		%	86,1%	4,2%	4,2%	2,8%	2,8%	100,0%
	B (40μm)	Ukupno	1	3	0	0	1	5
		%	20,0%	60,0%	0,0%	0,0%	20,0%	100,0%
	C (150lpi)	Ukupno	2	0	1	1	1	5
		%	40,0%	0,0%	20,0%	20,0%	20,0%	100,0%
	D (175lpi)	Ukupno	13	0	3	0	0	16
		%	81,2%	0,0%	18,8%	0,0%	0,0%	100,0%
	Nema razlike	Ukupno	1	0	0	0	2	3
		%	33,3%	0,0%	0,0%	0,0%	66,7%	100,0%
Total		Ukupno	79	6	7	3	6	101
		%	78.2%	5.9%	6.9%	3.0%	5.9%	100.0%

$$\chi^2=66,39, df=16, p=0,000$$

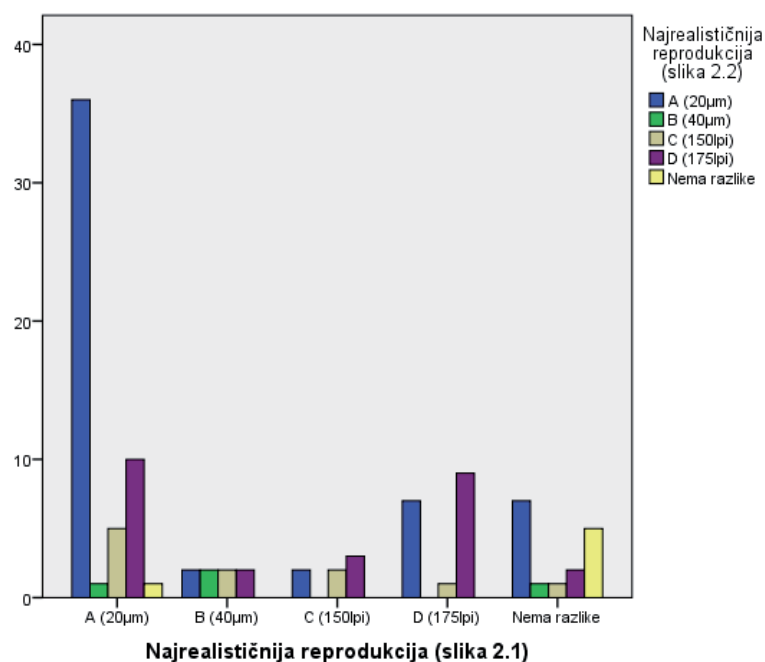


Slika P.11.5 Grafički prikaz unakrsne provere po atributu najmanje приметna zrnasta struktura za slike 2.2 i 2.3.

Tabela P.11.27 Najrealističnija reprodukcija (slika 2.1) * Najrealističnija reprodukcija (slika 2.2)

			Najrealističnija reprodukcija (slika 2.2)					Total
			A (20μm)	B (40μm)	C (150lpi)	D (175lpi)	Nema razlike	
Najrealističnija reprodukcija (slika 2.1)	A (20μm)	Ukupno	36	1	5	10	1	53
		%	67,9%	1,9%	9,4%	18,9%	1,9%	100,0%
	B (40μm)	Ukupno	2	2	2	2	0	8
		%	25,0%	25,0%	25,0%	25,0%	0,0%	100,0%
	C (150lpi)	Ukupno	2	0	2	3	0	7
		%	28,6%	0,0%	28,6%	42,9%	0,0%	100,0%
	D (175lpi)	Ukupno	7	0	1	9	0	17
		%	41,2%	0,0%	5,9%	52,9%	0,0%	100,0%
	Nema razlike	Ukupno	7	1	1	2	5	16
		%	43,8%	6,2%	6,2%	12,5%	31,2%	100,0%
Total		Ukupno	54	4	11	26	6	101
		%	53,5%	4,0%	10,9%	25,7%	5,9%	100,0%

$$\chi^2=48,18, df=16, p=0,000$$

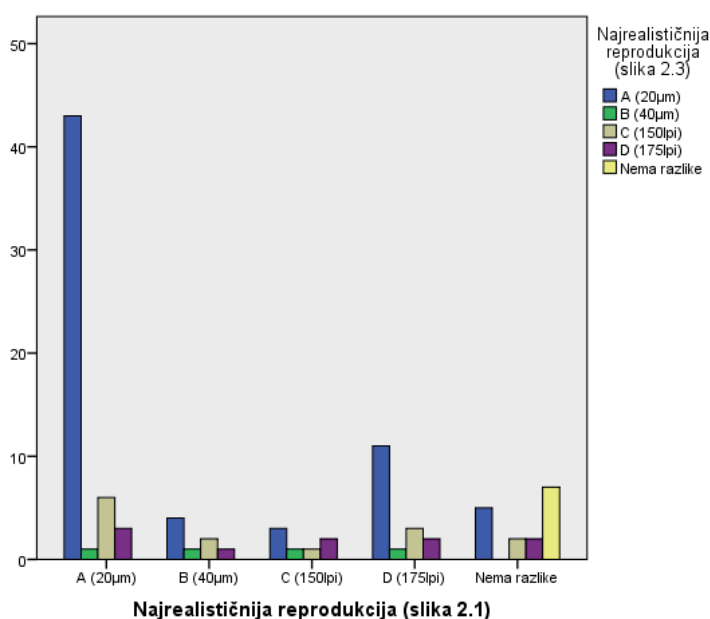


Slika P.11.6 Grafički prikaz unakrsne provere po atributu najrealističnija reprodukcija za slike 2.1 i 2.2.

Tabela P.11.28 Najrealističnija reprodukcija (slika 2.1) * Najrealističnija reprodukcija (slika 2.3)

			Najrealističnija reprodukcija (slika 2.3)					Total
			A (20μm)	B (40μm)	C (150lpi)	D (175lpi)	Nema razlike	
Najrealističnija reprodukcija (slika 2.1)	A (20μm)	Ukupno	43	1	6	3	0	53
		%	81,1%	1,9%	11,3%	5,7%	0,0%	100,0%
	B (40μm)	Ukupno	4	1	2	1	0	8
		%	50,0%	12,5%	25,0%	12,5%	0,0%	100,0%
	C (150lpi)	Ukupno	3	1	1	2	0	7
		%	42,9%	14,3%	14,3%	28,6%	0,0%	100,0%
	D (175lpi)	Ukupno	11	1	3	2	0	17
		%	64,7%	5,9%	17,6%	11,8%	0,0%	100,0%
	Nema razlike	Ukupno	5	0	2	2	7	16
		%	31,2%	0,0%	12,5%	12,5%	43,8%	100,0%
Total		Ukupno	66	4	14	10	7	101
		%	65,3%	4,0%	13,9%	9,9%	6,9%	100,0%

