

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAFIČKI FAKULTET

MARKO NEZIĆ

YULE-NIELSEN MODIFICIRANI
SPEKTRALNI NEUGEBAUEROV
MODEL U TISKARSTVU

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2015/2016



Sveučilište u Zagrebu
Grafički fakultet

MARKO NEZIĆ

YULE-NIELSEN MODIFICIRANI
SPEKTRALNI NEUGEBAUEROV
MODEL U TISKARSTVU

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

izv. prof. dr. sc. Igor Zjakić

Student:

Marko Nezić

Zagreb, 2015/2016

Rješenje o odobrenju teme diplomskog rada

SAŽETAK

Jedna od glavnih stvari u procesu tiskanja koja negativno utječe na rastersku reprodukciju je prirast rastertonske vrijednosti. Prirast rastertonske vrijednosti se događa radi deformacije rasterskog elementa. Deformacija rasterskog elementa može biti mehaničke prirode i optičke prirode. Da bi se jednoznačno riješio ili barem minimalizirao taj problem prirasta rastertonskih vrijednosti unutar reprodukcije potrebno je uvesti model koji će simulirati ponašanje tog fenomena. Kako taj fenomen nije trivijalne prirode tako se s vremenom počeo modelirati prirast rastertonske vrijednosti sa što većim brojem fenomena koji utječu na krajnji rezultat otisnute rasterske reprodukcije.

U ovom radu se obradio Yule-Nielsen modificirani spektralni Neugebauerov model prirasta rastertonske vrijednosti s dvije metode kalibracije samog modela (jednostavna i superpozicijska metoda određivanja krivulje realne reprodukcije). Točnije rečeno cilj rada je bio odrediti uniforman (jedinствен) n parametar za svaku metodu kalibracije modela.

Ključne riječi:

rasterski element, prirast rastertonske vrijednosti, Demichelove jednadžbe, Yule-Nielsen modificirani Neugebauerov model, kalibracija

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. TEORETSKI DIO	1
2.1 Vrste rastriranje	1
2.1.1 Amplitudno moduliran raster	2
2.1.2 Frekventno moduliran raster	4
2.1.3 Hibridni raster	5
2.1.4 Raster s modulacijom obojenja	5
2.2 Deformacija rasterskog elementa	6
2.2.1 Geometrijska deformacija rasterskog elementa	7
2.2.1.1 Smicanje rasterskog elementa	7
2.2.1.2 Dubliranje rasterskog elementa	8
2.2.1.3 Razmazivanje rasterskog elementa	8
2.2.2 Optička deformacija rasterskog elementa	9
2.3 Prirast rastertonskih vrijednosti	10
2.3.1 Vrste modela prirasta rastertonskih vrijednost	11
2.3.2 Povijesni prikaz	11
2.3.3 Murray-Davies model	12
2.3.4 Yule-Nielsen model	12
2.3.5 Spektralni Neugebauerov model	13
2.3.5.1 Demichelove jednadžbe	14
2.3.6 Yule-Nielsen modificirani spektralni Neugebauer model	16
3. EKSPERIMENTALNI DIO	16
3.1 Cilj istraživanja	16
3.1.1 Ink-jet uređaj	17
3.1.2 Spektrofotometrijski uređaj	17
3.1.3 Tiskovna podloga	17
3.1.4 Kompjuterski program	17
3.2 Kalibracija YNSN modela	18
3.2.1 Jednostavna metoda kalibracije	19
3.2.2 Superpozicijska metoda kalibracije	20

3.2.3	Predviđanje modela	22
3.2.4	Proširenje na 4 bojila	24
3.2.5	Demichelove jednačbe i SN model	25
4.	REZULTATI I DISKUSIJE	25
4.1	Određivanje n parametra	25
4.1.1	T1 krivulja optimalizacije n parametar	27
4.1.2	T2 krivulja optimalizacije n parametar	28
4.1.3	T3 krivulja optimalizacije n parametar	29
4.1.4	T4 krivulja optimalizacije n parametar	30
4.1.5	T5 krivulja optimalizacije n parametar	31
4.1.6	T6 krivulja optimalizacije n parametar	32
4.1.7	T7 krivulja optimalizacije n parametar	33
4.1.8	T8 krivulja optimalizacije n parametar	34
4.1.9	Tablice rezultata	35
4.2	Spektrofotometrijske krivulje	36
4.2.1	T1 spektrofotometrijske krivulje	36
4.2.2	T2 spektrofotometrijske krivulje	38
4.2.3	T3 spektrofotometrijske krivulje	40
4.2.4	T4 spektrofotometrijske krivulje	42
4.2.5	T5 spektrofotometrijske krivulje	44
4.2.6	T6 spektrofotometrijske krivulje	46
4.2.7	T7 spektrofotometrijske krivulje	48
4.2.8	T8 spektrofotometrijske krivulje	50
5.	ZAKLJUČCI	52
6.	LITERATURA	54

1. UVOD

Problematika vezana uz reprodukciju višetonske slike je bila problem tijekom više stoljeća. Simulacija višetonskog tiska je bila mukotrpan posao pripreme te je u potpunosti ovisila o majstoru koji je taj kliše ručno gravirao. Tako izrađeni kliševi su bili manje kvalitete te ono najbitnije, nisu bili standardizirani.

Tako pripremljeni kliševi su bili jedini način da se reproducira "višetonska" slika, sve do 1881. godine kada je njemac Georg Meisenbach patentirao tehnologiju koja se s malim modifikacijama još i danas koristi. Riječ je o tehnologiji rastriranja, odnosno o tehnologiji simulacije višetonskog tiska.

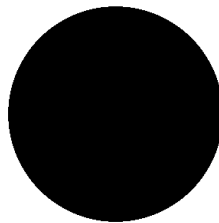
No usprkos samoj genijalnosti te tehnologije uvidjelo se da ona ima nedostataka. Kako bi se ti nedostaci riješili počelo se sa raščlanjivanjem te problematike. U ovom radu će se dati osnovna rješavanja jednog dijela te problematike [1].

2. TEORETSKI DIO

2.1. Vrste rastriranja

Pri rastriraju višetonskog originala, vrijednosti tonaliteta se transformiraju u različite omjere slobodnih površina i tiskovnih elemenata. Rasterski elementi bi u teoriji trebali biti pravilnog oblika, a intenzitet reflektiranog svjetla definiran s veličinom i pokrivenošću bojila.

Doživljaj različitih tonaliteta koje naše oko percipira refleksijom s rastrirane površine otiska uvjetovana je nizom različitih veličina rasterskih elemenata. Doživljaj tonaliteta je određen samim karakteristikama tog rastera. Zbog toga se pojavila potreba za različitim vrstama rastera i to sve u svrhu povećanja kvalitete same reprodukcije [1].



Slika 1 - Primjer okruglog rasterskog elementa

Rasteri se s tog dijele na dvije osnovne skupine, a to su:

- Amplitudno moduliran raster ili klasični raster (AM)
- Frekventno moduliran raster ili stohastički raster (FM)

Uz ove dvije osnovne skupine postoje još i podskupine rastera koje su zapravo hibrid navedene dvije skupine te rasteri s modulacijom obojenja [1].

2.1.1. Amplitudno modulirani raster

Doživljaj tonaliteta amplitudno moduliranog raster je uvjetovan promjenom veličine rasterskih elemenata. Dok je razmak između tih rasterskih elemenata uvijek konstantan.

Za reprodukciju određenog tona bitno je znati *relativnu rastersku površinu*, a koja se izražava:

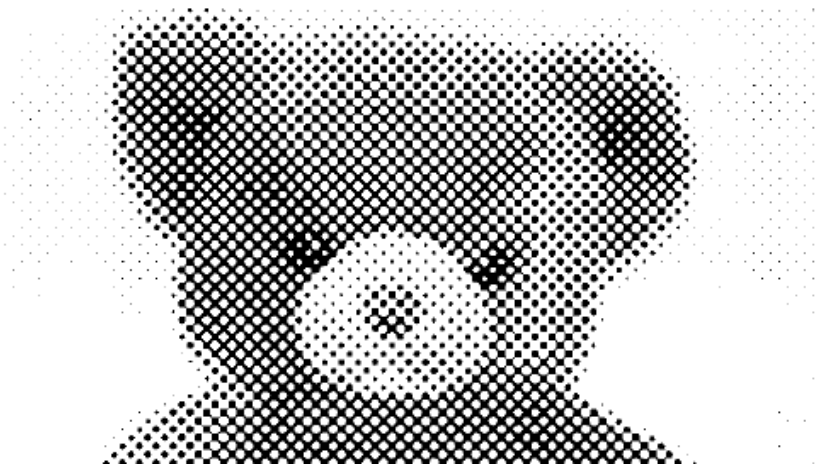
$$a = \frac{F_g}{F_a} \quad (1)$$

gdje je F_g površina pokrivena rasterskim elementom, a F_a ukupna površina.