$$\chi^2=52,42, df=16, p=0,000$$

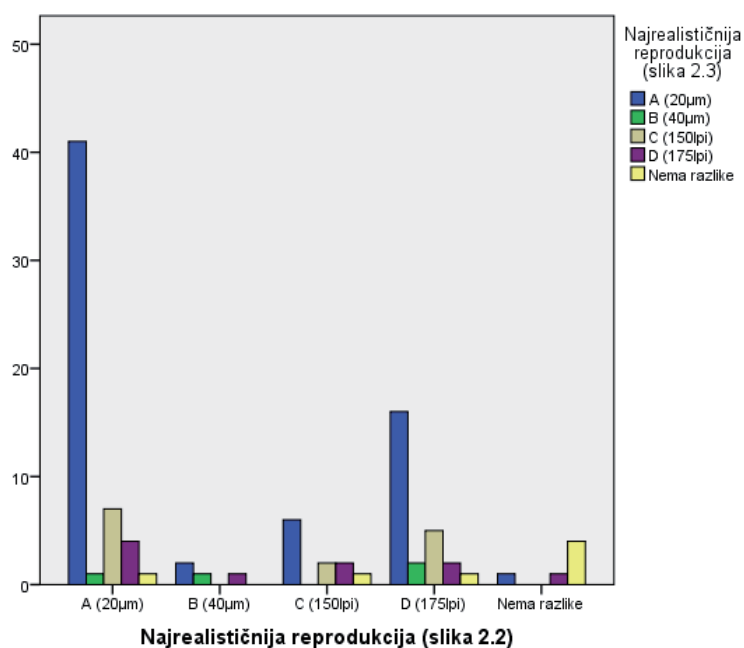


Slika P.11.7 Grafički prikaz unakrsne provere po atributu najrealističnija reprodukcija za slike 2.1 i 2.3.

Tabela P.11.29 Najrealističnija reprodukcija (slika 2.2) * Najrealističnija reprodukcija (slika 2.3)

			Najrealističnija reprodukcija (slika 2.3)					Total
			A (20μm)	B (40μm)	C (150lpi)	D (175lpi)	Nema razlike	
Najrealističnija reprodukcija (slika 2.2)	A (20μm)	Ukupno	41	1	7	4	1	54
		%	75,9%	1,9%	13,0%	7,4%	1,9%	100,0%
	B (40μm)	Ukupno	2	1	0	1	0	4
		%	50,0%	25,0%	0,0%	25,0%	0,0%	100,0%
	C (150lpi)	Ukupno	6	0	2	2	1	11
		%	54,5%	0,0%	18,2%	18,2%	9,1%	100,0%
	D (175lpi)	Ukupno	16	2	5	2	1	26
		%	61,5%	7,7%	19,2%	7,7%	3,8%	100,0%
	Nema razlike	Ukupno	1	0	0	1	4	6
		%	16,7%	0,0%	0,0%	16,7%	66,7%	100,0%
Total		Ukupno	66	4	14	10	7	101
		%	65,3%	4,0%	13,9%	9,9%	6,9%	100,0%

$$\chi^2=48,39, df=16, p=0,000$$



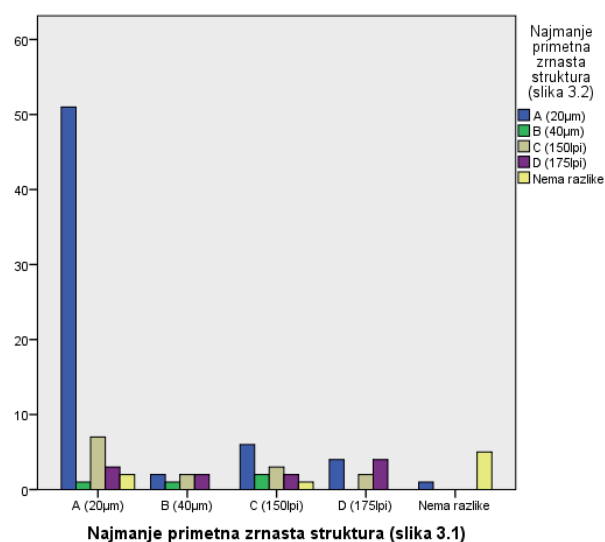
Slika P.11.8 Grafički prikaz unakrsne provere po atributu najrealističnija reprodukcija za slike 2.2 i 2.3.

SLIKA 3 tanjir

Tabela P.11.30 Najmanje приметna zrnasta struktura (slika 3.1) * Najmanje приметna zrnasta struktura (slika 3.2)

			Najmanje приметna zrnasta struktura (slika 3.2)					Total
			A (20μm)	B (40μm)	C (150lpi)	D (175lpi)	Nema razlike	
Najmanje primetna zrnasta struktura (slika 3.1)	A (20μm)	Ukupno	51	1	7	3	2	64
		%	79,7%	1,6%	10,9%	4,7%	3,1%	100,0%
	B (40μm)	Ukupno	2	1	2	2	0	7
		%	28,6%	14,3%	28,6%	28,6%	0,0%	100,0%
	C (150lpi)	Ukupno	6	2	3	2	1	14
		%	42,9%	14,3%	21,4%	14,3%	7,1%	100,0%
	D (175lpi)	Ukupno	4	0	2	4	0	10
		%	40,0%	0,0%	20,0%	40,0%	0,0%	100,0%
	Nema razlike	Ukupno	1	0	0	0	5	6
		%	16,7%	0,0%	0,0%	0,0%	83,3%	100,0%
Total		Ukupno	64	4	14	11	8	101
		%	63,4%	4,0%	13,9%	10,9%	7,9%	100,0%

$$\chi^2=77,41, df=16, p=0,000$$

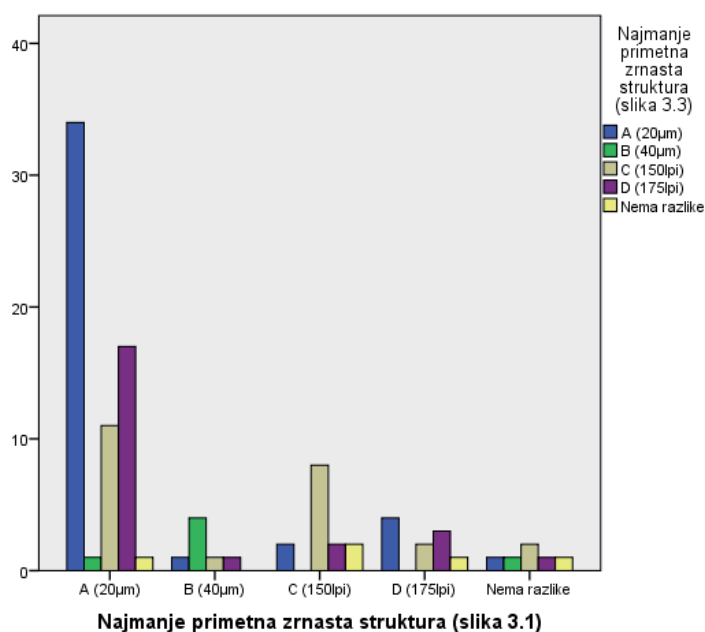


Slika P.11.9 Grafički prikaz unakrsne provere po atributu najmanje приметna zrnasta struktura za slike 3.1 i 3.2.

Tabela P.11.31 Najmanje приметna zrnasta struktura (slika 3.1) * Najmanje приметna zrnasta struktura (slika 3.3)

			Najmanje приметna zrnasta struktura (slika 3.3)					Total
			A (20μm)	B (40μm)	C (150lpi)	D (175lpi)	Nema razlike	
Najmanje primetna zrnasta struktura (slika 3.1)	A (20μm)	Ukupno	34	1	11	17	1	64
		%	53,1%	1,6%	17,2%	26,6%	1,6%	100,0%
	B (40μm)	Ukupno	1	4	1	1	0	7
		%	14,3%	57,1%	14,3%	14,3%	0,0%	100,0%
	C (150lpi)	Ukupno	2	0	8	2	2	14
		%	14,3%	0,0%	57,1%	14,3%	14,3%	100,0%
	D (175lpi)	Ukupno	4	0	2	3	1	10
		%	40,0%	0,0%	20,0%	30,0%	10,0%	100,0%
	Nema razlike	Ukupno	1	1	2	1	1	6
		%	16,7%	16,7%	33,3%	16,7%	16,7%	100,0%
Total		Ukupno	42	6	24	24	5	101
		%	41,6%	5,9%	23,8%	23,8%	5,0%	100,0%

$$\chi^2=58,31, df=16, p=0,000$$

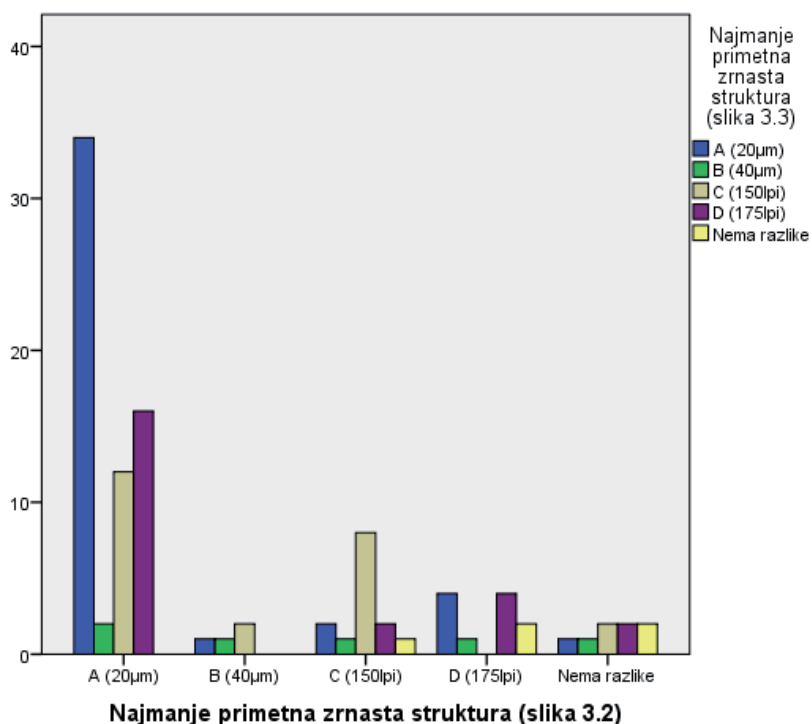


Slika P.11.10 Grafički prikaz unakrsne provere po atributu najmanje приметna zrnasta struktura za slike 3.1 i 3.3.

Tabela P.11.32 Najmanje приметna zrnasta struktura (slika 3.2) * Najmanje приметna zrnasta struktura (slika 3.3)

			Najmanje приметna zrnasta struktura (slika 3.3)					Total
			A (20μm)	B (40μm)	C (150lpi)	D (175lpi)	Nema razlike	
Najmanje primetna zrnasta struktura (slika 3.2)	A (20μm)	Ukupno	34	2	12	16	0	64
		%	53,1%	3,1%	18,8%	25,0%	0,0%	100,0%
	B (40μm)	Ukupno	1	1	2	0	0	4
		%	25,0%	25,0%	50,0%	0,0%	0,0%	100,0%
	C (150lpi)	Ukupno	2	1	8	2	1	14
		%	14,3%	7,1%	57,1%	14,3%	7,1%	100,0%
	D (175lpi)	Ukupno	4	1	0	4	2	11
		%	36,4%	9,1%	0,0%	36,4%	18,2%	100,0%
	Nema razlike	Ukupno	1	1	2	2	2	8
		%	12,5%	12,5%	25,0%	25,0%	25,0%	100,0%
Total		Ukupno	42	6	24	24	5	101
		%	41,6%	5,9%	23,8%	23,8%	5,0%	100,0%

$$\chi^2=37,78, df=16, p=0,000$$

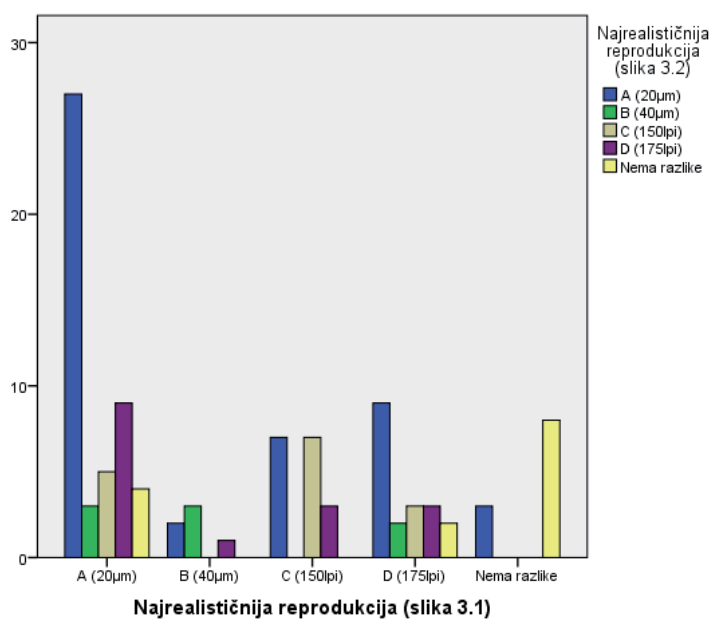


Slika P.11.11 Grafički prikaz unakrsne provere po atributu najmanje приметna zrnasta struktura za slike 3.2 i 3.3.