Kada se relativna rasterska površina pomnoži sa 100 dobije se rastertonska vrijednost:

$$RTV = \frac{F_g}{F_a} \cdot 100 \quad (2)$$

RTV se izražava u postotcima te se označava s %RTV [1].

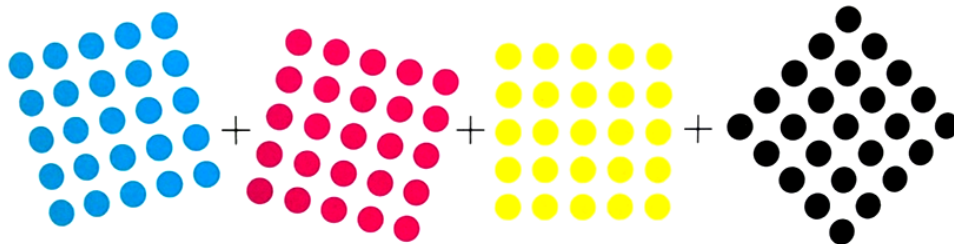


Slika 2 – Primjer amplitudno moduliranog rastera

Pravilni kutevi rastriranja su:

- cijan 15°
- magenta 75°
- žuta 0°
- crna 45°

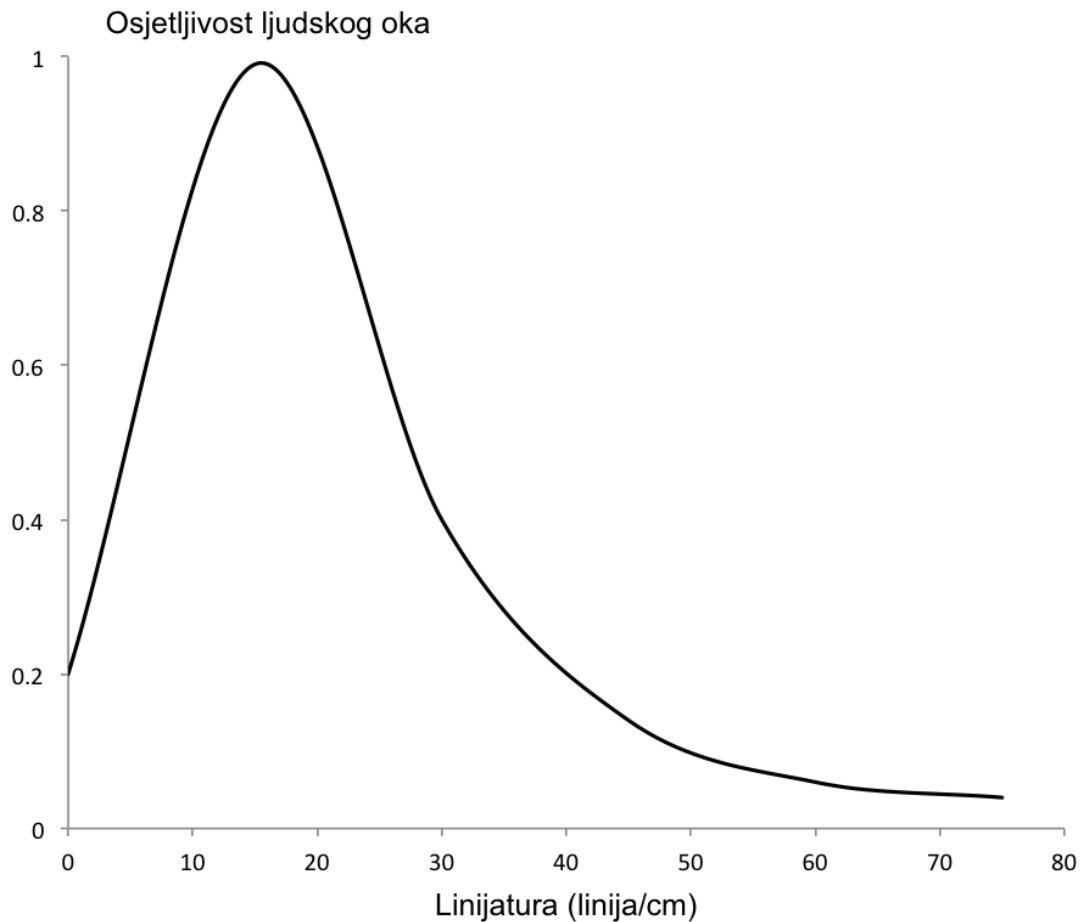
Dok kutevi cijana i magente mogu biti zamijenjeni [1].



Slika 3 – Kutevi rastriranja

Kod amplitudno moduliranog rastera, finoća se definira linijaturom samog rastera.

Smatra se sa ljudsko oko ne može razaznati rasterske elemente amplitudno moduliranog raster finoće 60 ili više rasterskih elemenata po 1. centimetru [1].

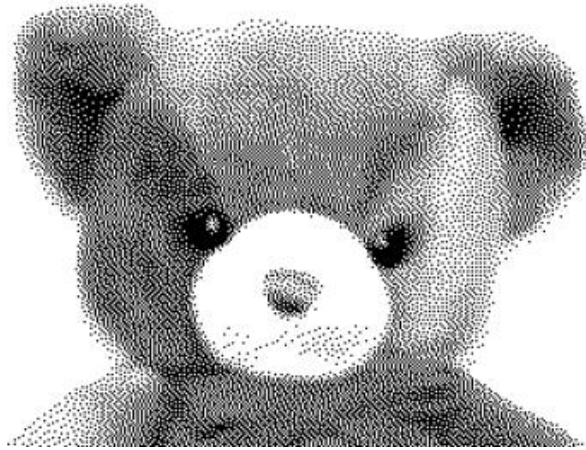


Slika 4 – Osjetljivost ljudskog oka na optimalnoj udaljenosti od oko 30 cm.

2.1.2. Frekventno modulirani raster

Osjećaj tonaliteta frekventno moduliranog rastera se dobiva sa različitim udaljenostima između pojedinih rasterskih elemenata, dok veličina tih istih rasterskih elemenata ostaje ista.

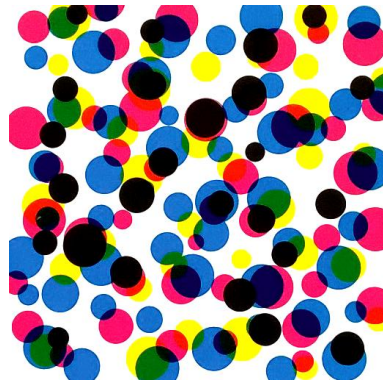
Finoća frekventno moduliranog raster za definiranje ne koristi linijaturu. Nego koristi samu veličinu rasterskih elemenata koja se izražava u mikrometrima (μm) [1].



Slika 5 – Primjer frekventno moduliranog rastera

2.1.3. Hibridni raster

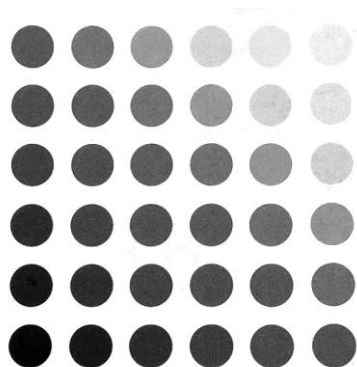
Hibridni raster je zapravo kombinacija amplitudno moduliranog i frekventno moduliranog rastera [1].



Slika 6 – Primjer hibridnog rastera

2.1.4. Raster s modulacijom obojenja

Svi do sada objašnjeni rasteri su imali samo jedan ton obojenja koji je bio uvjetovan gustoćom obojenja u procesu tiska. Međutim, tehnike tiska u kojima je gustoća obojenja uvjetovana različitim obojenjem svakog pojedinog rasterskog elementa [1].



Slika 7 – Primjer rastera s modulacijom obojenja

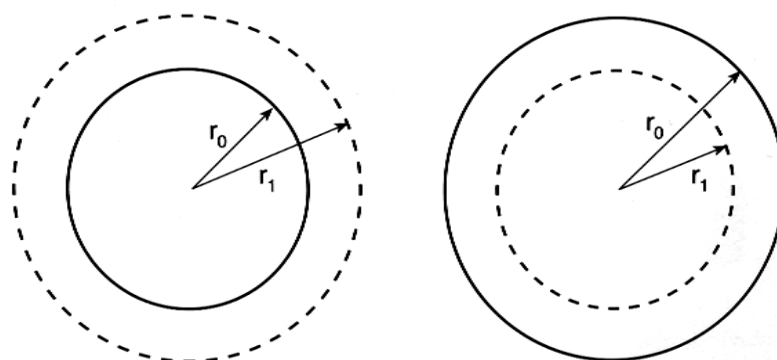
2.2. Deformacija rasterskog elementa

Za dobivanje kvalitetnog otiska je od presudne važnosti da svi parametri koji utječu na kvalitetu budu zadovoljeni. Problem se javlja kada neki parametar nije postavljen u optimalan odnos s ostalim parametrima sustava.

Deformacija rasterskog elementa je jedan od najvažnijih parametara u smanjenju kvalitete samog otiska. Da bi kvaliteta tiska bila zadovoljena izrazito bitno je deformaciju rasterskog elementa svesti na minimum.

U teoriji *rasterski element* se definira površinom kojom pokriva elementarnu površinu. No u realnosti rasterski element je ipak ili veći ili manji nego sami nominalni rasterski element, odnosno on je deformiran.

Pozitivno je deformiran ako je veći ($r_1 > r_0$) odnosno negativno je deformiran ako je manji ($r_1 < r_0$). Deformacija je najčešće pozitivna, osim u nekim posebnim slučajevima. Sama deformacija se pokazuje razlikom površine realnog i teoretskog rasterskog elementa. Ona se događa neovisno o obliku rasterskog elementa [1].



Slika 8 – Deformacija rasterskog elementa

Kako otisnuti rasterski element uvijek ima neku vrstu deformacije, potrebno je istu odrediti i kvantificirati kako bi se mogle maksimalno umanjiti ti ne željeni padovi kvalitete.

Uočilo se da postoje dvije temeljne vrste deformacija, a to su:

- geometrijska deformacija rasterskog elementa
- optička deformacija rasterskog elementa

Deformacije rasterskih elemenata se javljaju zbog različitih faktora, no najveći i najčešći uzrok deformacija su sile pritiska u samom tiskarskom stroju [1].

2.2.1. Geometrijska deformacija rasterskog elementa

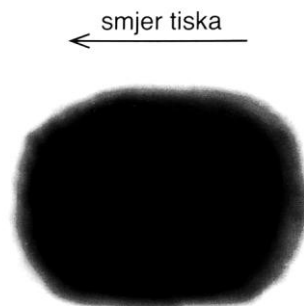
Geometrijska razlika rasterskog elementa je rezultat mehaničkih djelovanja na sam rasterski element tijekom te nakon tiska [1]. Geometrijska deformacija rasterskih elemenata se događa uslijed:

- smicanja rasterskog elementa
- dubliranja rasterskog elementa
- razmazivanja rasterskog elementa

2.2.1.1. Smicanje rasterskog elementa

Deformacija rasterskog elementa smicanjem se očituje produženjem rasterskog elementa u jednom smjeru. Karakteristika takve deformacije je produženje rasterskog elementa u smjeru tiska te relativno slične gustoće obojenja kod cijelog otisnutog rasterskog elementa.

U većini slučajeva smicanje je to koje deformira otisnuti rasterski element, dok se dubliranje i razmazivanje rjeđe događaju [1].

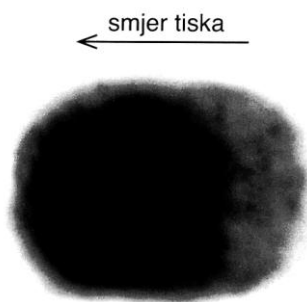


Slika 9 – Smicanje rasterskog elementa

2.2.1.2. Dubliranje rasterskog elementa

Karakteristika deformacije rasterskog elementa dubliranjem je trag koji nije iste gustoće obojenja kao nominalni rasterski element. Trag se očituje iza rasterskog elementa u smjeru tiska.

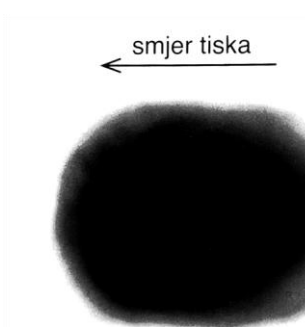
Karakteristika dubliranja je relativno ujednačena gustoća obojenja po cijelom tragu. Dubliranje je pojava koje se teško može ustanoviti te se rjeđe dešava nego deformacija smicanjem [1].



Slika 10 – Dubliranje rasterskog elementa

2.2.1.3. Razmazivanje rasterskog elementa

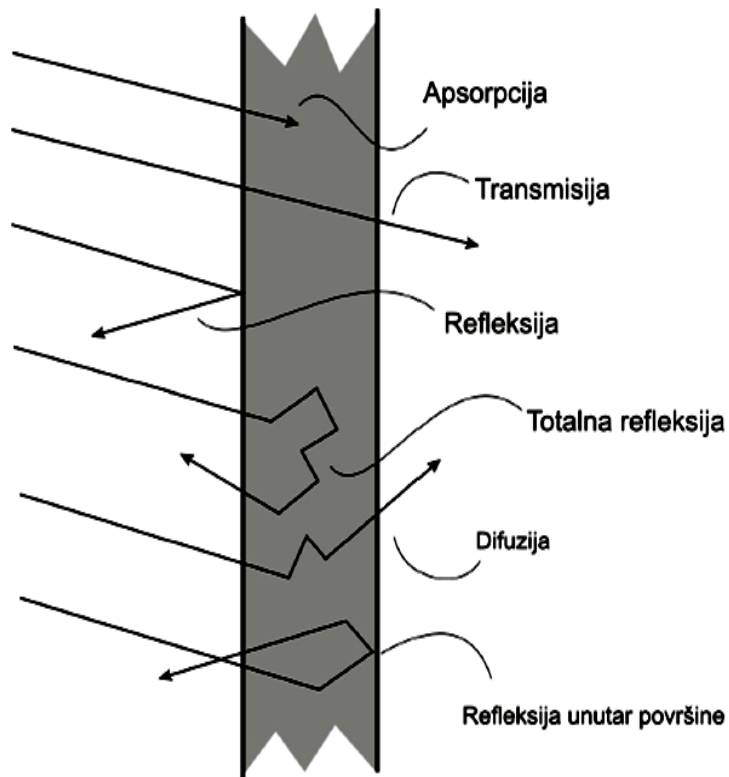
Deformacija rasterskog elementa razmazivanjem se događa najčešće kada otisnuti arak dolazi u mehanički kontakt sa samim tiskarskim strojem. Ili pak pri višebojnom tisku gdje je količina tiskarske boje toliko velika da dolazi do razmazivanja (ta pojava se manifestira češće kod neupojnih tiskarskih podloga) [1].



Slika 11 – Razmazivanje rasterskog elementa

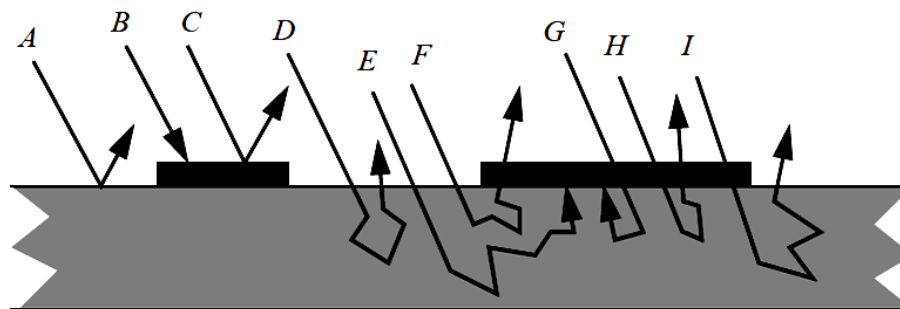
2.2.2. Optička deformacija rasterskog elementa

Na slici 12 su pokazane najčešće interakcije svjetlosti s ne otisnutom tiskovnom podlogom (papirom):



Slika 12 – Moguće putanje kretanja svjetlosti u papiru

Interakcija svjetlosti sa otisnutom tiskarskom podlogom (papirom) je još kompleksnije prirode:



Slika 13 – Moguće putanje svjetla na otisnutoj podlozi

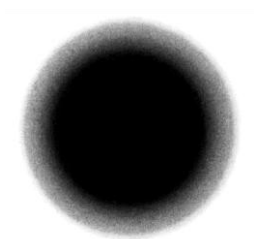
Ulazna svjetlost koja se reflektira s otiska ovisi o:

A – refleksija s površine tiskarske podloge

B – debljini, gustoći i strukturi tiskovne podloge

- C – propusnost sloja bojila povratne svjetlosti
- D – apsorpciji sloja bojila povratne svjetlosti
- E – refleksiji sloja bojila
- F – apsorpciji svjetlosti na sloju bojila
- G – propusnosti upadne i povratne svjetlosti
- H – apsorpciji upadne i povratne svjetlosti
- I – refleksiji djelomično apsorbirane svjetlosti kroz sloj bojila i tiskovnog materijala.