Tabela P.11.33 Najrealističnija reprodukcija (slika 3.1) * Najrealističnija reprodukcija (slika 3.2)

			Najrealističnija reprodukcija (slika 3.2)					Total
			A (20μm)	B (40μm)	C (150lpi)	D (175lpi)	Nema razlike	
Najrealističnija reprodukcija (slika 3.1)	A (20μm)	Ukupno	27	3	5	9	4	48
		%	56,2%	6,2%	10,4%	18,8%	8,3%	100,0%
	B (40μm)	Ukupno	2	3	0	1	0	6
		%	33,3%	50,0%	0,0%	16,7%	0,0%	100,0%
	C (150lpi)	Ukupno	7	0	7	3	0	17
		%	41,2%	0,0%	41,2%	17,6%	0,0%	100,0%
	D (175lpi)	Ukupno	9	2	3	3	2	19
		%	47,4%	10,5%	15,8%	15,8%	10,5%	100,0%
	Nema razlike	Ukupno	3	0	0	0	8	11
		%	27,3%	0,0%	0,0%	0,0%	72,7%	100,0%
Total		Ukupno	48	8	15	16	14	101
		%	47,5%	7,9%	14,9%	15,8%	13,9%	100,0%

$$\chi^2=63,11, df=16, p=0,000$$

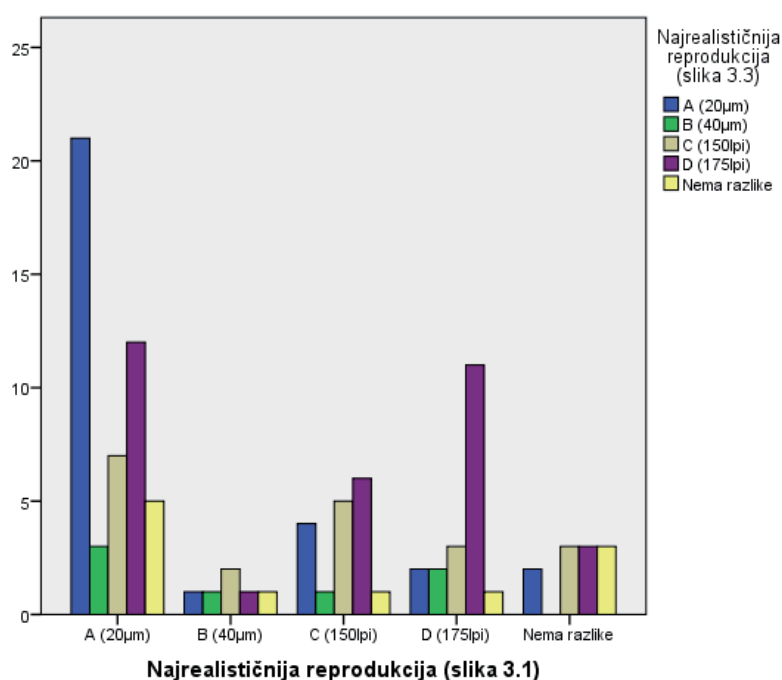


Slika P.11.12 Grafički prikaz unakrsne provere po atributu najrealističnija reprodukcija za slike 3.1 i 3.2.

Tabela P.11.34 Najrealističnija reprodukcija (slika 3.1) * Najrealističnija reprodukcija (slika 3.3)

			Najrealističnija reprodukcija (slika 3.3)					Total
			A (20μm)	B (40μm)	C (150lpi)	D (175lpi)	Nema razlike	
Najrealističnija reprodukcija (slika 3.1)	A (20μm)	Ukupno	21	3	7	12	5	48
		%	43,8%	6,2%	14,6%	25,0%	10,4%	100,0%
	B (40μm)	Ukupno	1	1	2	1	1	6
		%	16,7%	16,7%	33,3%	16,7%	16,7%	100,0%
	C (150lpi)	Ukupno	4	1	5	6	1	17
		%	23,5%	5,9%	29,4%	35,3%	5,9%	100,0%
	D (175lpi)	Ukupno	2	2	3	11	1	19
		%	10,5%	10,5%	15,8%	57,9%	5,3%	100,0%
	Nema razlike	Ukupno	2	0	3	3	3	11
		%	18,2%	0,0%	27,3%	27,3%	27,3%	100,0%
Total		Ukupno	30	7	20	33	11	101
		%	29,7%	6,9%	19,8%	32,7%	10,9%	100,0%

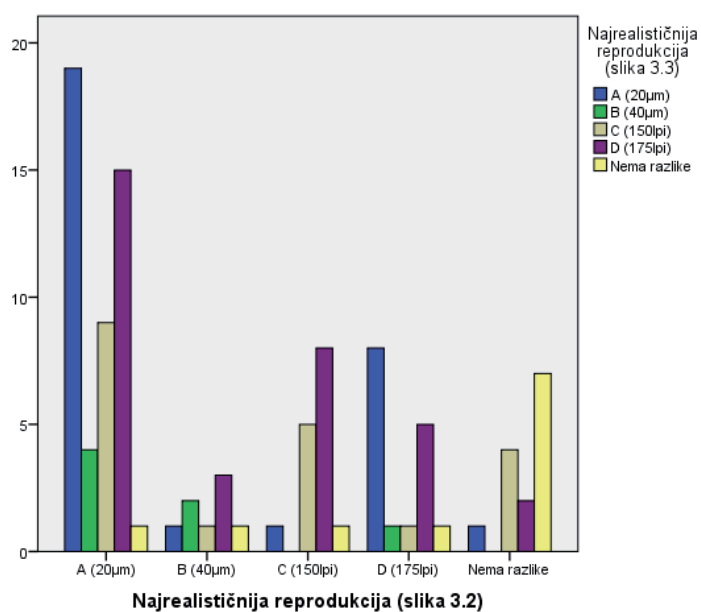
$$\chi^2=20,08, df=16, p=0,000$$



Slika P.11.13 Grafički prikaz unakrsne provere po atributu najrealističnija reprodukcija za slike 3.1 i 3.3.

Tabela P.11.35 Najrealističnija reprodukcija (slika 3.2) * Najrealističnija reprodukcija (slika 3.3)

			Najrealističnija reprodukcija (slika 3.3)					Total
			A (20μm)	B (40μm)	C (150lpi)	D (175lpi)	Nema razlike	
Najrealističnija reprodukcija (slika 3.2)	A (20μm)	Ukupno	19	4	9	15	1	48
		%	39,6%	8,3%	18,8%	31,2%	2,1%	100,0%
	B (40μm)	Ukupno	1	2	1	3	1	8
		%	12,5%	25,0%	12,5%	37,5%	12,5%	100,0%
	C (150lpi)	Ukupno	1	0	5	8	1	15
		%	6,7%	0,0%	33,3%	53,3%	6,7%	100,0%
	D (175lpi)	Ukupno	8	1	1	5	1	16
		%	50,0%	6,2%	6,2%	31,2%	6,2%	100,0%
	Nema razlike	Ukupno	1	0	4	2	7	14
		%	7,1%	0,0%	28,6%	14,3%	50,0%	100,0%
Total		Ukupno	30	7	20	33	11	101
		%	29,7%	6,9%	19,8%	32,7%	10,9%	100,0%

 $\chi^2=46,42$, $df=16$, $p=0,000$


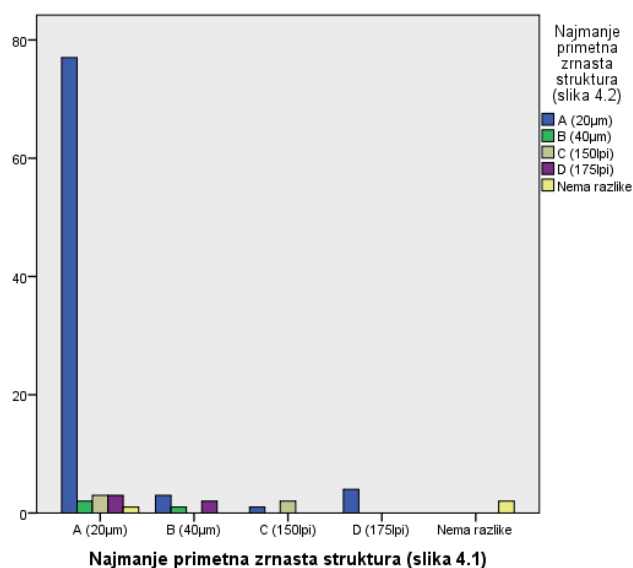
Slika P.11.14 Grafički prikaz unakrsne provere po atributu najrealističnija reprodukcija za slike 3.2 i 3.3.