Kod idealne odnosno teoretske refleksije samog otiska dogodile bi se samo dvije situacije, situacija A i situacija E. Međutim, u stvarnosti se događaju sve ove interakcije, a interakcije koje najviše pospješuju optičku deformaciju rasterskog elementa su C i I. Rezultat svih tih interakcija je optička deformacija zvana još i halo efekt [1].



Slika 14 - Optički prirast rasterskog elementa

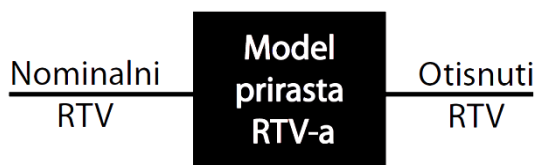
2.3. Prirast rastertonskih vrijednosti

S digitalizacijom grafičke tehnologije, pogotovo u dijelu pripreme javila se i potreba za digitalnom standardizacijom reprodukcijanskog procesa. Rezultat toga je bilo uvođenje color managementa u sam proces izrade grafičkog proizvoda. Jedna od prvih stvari koje je CMS morao riješiti je prirast rastertonske vrijednosti. Ta se pojava gotovo uvijek u procesu tiska javlja, a događa se iz dva glavna razloga. To su mehanička i optička deformacija rasterskih elemenata. Kako tiskarski sustavi novije generacije daju otiske kojima je prirast rastertonske vrijednosti mehaničkom deformacijom minimaliziran, ostaje optička deformacija kao glavni uzročnik prirasta rastertonske vrijednosti. Optička deformacija rasterskog elementa je neizbježan efekt koji se događa zbog kompleksne interakcije svjetlosti s tiskovnom podlogom na kojoj su otisnuti rasterski elementi [2].

2.3.1. Vrste modela prirasta rastertonske vrijednosti

Kako bi se prirast RTV-a mogao kvantificirati uvedeni su tako zvani modeli prirasta rastertonske vrijednosti. Tih modela ima generalno dva tipa. To su regresijski i fizikalni modeli. Regresijski modeli slove kao modeli jednostavnije prirode. Ideja iza tog tipa modeliranja je kalibracija parametara iz izmjerenih podataka. Taj tip modela je prikladan za određivanje rastertonske vrijednosti reprodukcije iz minimalnog broja otisnutih stripova. Regresijski modeli obično ne idu za time da objasne samu fiziku reprodukcijskog procesa nego da objasne ponašanje samog sustava. Druga vrsta modela su tako zvani fizikalni (first-principals) modeli koji imaju za cilj simulirati sami fizikalni proces reprodukcije. Ovaj tip modeliranja u većini slučajeva ne daje toliko dobre krajnje rezultate koliko dobro to čini regresijska (regression-based) metoda. U ovom radu će se obraditi regresijski tip modeliranja prirasta rastertonske vrijednosti, točnije odredit će se YNSN model prirasta RTV-a [3].

Tiskarski sustav nalaže da se pronađe odnos između nominalne i otisnute rastertonske vrijednosti (*Slika 15*).



Slika 15 – Pojednostavljeni shematski prikaz

Odnos između nominalne i otisnute rastertonske vrijednosti nije linearan i ovisi o mnogo čimbenika: spektralna reflektancija bojila, svojstva papira, tehnologija rastriranja, raspršenje svjetla na otisnutoj podlozi i drugo [4, 11].

2.3.2. Povijesni prikaz

Murray-Daviesov model prirasta rastertonskih vrijednosti je najosnovniji model. On pretpostavlja da je jedina vrsta interakcije između svjetlosti i jednobojnog otiska, reflektancija. Model u nekim valnim duljinama znatno odstupa od mjerenih vrijednosti, tako da su Yule i Nielsen u Murray-Daviesov model uveli

još jedan parametar. Do tog empirijskog parametra koji se nalazi kao eksponent reflektancije pojedinih primara su došli nakon studije o propagaciji i raspršenju svjetlosti na/u otisnutom papiru. Kako je Murray-Daviesov model predodređen samo za računanje prirasta RTV-a odnosno reflektancije jednobojnih otisaka još uvijek je postojao problem određivanja tih vrijednosti za višebojne reprodukcije. Taj problem je riješio Neugebauer preko Demichelovih jednadžbi. Znatno kasnije Viggiano uvodi Yule-Nielsenovu korekciju u Neugebauerovu ekstenziju Murray-Daviesovog modela. Taj model kompleksnije prirode je znan kao Yule-Nielsen modificirani spektralni Neugebauerov model [5].

2.3.3. Murray-Davies model

Model pretpostavlja da je ukupna reflektancija (R_{uk}) jednobojno otisnutog mjernog stripa rezultat sume reflektancije obojene površine (R_1) i reflektancije ne obojene površine odnosno papira (R_2):

$$R_{uk} = R_1 + R_2 \quad (3)$$

Jednadžba Murray-Daviesovog modela glasi:

$$R(\lambda) = a \cdot R_s(\lambda) + (1 - a) \cdot R_p(\lambda) \quad (4)$$

gdje je $R(\lambda)$ spektralna reflektancija reprodukcije, $R_s(\lambda)$ je spektralna reflektancija punog tona bojila (100%RTV-a), $R_p(\lambda)$ je spektralna reflektancija same tiskovne podloge (papira) i a je rastertonska vrijednost otisnute površine [6].

Murray-Daviesov model pretpostavlja jednoliku obojene podloge te idealnu i jednoliku podlogu. Taj model zanemaruje mnoge popratne pojave kao što su npr. Fresnelova refleksija i raspršenje svjetlosti [4].

2.3.4. Yule-Nielsen model

Yule i Nielsen su 1951. godine predstavili novi parametar unutar Murray-Daviesovog modela. Taj parametar je bio rezultat studije o raspršenju svjetlosti pri jednobojnim rastriranim tiskovnim podlogama. Njihov model je uzeo u obzir i tu činjenicu da spektralna reflektancija između otisnute i slobodne (ne otisnute) površine nije linearna. Dok je Murray-Daviesov model pretpostavljao linearnost.

Oni su ustanovili da nelinearnost može dobro biti objašnjena s eksponentom $1/n$. Modificirani Murray-Davies model s n -parametrom glasi [7]:

$$R^{\frac{1}{n}}(\lambda) = a \cdot R_s^{\frac{1}{n}}(\lambda) + (1 - a) \cdot R_p^{\frac{1}{n}}(\lambda) \quad (5)$$

gdje su $R(\lambda)$, $R_s(\lambda)$ i $R_p(\lambda)$ isti kao i kod Murray-Daviesove jednadžbe za spektralnu refleksiju, a n je takozvani n -faktor ili n -parametar.

Taj n -faktor objašnjava raspršenje svjetlosti na rastriranom otisku. Odnosno kako se u prošlom poglavlju spomenulo da postoje dvije osnovne vrste deformacija rasterskog elementa (mehanička i optička deformacija rasterskog elementa). Vjeruje se da empirijski n -faktor objašnjava baš optičku deformaciju rasterskog elementa, odnosno optički *prirast RTV-a* [4].

Parametar n je bezdimenzionalan. Kada je $n = 2$ on predstavlja potpuno raspršenje svjetlosti na jednobojnoj rasterskoj reprodukciji. Kada se n -faktor nalazi između 1 i 2 ($1 < n < 2$) smatra se smislen i unutar okvira modela. Kada je jednak 1 on poprima oblik Murray-Daviesovom (u kojem ne postoji raspršenje svjetlosti). No kada je n veći od 2 on označava neke druge efekte svjetlosti koje se zbivaju unutar otiska [4].

Problem n -parametra većeg (ili manjeg) od 1 je u tome što se narušava zakon očuvanja energije fotona te s toga on nema fizikalnog smisla (empirijske je prirode). No sve u svemu Yule-Nielsenov parametar se puno koristi u struci jer daje bolje rezultate nego sam Murray-Daviesov model [4].

2.3.5. Spektralni Neugebauerov model

Neugebauerov model je zapravo ekstenzija Murray-Daviesovog modela. Dok se Murray-Daviesov model odnosi samo na jednobojne otiske, Neugebauerov model se odnosi na višebojne otiske (mjerne stripove). Taj model daje spektralnu reflektanciju višebojnih rasterskih otisaka. Jednadžba Spektralnog Neugebauerovog modela glasi:

$$R_{uk}(\lambda) = \sum_{i=1}^{2^k} a_i \cdot R_i(\lambda) \quad (6)$$

uz uvjet da je suma Demichelovih jednadžbi jednaka 1

$$\sum_{i=1}^{2^k} a_i = 1 \quad (7)$$

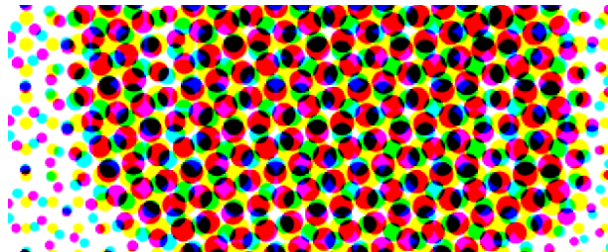
gdje je a_i rastertonska vrijednost pojedinog primara, k je broj otisnutih tiskarskih boja, $R_i(\lambda)$ je spektralna reflektancija punog tona (100%RTV) svakog pojedinog primara, dok i označava i -ti Neugebauerov primar [5].

Ako se radi o otisku s 3 bojila (cijan, magenta i žuta) onda se dobiva 8 primara:

- bijela
- cijan
- magenta
- žuta
- crvena (magenta i žuta)
- zelena (cijan i žuta)
- plava (cijan i magenta)
- kromatska crna (cijan, magenta i žuta)

2.3.5.1. Demichelove jednadžbe

U višebojnom rasterskom otisku, rasterski elementi se više ili manje preklapaju. To preklapanje je uvjetovano s rastertonskim vrijednostima pojedinih elemenata koji se preklapaju.



Slika 16 – Primjer višebojnog rasterskog otiska

Svaki od tih tonova koji se dobije kada se otisne višebojna reprodukcija se naziva primar. Ti primari se mogu kvantificirati preko tako zvanih Demichelovih jednadžbi.

Ako postoji rastrirani otisak sastavljen od 3 bojila (cijan, magenta i žuta) dobivamo 8 primara:

$$a_w = (1 - c) \cdot (1 - m) \cdot (1 - y)$$

$$a_c = c \cdot (1 - m) \cdot (1 - y)$$

$$a_m = (1 - c) \cdot m \cdot (1 - y)$$

$$\begin{aligned}
a_y &= (1 - c) \cdot (1 - m) \cdot y \\
a_{cm} &= c \cdot m \cdot (1 - y) \\
a_{cy} &= c \cdot (1 - m) \cdot y \\
a_{my} &= (1 - c) \cdot m \cdot y \\
a_w &= c \cdot m \cdot y
\end{aligned} \tag{8}$$

gdje je c , m i y rastertonska vrijednost pojedinih bojila; a_w RTV same tiskovne podloge (papira), a_c , a_m i a_y su RTV-i samih otisnutih bojila; a_{cm} , a_{cy} i a_{my} su RTV-i dva bojila koja se preklapaju, a a_{cm} je RTV sva tri preklopljena bojila.

Ako je otisak sastavljen od 4 bojila (cijan, magenta, žuta i crna) onda se dobiva 16 primara:

$$\begin{aligned}
a_w &= (1 - c) \cdot (1 - m) \cdot (1 - y) \cdot (1 - k) \\
a_c &= c \cdot (1 - m) \cdot (1 - y) \cdot (1 - k) \\
a_m &= (1 - c) \cdot m \cdot (1 - y) \cdot (1 - k) \\
a_y &= (1 - c) \cdot (1 - m) \cdot y \cdot (1 - k) \\
a_k &= (1 - c) \cdot (1 - m) \cdot (1 - y) \cdot k \\
a_{cm} &= c \cdot m \cdot (1 - y) \cdot (1 - k) \\
a_{cy} &= c \cdot (1 - m) \cdot y \cdot (1 - k) \\
a_{ck} &= c \cdot (1 - m) \cdot (1 - y) \cdot k \\
a_{my} &= (1 - c) \cdot m \cdot y \cdot (1 - k) \\
a_{mk} &= (1 - c) \cdot m \cdot (1 - y) \cdot k \\
a_{yk} &= (1 - c) \cdot (1 - m) \cdot y \cdot k \\
a_{cmy} &= c \cdot m \cdot y \cdot (1 - k) \\
a_{myk} &= (1 - c) \cdot m \cdot y \cdot k \\
a_{cyk} &= c \cdot (1 - m) \cdot y \cdot k \\
a_{cmk} &= c \cdot m \cdot (1 - y) \cdot k \\
a_{cmky} &= c \cdot m \cdot y \cdot k
\end{aligned} \tag{9}$$

objašnjenje Demichelovih jednadžbi otiska s 4 bojila je analogno objašnjenju s 3 bojila [5].

2.3.6. Yule-Nielsen modificirani spektralni Neugebauer model

Kako je Yule-Nielsenov model modifikacija Murray-Daviesovog modela tako je Yule-Nielsen modificirani spektralni Neugebauer model modifikacija spektralnog Neugebauerovog modela. Razlog tomu je spektralni Neugebauerovog modela koji je zapravo ekstenzija Murray-Daviesovog modela.

$$R_{uk}(\lambda) = \left(\sum_{i=1}^{2^k} a_i \cdot R_i(\lambda)^{\frac{1}{n}} \right)^n \quad (10)$$

uz uvjet da je suma Demichelovih jednadžbi jednaka 1

$$\sum_{i=1}^{2^k} a_i = 1 \quad (11)$$

gdje je a_i rastertonska vrijednost pojedinog primara, k je broj otisnutih tiskarskih boja, $R_i(\lambda)$ je spektralna reflektancija punog tona (100%RTV) svakog pojedinog primara, n je Yule-Nielsenov parametar, dok i označava i -ti Neugebauerov primar.

Izračunavanje spektralne reflektancije kod Yule-Nielsen modificiranog Spektralnog Neugebauerovog modela nije toliko precizna u usporedbi s Yule-Nielsenovim modelom za jednobojne otiske. Razlog tomu je jednostavno računanje reflektancije višebojne reprodukcije. No ovaj model je ipak najkorišteniji regresijski model prirasta rastertonskih vrijednosti [5].

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. Cilj istraživanja

Cilj istraživanja je bio dati jedinstveni n parametar unutar Yule-Nielsen modificiranog spektralnog Neugebauerovog modela dobiven iz osam mjerenih spektrofotometrijskih krivulja (T1-T8). Jedinstveni n parametar za svih osam krivulja odrediti u uvjetima jednostavne i superpozicijske metode kalibriranja samog modela te ga komparirati.

Uz određivanje samog n parametra cilj je bio pokazati odstupanja faktora refleksije između izračunatih i izmjerenih spektrofotometrijskim krivulja.

3.1.1. Ink-Jet uređaj

Epson Stylus Pro 3800 je printer koji može otisnuti A2+ format te je specijaliziran za poto-aplikacije. Uređaj koristi ukupno 9 bojila točnije koriste se mat crna, foto crna, light crna, light light crna, cijan, magenta, light cijan, light magenta i žuta (MK, PK, LK, LLK, C, M, LC, LM, Y). Svaka kantica ima 80 mL bojila u sebi. Bojila su bazirana na UltraChrome K3 pigmentu što sve u svemu rezultira sa stabilnijem otiskom tijekom dužeg perioda vremena komparirajući ih s dye baziranim bojilima [10].

3.1.2. Spektrofotometrijski uređaj

Korišten je Spektrofotometrijski uređaj X-rite eXact. Uređaj je ručni prijenosni spektrofotometar denzitometar i kolorimetar. Korištenje ovog uređaja je jako jednostavno tako da se mogu vidjeti svi željeni parametri bojila (u uređaj je integriran i Pantone standard). X-rite eXact-om unutar scan opcije može mjeriti kratke ili duge mjerni stripovi (dužine do 112 cm). Uređaj može podesiti otvor kamere na četiri različite veličine (1.5, 2, 4 i 6 mm), a minimalna površina mjerenja iznosi 3 x 3 mm [9]. Spektrofotometrijska krivulja je unutar intervala valnih duljina od 400 do 700 nm (mjerenja se vrše svakih 10 nm).