SLIKA 4 - automobil

Tabela P.11.36 Najmanje приметna zrnasta struktura (slika 4.1) * Najmanje приметna zrnasta struktura (slika 4.2)

			Najmanje приметna zrnasta struktura (slika 4.2)					Total
			A (20μm)	B (40μm)	C (150lpi)	D (175lpi)	Nema razlike	
Najmanje primetna zrnasta struktura (slika 4.1)	A (20μm)	Ukupno	77	2	3	3	1	86
		%	89,5%	2,3%	3,5%	3,5%	1,2%	100,0%
	B (40μm)	Ukupno	3	1	0	2	0	6
		%	50,0%	16,7%	0,0%	33,3%	0,0%	100,0%
	C (150lpi)	Ukupno	1	0	2	0	0	3
		%	33,3%	0,0%	66,7%	0,0%	0,0%	100,0%
	D (175lpi)	Ukupno	4	0	0	0	0	4
		%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
	Nema razlike	Ukupno	0	0	0	0	2	2
		%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	100,0%
Total		Ukupno	85	3	5	5	3	101
		%	84,2%	3,0%	5,0%	5,0%	3,0%	100,0%

$$\chi^2=107,38, df=16, p=0,000$$



Slika P.11.15 Grafički prikaz unakrsne provere po atributu najmanje приметna zrnasta struktura za slike 4.1 i 4.2.

Tabela P.11.37 Najmanje приметna zrnasta struktura (slika 4.1) * Najmanje приметna zrnasta struktura (slika 4.3)

			Najmanje primetna zrnasta struktura (slika 4.3)					Total
			A (20μm)	B (40μm)	C (150lpi)	D (175lpi)	Nema razlike	
Najmanje primetna zrnasta struktura (slika 4.1)	A (20μm)	Ukupno	82	2	1	0	1	86
		%	95,3%	2,3%	1,2%	0,0%	1,2%	100,0%
	B (40μm)	Ukupno	2	3	1	0	0	6
		%	33,3%	50,0%	16,7%	0,0%	0,0%	100,0%
	C (150lpi)	Ukupno	1	1	0	1	0	3
		%	33,3%	33,3%	0,0%	33,3%	0,0%	100,0%
	D (175lpi)	Ukupno	4	0	0	0	0	4
		%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
	Nema razlike	Ukupno	0	0	0	0	2	2
		%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	100,0%
Total		Ukupno	89	6	2	1	3	101
		%	88,1%	5,9%	2,0%	1,0%	3,0%	100,0%

$$\chi^2=135,44, df=16, p=0,000$$

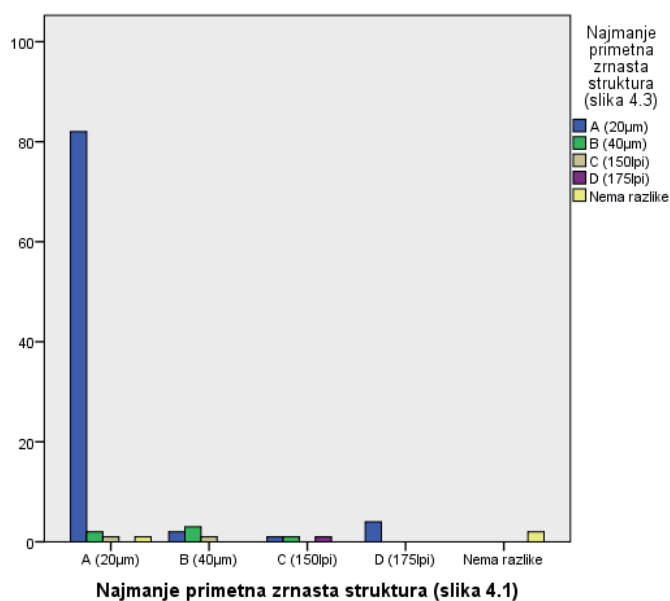
*Slika P.11.16* Grafički prikaz unakrsne provere po atributu najmanje приметna zrnasta struktura za slike 4.1 i 4.3.

Tabela P.11.38 Najmanje приметna zrnasta struktura (slika 4.2) * Najmanje приметna zrnasta struktura (slika 4.3)

			Najmanje приметna zrnasta struktura (slika 4.3)					Total
			A (20μm)	B (40μm)	C (150lpi)	D (175lpi)	Nema razlike	
Najmanje primetna zrnasta struktura (slika 4.2)	A (20μm)	Ukupno	80	3	1	0	1	85
		%	94,1%	3,5%	1,2%	0,0%	1,2%	100,0%
	B (40μm)	Ukupno	2	1	0	0	0	3
		%	66,7%	33,3%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
	C (150lpi)	Ukupno	3	1	0	1	0	5
		%	60,0%	20,0%	0,0%	20,0%	0,0%	100,0%
	D (175lpi)	Ukupno	3	1	1	0	0	5
		%	60,0%	20,0%	20,0%	0,0%	0,0%	100,0%
	Nema razlike	Ukupno	1	0	0	0	2	3
		%	33,3%	0,0%	0,0%	0,0%	66,7%	100,0%
Total		Ukupno	89	6	2	1	3	101
		%	88,1%	5,9%	2,0%	1,0%	3,0%	100,0%

$$\chi^2=80,72, df=16, p=0,000$$

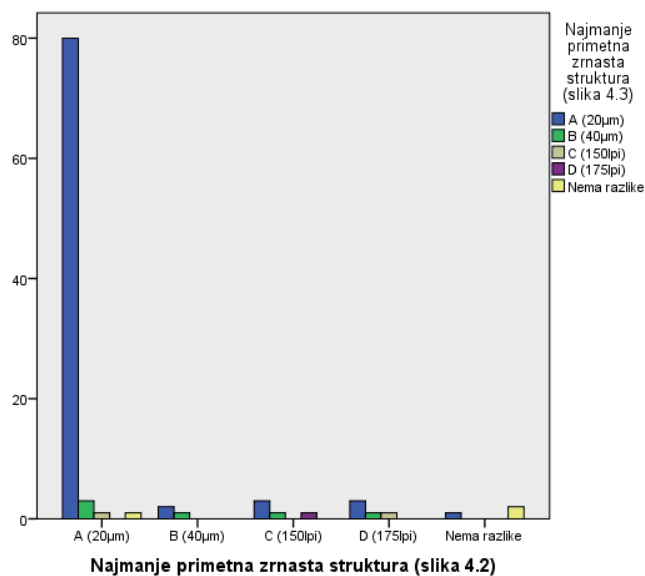
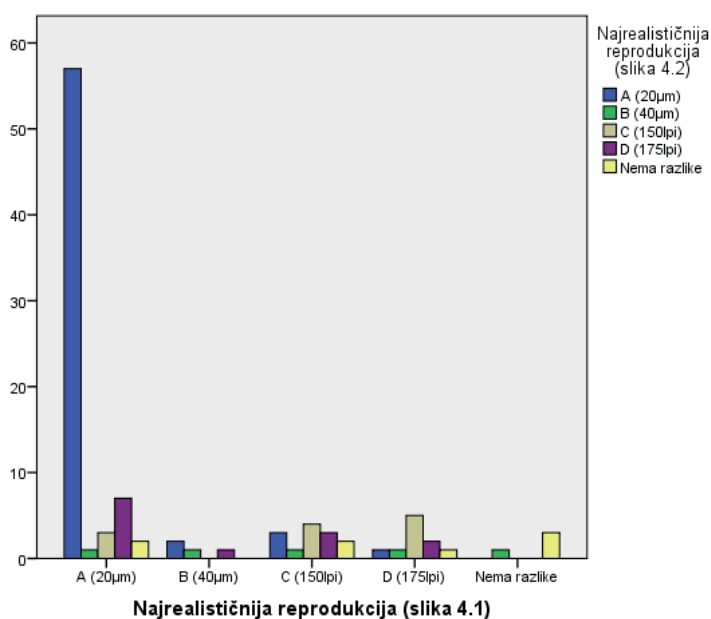
**Slika P.11.17** Grafički prikaz unakrsne provere po atributu najmanje приметna zrnasta struktura za slike 4.2 i 4.3.

Tabela P.11.39 Najrealističnija reprodukcija (slika 4.1) * Najrealističnija reprodukcija (slika 4.2)

			Najrealističnija reprodukcija (slika 4.2)					Total
			A (20μm)	B (40μm)	C (150lpi)	D (175lpi)	Nema razlike	
Najrealističnija reprodukcija (slika 4.1)	A (20μm)	Ukupno	57	1	3	7	2	70
		%	81,4%	1,4%	4,3%	10,0%	2,9%	100,0%
	B (40μm)	Ukupno	2	1	0	1	0	4
		%	50,0%	25,0%	0,0%	25,0%	0,0%	100,0%
	C (150lpi)	Ukupno	3	1	4	3	2	13
		%	23,1%	7,7%	30,8%	23,1%	15,4%	100,0%
	D (175lpi)	Ukupno	1	1	5	2	1	10
		%	10,0%	10,0%	50,0%	20,0%	10,0%	100,0%
	Nema razlike	Ukupno	0	1	0	0	3	4
		%	0,0%	25,0%	0,0%	0,0%	75,0%	100,0%
Total		Ukupno	63	5	12	13	8	101
		%	62,4%	5,0%	11,9%	12,9%	7,9%	100,0%

$$\chi^2=72,87, df=16, p=0,000$$

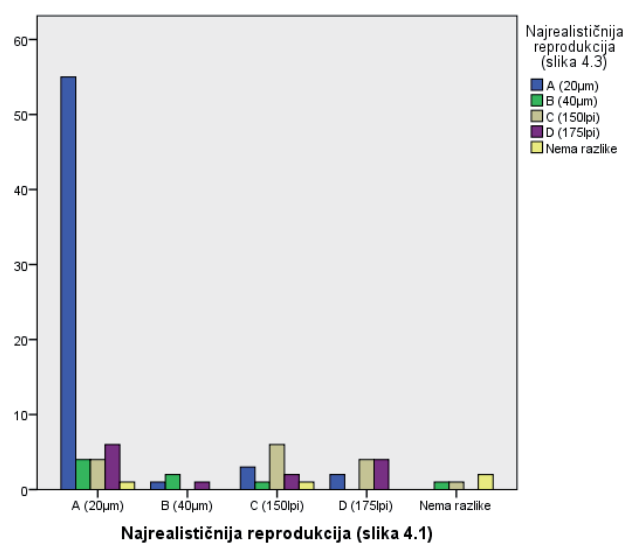


Slika P.11.18 Grafički prikaz unakrsne provere po atributu najrealističnija reprodukcija za slike 4.1 i 4.2.

Tabela P.11.40 Najrealističnija reprodukcija (slika 4.1) * Najrealističnija reprodukcija (slika 4.3)

			Najrealističnija reprodukcija (slika 4.3)					Total
			A (20μm)	B (40μm)	C (150lpi)	D (175lpi)	Nema razlike	
Najrealističnija reprodukcija (slika 4.1)	A (20μm)	Ukupno	55	4	4	6	1	70
		%	78,6%	5,7%	5,7%	8,6%	1,4%	100,0%
	B (40μm)	Ukupno	1	2	0	1	0	4
		%	25,0%	50,0%	0,0%	25,0%	0,0%	100,0%
	C (150lpi)	Ukupno	3	1	6	2	1	13
		%	23,1%	7,7%	46,2%	15,4%	7,7%	100,0%
	D (175lpi)	Ukupno	2	0	4	4	0	10
		%	20,0%	0,0%	40,0%	40,0%	0,0%	100,0%
	Nema razlike	Ukupno	0	1	1	0	2	4
		%	0,0%	25,0%	25,0%	0,0%	50,0%	100,0%
Total		Ukupno	61	8	15	13	4	101
		%	60,4%	7,9%	14,9%	12,9%	4,0%	100,0%

$$\chi^2=73,36, df=16, p=0,000$$

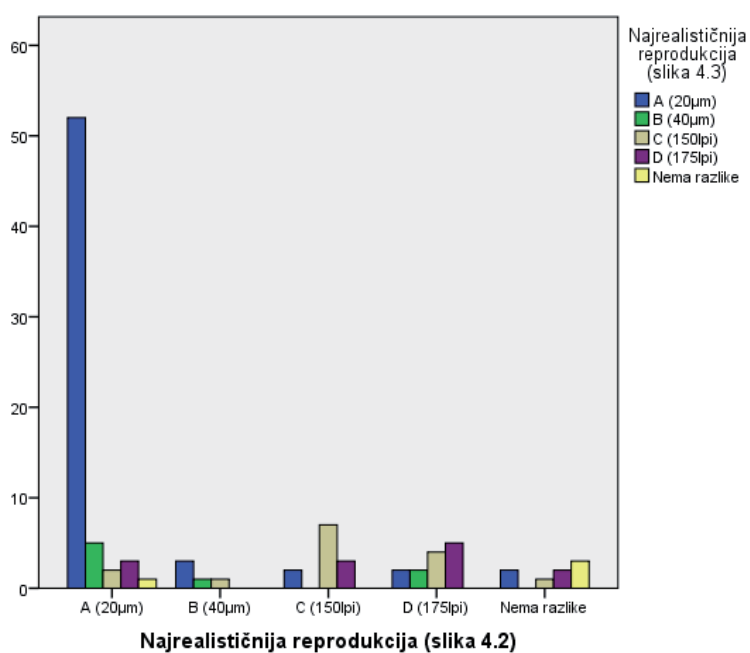


Slika P.11.19 Grafički prikaz unakrsne provere po atributu najrealističnija reprodukcija za slike 4.1 i 4.3.