3.1.3. Tiskovna podloga

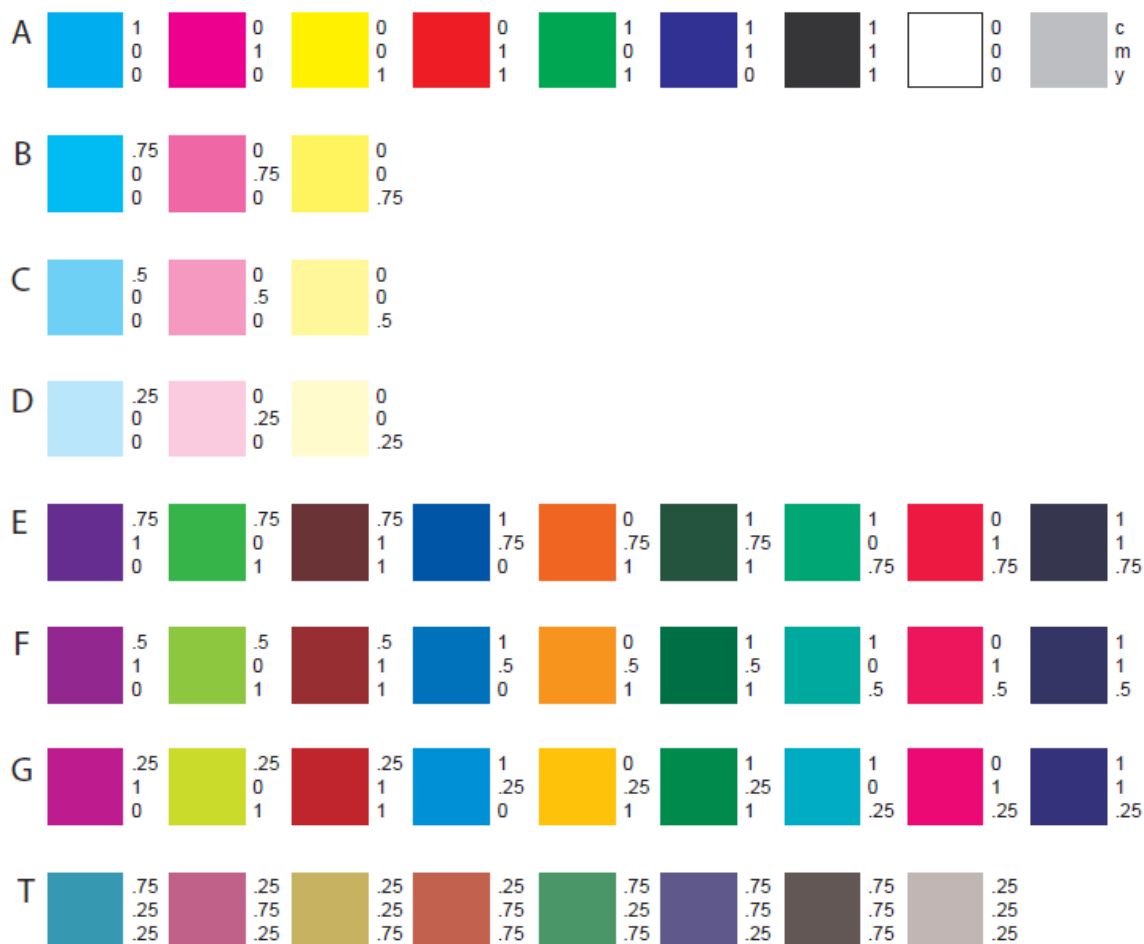
Kao tiskovna podloga u ink-jet ispisu je korišten nepremazani bezdrveni papir. Nano Business papir je uredski papir gramature od 80 gm^{-2} te A4 formata. Dolazi u paketu od 500 stranica. Na pakiranju su označene tehnike ispisa za koje se papir najčešće koristi te su označene ocjene za iste. Laserski (elektrofotografski) ispis ima ocjenu 5/5 dok ink-jet ispis ima ocjenu 3/5.

3.1.4. Kompjuterski programi

Za sve izračune unutar rada se koristio program PTC Mathcad Prime 3.1 dok su svi grafikoni izmodelirani u programu OriginPro 2015 32Bit. Kao sekundarni (pomoćni) program se koristio Microsoft Office Excel 2007.

3.2. Kalibracija YNSN modela

Kako bi se odredile spektralne karakteristike korištenog medija (podloga, bojilo) te karakteristike otiska (tehnika tiska, tehnika rastriranja), model se mora kalibrirati iz malog broja mjernih stripova. Mjernih stripova punog tona ima 2^k , gdje je broj k broj bojila koje se koriste pri kalibraciji. No kako bi se mogao kalibrirati sam prirast rastertonskih vrijednosti treba se izmjeriti i definirani broj rastriranih mjernih stripova, a ti stripovi su definirane rastertonske vrijednosti.



Slika 17 – Mjerni stripovi

U redu A se nalaze stripovi otisnuti punim tonom (100%RTV), njih 2^3 . Redovi B, C i D definiranih rastertonskih vrijednosti od $q_i=0.25$, 0.5 i 0.75 su otisnuti na samu tiskovnu podlogu (papir). Dok su redovi E, F i G istih rastertonskih vrijednosti q_i otisnuti na puni ton jednog ili dvaju bojila ($q_{i,j}$). Red T je otisnut kao kombinacija rastertonskih vrijednosti od 0.25 i 0.75. Stripovi su mjereni po 10 puta svaki

spektrofotometrijskim uređajem X-Rite. Zatim je izračunata aritmetička sredina za svaki pojedini strip [8].

3.2.1. Jednostavna metoda kalibracije (Jednostavna metoda određivanja krivulje realne reprodukcije)

Izmjeren je red A. Kako bi se ovaj tip kalibracije izveo potrebni su mjerni stripovi iz reda B, C i D. Sve ukupno u tim redovima postoji 9 mjernih stripova. Za mjerenje tih stripova se koristio spektrofotometrijski uređaj. Svaki strip (označen $R_m(\lambda)$) ima dva koloranta na sebi. Kolorant i je rasterizirana površina $q_{i/J}$ rastertonske vrijednosti gdje je J kolorant punog tona koji iznosi $1 - q_{i/J}$. Prvi korak u određivanju krivulje realne reprodukcije je odrediti otisnutu rastertonsku vrijednost svakog pojedinog mjernog stripa (osim reda A gdje se nalaze puni tonovi te reda T koji će se komparirati s dobivenim rezultatima YNSN modela). Izračuni otisnutog RTV-a se vrše preko jednadžbe:

$$R_m(\lambda) = q'_{i/J} \cdot R_t(\lambda) + (1 - q'_{i/J}) \cdot R_p(\lambda) \quad (12)$$

Traži se otisnuta rastertonska vrijednost q_i , tako da jednadžba glasi:

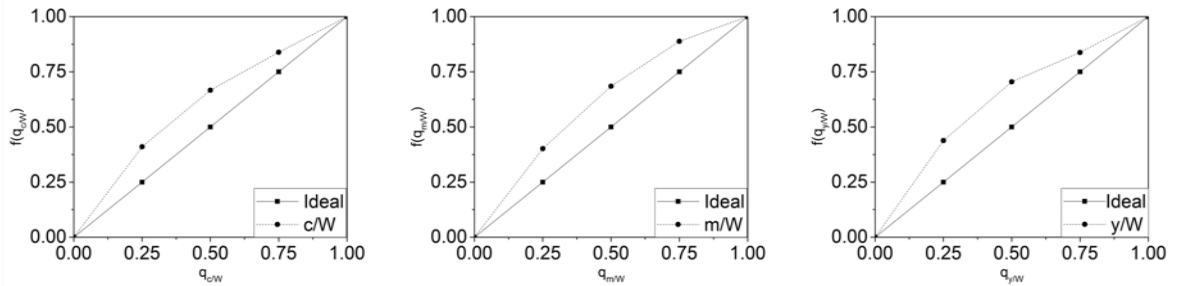
$$q'_{i/J} = \frac{R_m(\lambda) - R_p(\lambda)}{R_t(\lambda) - R_p(\lambda)} \quad (13)$$

gdje $R_m(\lambda)$ predstavlja izmjerenu reflektanciju stripa, $R_t(\lambda)$ je izmjerena reflektancija punog tona (red A), $R_p(\lambda)$ predstavlja izmjerenu reflektanciju papira, a $q'_{i/J}$ predstavlja otisnuti RTV.

$$q'_{i/J} = \mathbf{R}_{m0}^T \cdot \mathbf{R}_{t0} \cdot (\mathbf{R}_{t0}^T \cdot \mathbf{R}_{t0})^{-1} \quad (14)$$

Gdje je $\mathbf{R}_{m0} = \mathbf{R}_m(\lambda) - \mathbf{R}_p(\lambda)$ i $\mathbf{R}_{t0} = \mathbf{R}_t(\lambda) - \mathbf{R}_p(\lambda)$, a T i $^{-1}$ transpozicija i inverz matrice. Kako su rezultati mjerenja vektori, jednadžba je prebačena u matični oblik (vektori su reflektancija po valnim duljinama).

Kada se izračuna svih 9 otisnutih rastertonskih vrijednosti te se pretpostavi da se za 0% nominalnog RTV-a otisne 0% realnog RTV-a i za 100% nominalnog RTV-a otisne 100% realnog RTV-a. Dobije se 5 točaka koja se zatim linearno interpoliraju te se dobije krivulja realne reprodukcije.



Grafikon 1 – Primjer krivulja realne reprodukcije u jednostavnoj metodi određivanja

Kako se za svako bojilo dobiva po jedna krivulja realne reprodukcije, a postoje u svakom pojedinom slučaju tri bojila, tako se dobiju tri krivulje realne reprodukcije (što se vidi na slici gore) [8].