Tabela P.11.41 Najrealističnija reprodukcija (slika 4.2) * Najrealističnija reprodukcija (slika 4.3)

			Najrealističnija reprodukcija (slika 4.3)					Total
			A (20μm)	B (40μm)	C (150lpi)	D (175lpi)	Nema razlike	
Najrealističnija reprodukcija (slika 4.2)	A (20μm)	Ukupno	52	5	2	3	1	63
		%	82,5%	7,9%	3,2%	4,8%	1,6%	100,0%
	B (40μm)	Ukupno	3	1	1	0	0	5
		%	60,0%	20,0%	20,0%	0,0%	0,0%	100,0%
	C (150lpi)	Ukupno	2	0	7	3	0	12
		%	16,7%	0,0%	58,3%	25,0%	0,0%	100,0%
	D (175lpi)	Ukupno	2	2	4	5	0	13
		%	15,4%	15,4%	30,8%	38,5%	0,0%	100,0%
	Nema razlike	Ukupno	2	0	1	2	3	8
		%	25,0%	0,0%	12,5%	25,0%	37,5%	100,0%
Total		Ukupno	61	8	15	13	4	101
		%	60,4%	7,9%	14,9%	12,9%	4,0%	100,0%

$$\chi^2=79,32, df=16, p=0,000$$



Slika P.11.20 Grafički prikaz unakrsne provere po atributu najrealističnija reprodukcija za slike 4.2 i 4.3.

P.11.2

Tabela P.11.42 Granične hi kvadrat vrednosti za određene stepene slobode

Degrees of Freedom	Values of P									
	0.005	0.010	0.025	0.050	0.100	0.900	0.950	0.975	0.990	0.995
1	---	---	0.001	0.004	0.016	2.706	3.841	5.024	6.635	7.879
2	0.01	0.020	0.051	0.103	0.211	4.605	5.991	7.378	9.210	10.597
3	0.072	0.115	0.216	0.352	0.584	6.251	7.815	9.348	11.345	12.838
4	0.207	0.297	0.484	0.711	1.064	7.779	9.488	11.143	13.277	14.860
5	0.412	0.554	0.831	1.145	1.610	9.236	11.070	12.833	15.086	16.750
6	0.676	0.872	1.237	1.635	2.204	10.645	12.592	14.449	16.812	18.548
7	0.989	1.239	1.690	2.167	2.833	12.017	14.067	16.013	18.475	20.278
8	1.344	1.646	2.180	2.733	3.490	13.362	15.507	17.535	20.090	21.955
9	1.735	2.088	2.700	3.325	4.168	14.684	16.919	19.023	21.666	23.589
10	2.156	2.558	3.247	3.940	4.865	15.987	18.307	20.483	23.209	25.188
11	2.603	3.053	3.816	4.575	5.578	17.275	19.675	21.920	24.725	26.757
12	3.074	3.571	4.404	5.226	6.304	18.549	21.026	23.337	26.217	28.300
13	3.565	4.107	5.009	5.892	7.042	19.812	22.362	24.736	27.688	29.819
14	4.075	4.660	5.629	6.571	7.790	21.064	23.685	26.119	29.141	31.319
15	4.601	5.229	6.262	7.261	8.547	22.307	24.996	27.488	30.578	32.801
16	5.142	5.812	6.908	7.962	9.312	23.542	26.296	28.845	32.000	34.267
17	5.697	6.408	7.564	8.672	10.085	24.769	27.587	30.191	33.409	35.718
18	6.265	7.015	8.231	9.390	10.865	25.989	28.869	31.526	34.805	37.156
19	6.844	7.633	8.907	10.117	11.651	27.204	30.144	32.852	36.191	38.582
20	7.434	8.260	9.591	10.851	12.443	28.412	31.410	34.170	37.566	39.997

P.11.3 Elektronska verzija rada

Elektronska verzija rada će biti dostupna na web adresi

<http://www.grid.uns.ac.rs/disertacije.html>

i sajtu Univerziteta u Novom Sadu

<http://www.cris.uns.ac.rs/searchDissertations.jsf>

12 Biografija i spisak objavljenih radova

Ivan Pinćjer, magistar tehničkih nauka grafičkog inženjerstva i dizajna. Rođen 01.04.1980. godine u Sremskoj Mitrovici. Zaposlen kao asistent na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu.

Osnovne studije pohađao je 1999-2004 na Fakultetu tehničkih nauka, departmanu za Grafičko inženjerstvo i dizajn i završio sa prosečnom ocenom 8,86 i ocenom diplomskog rada 10, na temu Obrada fotografije u pripremi štampe.

Poslediplomske studije završio je na departmanu za Grafičko inženjerstvo i dizajn 2012. godine sa prosečnom ocenom 9,83, na temu Kvalitet reprodukcije u funkciji rasterizacije.

Autor i koautor je dvadeset i sedam radova, kako u domaćim i stranim časopisima tako i u Zbornicima radova sa međunarodnih naučno-stručnih konferencija, kao i jednog pomoćnog udžbenika. Učestvovao je u realizaciji jednog višegodišnjeg naučno-istraživačkog projekta finansiranog od strane Ministarstva nauke i tehnološkog razvoja i trenutno je angažovan na novom istraživačkom projektu u periodu 2011 do 2015 godine.

Radovi u 2008.

M63

1. Pinćjer, I., Vladić, G., Avramović, D., Kašiković, N., 2008. Analiza kvaliteta amplitudno modulisanog i frekventno modulisanog štamparskog rastera u ofsetnoj štampi, Naučno - stručni simpozijum GRID, Vol. 286, pp. 145-154, ISBN 978-86-7892-145-2
 2. Avramović, D., Vladić, G., Pinćjer, I., 2008. XSL-FO – Pregled i mogućnosti, Naučno - stručni simpozijum GRID, Vol. 286, Str. 249-254, ISBN 978-86-7892-145-2
 3. Kašiković, N., Pinćjer, I., 2008. Primer investicije pri prelasku na CTP tehnologiju, Naučno - stručni simpozijum GRID, Vol. 286, pp. 59-64, ISBN 978-86-7892-145-2
 4. Vladić, G., Avramović, D., Pinćjer, I., 2008. Zadatak savremenih softverskih alata za dizajn ambalaže, Naučno - stručni simpozijum GRID, Str. 194-200, ISBN 978-86-7892-145-2
-

Radovi u 2010.

M33

1. Pinčjer, I., Nedeljković, U. & Nedeljković, S., 2010. Colour gamut of FM screening. In *Grid10 Proceedings*. FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES GRAPHIC ENGINEERING AND DESIGN, pp. 273–278.
2. Pinčjer, I., Pal, M., 2010. Analysis of halftone dots deformation in the process of packaging and exploitation of cardboard package, Simpozijum o konstruisanju, oblikovanju i dizajnu – KOD, pp. 249-252, ISBN 978-86-7892-278-7
3. Nedeljković, U., Banjanin, B., Pinčjer, I., 2010. Designing GridSans Regular with Titling Alternates, International Symposium on Graphic Engineering and Design, GRID, pp. 155-162, ISBN 978-86-7892-294-7
4. Nedeljković, S., Nedeljković, U., Pinčjer, I., 2010. Zaharius Gotoantikva, , International Symposium on Graphic Engineering and Design, GRID, ISBN 978-86-7892-294-7

Radovi u 2011.

M33

1. Nedeljković, S., Nedeljković, U., Pinčjer, I.: Another Insight on neo-classical type forms, 15th International Conference on Printing, Design and Graphic Communications Blaž Baromić, Croatian Society of Graphic Artists, Croatia/ University of Zagreb, Faculty of Graphic Arts, Senj, 2011 pp. 420-427, ISBN 978-953-56838-1-0

M53

2. Nedeljković, U., Pinčjer, I., Vladić, G.: The Efficiency Of Message Codification Level in Print Advertisements: The case of food and drink products or service, Journal of Graphic Engineering and Design, University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Department of Graphic Engineering and Design, Novi Sad, 2011, No1, Vol.2, pp. 16-23, ISSN 2217-379X , COBISS.SR-ID 257662727

Radovi u 2012.

M33

1. Nedeljković Slobodan, Pinčjer Ivan, Nedeljković Uroš (2012): Principles of art nouveau and its reflection on contemporary type forms, International Symposium on Graphic Engineering and Design, GRID, pp 271-278, ISBN 9788678924576
 2. Nedeljković Uroš, Banjanin Bojan, Puškarević Irma, Pinčjer Ivan (2012): Empirical findings on feature distinctiveness: legibility based on differentiation of characters, International Symposium on Graphic Engineering and Design, GRID, pp 261-270, ISBN 9788678924576
-

M53

3. Pinčjer Ivan, Nedeljković Uroš, Papić Miloš (2012): Development of FM screens, JGED Journal of Graphic Engineering and Design, Vol. 3, No. 1, UDK 655.3.066.14, ISBN 2217-379X, pp 1-8.
4. Aleksandar Nađ, Dragoljub Novaković, Ivan Pinčjer (2012): RAZVOJ SAVREMENOG KONCEPTA UČENJA O GRAFIČKOM SISTEMU ZA TAMPON ŠTAMPU, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, Novi Sad, UDK: 655, pp 2187-2190.

Radovi u 2013.

M51

1. Nedeljković U., Puškarević I., Novaković D., Pinčjer I.: The Effectiveness of Sex Appeal in Print Ads in Relation to a Visual Register of the Message: Articulating a New Framework, Marketing - Časopis za marketing, teoriju i praksu, 2013, Vol. 44, No. 3, pp. 247-263, ISSN 0354-3471

M53

2. Avramović D., Vladić G., Kašiković N., Pinčjer I.: Aplicability of golden ratio rule in modern product design, JGED Journal of Graphic Engineering and Design, 2013, Vol. 4, No. 1, pp. 29-35, ISSN: 2217-379X, UDK 658.512.2 111.852 366.12
3. Nedeljković U., Puškarević I., Banjanin B., Pinčjer I.: Legibility based on differentiation of characters: A review of empirical findings fundamental for the type design practice, JGED Journal of Graphic Engineering and Design, 2013, Vol. 4, No. 1, pp. 17-27, ISSN 2217-379X, UDC 655.261 655.262
4. Malinović B., Pinčjer I.: Dizajn naslovne stranice veb sajta na bazi nalaza iz studija praćenja pogleda, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, 2013, No. 12, pp. 2203-2206, ISSN 0350-428X, UDC 655
5. Stojanović Đ., Novaković D., Pinčjer I.: Razvoj baze znanja za učenje na daljinu o ofset štamparskoj mašini Rapida 75, , u štampi, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, 2013, ISSN 0350-428X, UDC 655

M33

6. Puškarević I., Nedeljković U., Pinčjer I.: Typeface Persona: A Review Study, XIth Symposium on Graphic Arts, 2013, University of Pardubice, Department of Graphic Arts and Photophysics, Czech Republic, ISSN 978-80-7395-660-8

Radovi u 2014.

M33

1. Pinčjer, I., Nedeljković, S., Puškarević, I., Zeljković, Ž.: Graphical system visualization in a virtual spatial environment as a learning method, International Symposium on Graphic Engineering and Design GRID, Proceedings, pp. 389-394, ISBN 978-86-7892-647-1, Novi Sad, Srbija, 2014.
2. Pinčjer, I., Nedeljković, U., Draganov, S: Subjective analysis of image quality: experts and naïve, International Symposium on Graphic Engineering and Design GRID, Proceedings, pp. 449-456, ISBN 978-86-7892-647-1, Novi Sad, Srbija, 2014.
3. Pinčjer, I., Novaković, D., Nedeljković, U., Puškarević, I.: Information design for the graphic engineering e-learning application, Wood, Pulp & Paper, Polygrafia Academica 2014 (1; Bratislava; 2014), Proceedings, pp. 170-175, ISBN 9788089597161, Bratislava, Slovačka, 2014.
4. Puškarević, I., Nedeljković, U., Pinčjer, I.: Visual Analysis of the Typeface Management in Brand Identity, International Symposium on Graphic Engineering and Design GRID, Proceedings, pp. 427-433, ISBN 978-86-7892-647-1, Novi Sad, Srbija, 2014.
5. Karlović, I., Tomić, I., Jurič, I., Pinčjer, I.: Finding the relation between AM and FM halftoning with s-cie lab metrics, Sigt - 7th Symposium of Information and Graphic Arts Technology (8; Ljubljana; 2014), Proceedings, pp. 50-55, ISBN 978-961-6900-09-6, Ljubljana, Slovenija, 2014.

M53

6. Bugarski S., Novaković D., Pinčjer I.: Subjektivne metode vizuelnog poređenja AM i FM rastera, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, 2014, No 7. pp. 1331-1334, ISSN 0350-428X, UDC 655
7. Perić N., Novaković D., Pinčjer I.: Razvoj programskog rešenja učenja na daljinu za mašinu bešavnog poveza, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, 2014, No 7. pp. 1335-1338, ISSN 0350-428X, UDC 655

Radovi u 2015.

M33

1. Nedeljković U., Puškarević I., Pinčjer I.: The Effectiveness of Juice Box Graphic Design solution incongruent with consumer memory schema, Printing and Design 2015, Zagreb, Akademija Tehničkih Znanosti Hrvatske.

M23

1. Pinčjer, I., Novaković, D., Nedeljković, U., Kašiković, N., Vladić, G.: Impact of Reproduction Size and Halftoning Method on Print Quality Perception, Acta Polytechnica Hungarica, Forthcoming 2016