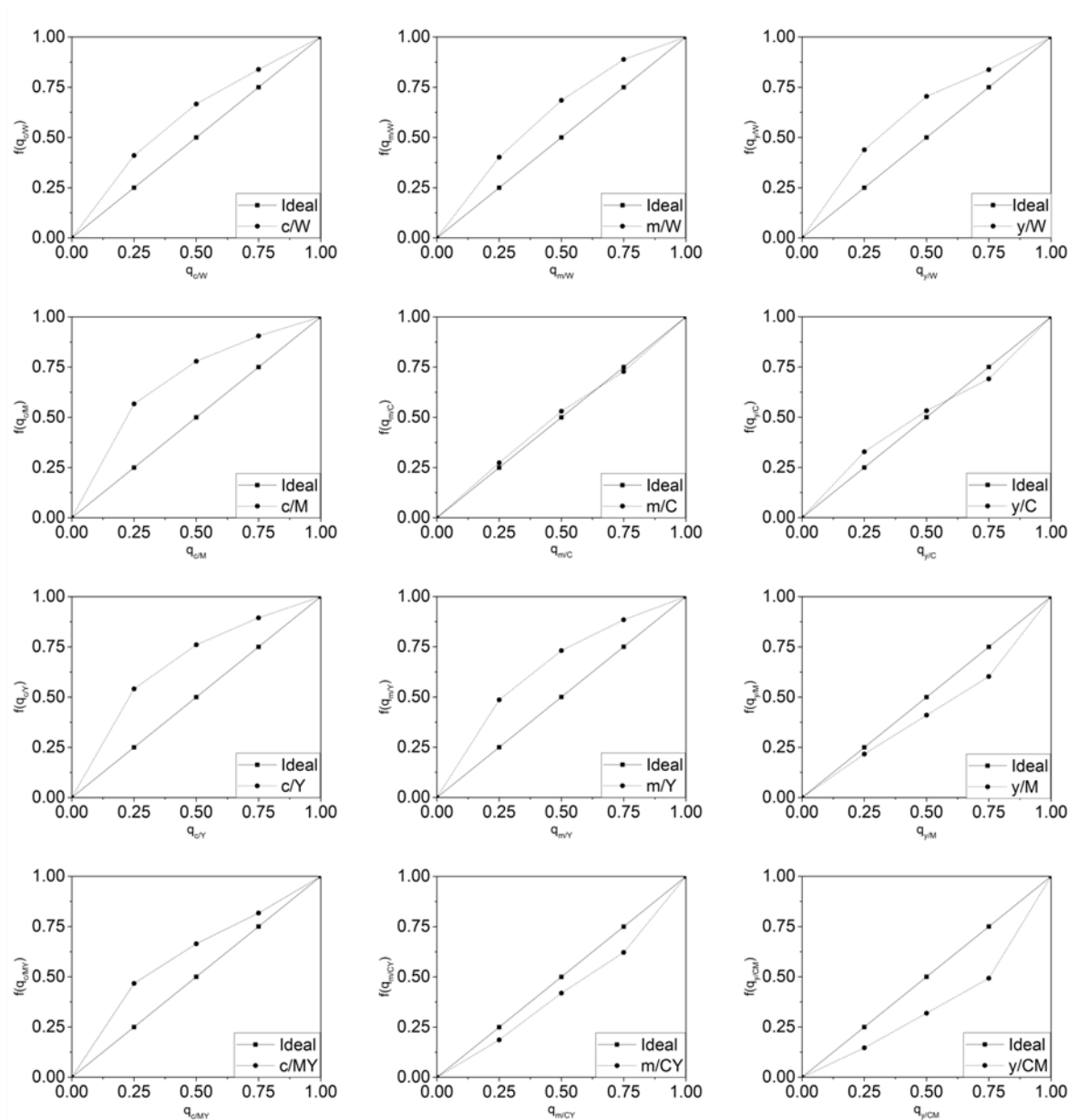
3.2.2. Superpozicijska metoda kalibracije (Superpozicijska metoda određivanja krivulje realne reprodukcije)

Jednostavna metoda određivanja krivulje realne reprodukcije se može optimizirati ako se gleda činjenica da prirast RTV-a ovisi o tome dali je rasterski element otisnut na samu tiskovnu podlogu ili je otisnut na puni ton nekog bojila. Ta superpozicijska metoda određivanja krivulje realne reprodukcije za kalibraciju koristi mjerne stripove iz redova B do G. Redovi E, F i G se sastoje od rastera koji je otisnut na punom tonu jednog ili dva bojila, a određivanje otisnutog RTV-a je u potpunosti analogna onoj kod jednostavne metode određivanja krivulje realne reprodukcije.

Jednadžba koja preko vektora određuje otisnuti RTV se koristi i ovdje no umjesto reflektancije samog papira koristi se reflektancija određenog bojila koje je otisnuto u punom tonu (red A).

Na kraju se linearnom interpolacijom dobije 12 krivulja realne reprodukcije ($q' = f_{i/J}(q)$ gdje je i rastrirani ton bojila, a J puni ton bojila koji se nalazi na mjernom stripu). Sve ukupno imamo 36 mjernih stripova. Za rastertonske vrijednosti $q_{i/J} = 0\%$ i $q_{i/J} = 100\%$ isto tako pretpostavlja da su $q'_{i/J} = 0\%$ i

$$q'_{i//} = 100\%$$



Grafikon 2 – Primjer krivulja realne reprodukcije u superpozicijskoj metodi određivanja

Superpozicijska metoda kalibracije daje manja odstupanja izračunate spektrofotometrijske krivulje nad mjerenom u komparaciji s jednostavnom metodom kalibracije [8].

3.2.3. Predviđanje modela

Kada su sve krivulje realne reprodukcije izračunate, model se smatra kalibriranim. A iz toga se može izračunati spektralna reflektancija za bilo koju nominalnu rastertonsku vrijednost ($q_{c/J}, q_{m/J}, q'_{y/w}$).

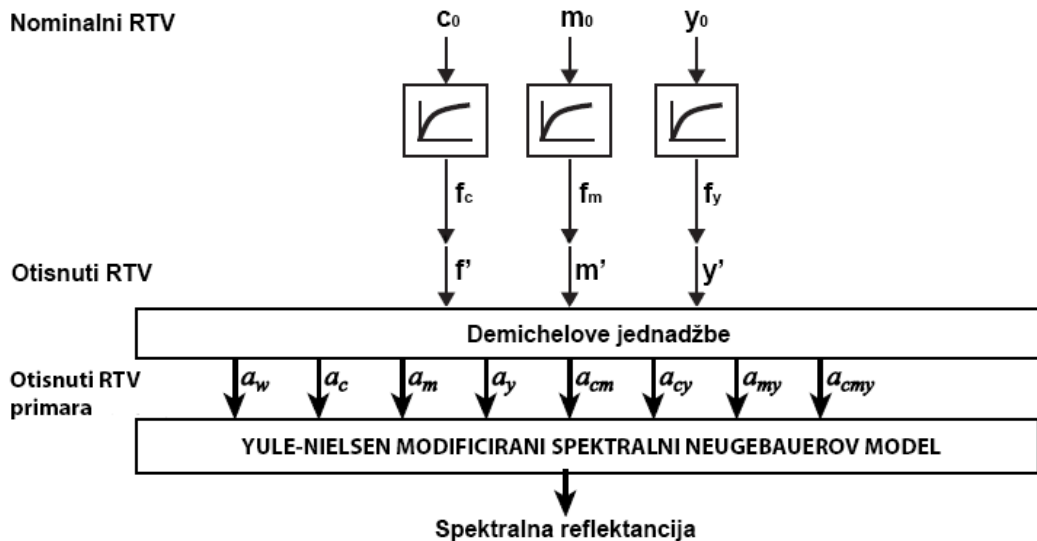
Jednostavnom metodom određivanja krivulje realne reprodukcije se odmah dobiva otisnuta rastertonska vrijednost, q' :

$$q'_{c/w} = f(q_{c/w}) \quad (15)$$

$$q'_{m/w} = f(q_{m/w}) \quad (16)$$

$$q'_{y/w} = f(q_{y/w}) \quad (17)$$

Taj otisnuti RTV ($q'_{c/w}, q'_{m/w}, q'_{y/w}$) se stavlja u *Demichelove jednadžbe* koje daju sve otisnute rastertonske vrijednosti primara.



Slika 18 - Shema jednostavne metode određivanja krivulje realne reprodukcije

Kod sustava s 3 bojila (cijan, magenta i žuta) superpozicijskom metodom kalibracije se iz nominalnog RTV-a izračunava 'relativni' otisnuti RTV pomoću sustava jednadžbi:

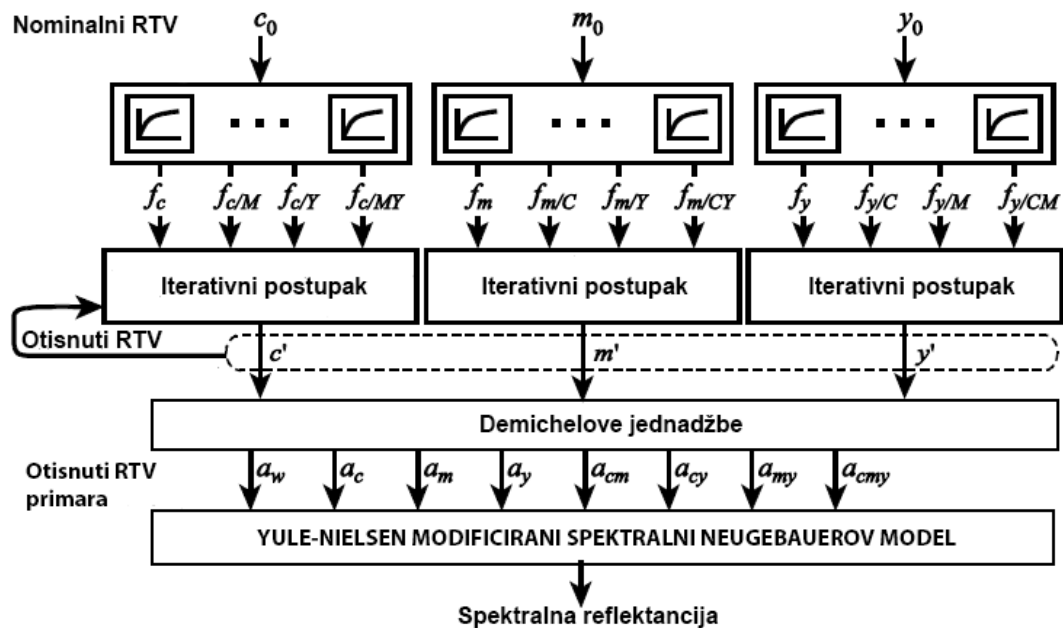
$$q'_c = (1 - q_m) \cdot (1 - q_y) \cdot f\left(\frac{q_c}{w}\right) + q_m \cdot (1 - q_y) \cdot f\left(\frac{q_c}{M}\right) + (1 - q_m) \cdot q_y \cdot f\left(\frac{q_c}{Y}\right) + q_m \cdot q_y \cdot f\left(\frac{q_c}{MY}\right) \quad (18)$$

$$q'_m = (1 - q_c) \cdot (1 - q_y) \cdot f\left(\frac{q_m}{w}\right) + q_c \cdot (1 - q_y) \cdot f\left(\frac{q_m}{c}\right) + (1 - q_c) \cdot q_y \cdot f\left(\frac{q_m}{y}\right) + q_c \cdot q_y \cdot f\left(\frac{q_m}{cy}\right) \quad (19)$$

$$q'_y = (1 - q_c) \cdot (1 - q_m) \cdot f\left(\frac{q_y}{w}\right) + q_c \cdot (1 - q_m) \cdot f\left(\frac{q_y}{c}\right) + (1 - q_c) \cdot q_m \cdot f\left(\frac{q_y}{m}\right) + q_c \cdot q_m \cdot f\left(\frac{q_y}{cm}\right) \quad (20)$$

Ovaj sistem jednađbi se može izračunati iterativnim postupkom. Počinje se od RTV-a koji je jednak nominalnom RTV-u ($q'_c = q_c, q'_m = q_m, q'_y = q_y$). Nakon prve iteracije cijelog sistema jednađbi dobiju se novi rezultati. Ti rezultati se opet koriste u novoj iteraciji itd. Nakon nekoliko iteracija (4 do 5 najčešće) rezultati se ustabile te se dobiju konačne rastertonske vrijednosti svakog pojedinog bojila.

Zatim se ti konačne rastertonske vrijednosti stavljaju u Demichelove jednađbe te se dobivaju rastertonske vrijednosti svih 8 primara [5].



Slika 19 – Shema superpozicijske metode određivanja krivulje realne reprodukcije

3.2.4. Proširenje na 4 bojila

Model objašnjen u prošlom poglavlju se može vrlo lako proširiti na 4 bojila, no onda umjesto 8 imamo 16 primara. Kako bi se izračunale sve konačne rastertonske vrijednosti u , v , w i x bojila, imamo 16 Demichelovih jednadžbi:

$$\begin{aligned}
 a_1 &= (1 - u) \cdot (1 - v) \cdot (1 - w) \cdot (1 - x) \\
 a_2 &= u \cdot (1 - v) \cdot (1 - w) \cdot (1 - x) \\
 a_3 &= (1 - u) \cdot v \cdot (1 - w) \cdot (1 - x) \\
 a_4 &= (1 - u) \cdot (1 - v) \cdot w \cdot (1 - x) \\
 a_5 &= (1 - u) \cdot (1 - v) \cdot (1 - w) \cdot x \\
 a_6 &= u \cdot v \cdot (1 - w) \cdot (1 - x) \\
 a_7 &= u \cdot (1 - v) \cdot w \cdot (1 - x) \\
 a_8 &= u \cdot (1 - v) \cdot (1 - w) \cdot x \\
 a_9 &= (1 - u) \cdot v \cdot w \cdot (1 - x) \\
 a_{10} &= (1 - u) \cdot v \cdot (1 - w) \cdot x \\
 a_{11} &= (1 - u) \cdot (1 - v) \cdot w \cdot x \\
 a_{12} &= u \cdot v \cdot w \cdot (1 - x) \\
 a_{13} &= (1 - u) \cdot v \cdot w \cdot x \\
 a_{14} &= u \cdot (1 - v) \cdot w \cdot x \\
 a_{15} &= u \cdot v \cdot (1 - w) \cdot x \\
 a_{16} &= u \cdot v \cdot w \cdot x
 \end{aligned} \tag{21}$$

U slučaju da je 4. bojilo crna, superpozicije s ostalim rastriranim bojilima će opet biti crno bojilo. No crno bojilo koje je rastrirano u superpoziciji s punim tonovima ostalih bojila će dati vidljivi *prirast RTV-a* [5]. Kako tih superpozicija rastriranog crnog bojila ima 8, proširenjem sustava jednadžbi se može izračunati konačni RTV ove boje u cmyk otisku:

$$\begin{aligned}
 q_k &= (1 - q_c) \cdot (1 - q_m) \cdot (1 - q_y) \cdot f\left(\frac{q_k}{W}\right) + q_c \cdot (1 - q_m) \cdot (1 - q_y) \cdot f\left(\frac{q_k}{C}\right) + \\
 &(1 - q_c) \cdot q_m \cdot (1 - q_y) \cdot f\left(\frac{q_k}{M}\right) + q_c \cdot q_m \cdot (1 - q_y) \cdot f\left(\frac{q_k}{CM}\right) + (1 - q_c) \cdot \\
 &(1 - q_m) \cdot q_y \cdot f\left(\frac{q_k}{Y}\right) + q_c \cdot (1 - q_m) \cdot q_y \cdot f\left(\frac{q_k}{CY}\right) + (1 - q_c) \cdot q_m \cdot q_y \cdot f\left(\frac{q_k}{MY}\right) + \\
 &q_c \cdot q_m \cdot q_y \cdot f\left(\frac{q_k}{CMY}\right)
 \end{aligned} \tag{22}$$

3.2.5. Demichelove jednadžbe i SN model

Kada se odredila svaka pojedina Demichelova jednadžba odnosno relativna rasterska površina svakog pojedinog primara započinje se sa konstruiranjem spektralnog Neugebauerovog modela. Kako je broj otisnutih bojila $k = 3$ tako je broj Demichelovih jednadžbi jednak 2^k odnosno 8, što se i vidi unutar jednadžbe samog modela:

$$R_{uk}(\lambda) = \sum_{i=1}^8 a_i \cdot R_i(\lambda) \quad (23)$$

gdje je a_i relativna rasterska površina svakog pojedinog primara, $R_i(\lambda)$ je spektralna reflektancija punog tona svakog pojedinog primara, dok 8 označava broj primara [8].

Spektralni Neugebauer model se naposljetku modificira Yule-Nielsenovim parametrom kako bi se dobio Yule-Nielsen modificirani spektralni Neugebauerov model:

$$R_{uk}(\lambda) = \left(\sum_{i=1}^8 a_i \cdot R_i(\lambda)^{\frac{1}{n}} \right)^n \quad (24)$$

gdje je uveden još i n parametar unutar spektralnog Neugebauerovog modela.

4. REZULTATI I DISKUSIJA

4.1. Određivanje n parametra

Nakon izračuna spektralnog Neugebauerovog modela slijedi modifikacija Yule-Nielsenovim n parametrom. U ovom eksperimentu n parametar se određivao *fitt*-anjem odnosno umetanjem. Određivanje optimalnog n parametra se izvelo pomoću jednadžbe:

$$OFR = \frac{\sum_{i=1}^m |ra_i - mj_i|}{m} \quad (25)$$

gdje je ra_i svaki pojedini element unutar izračunatog vektora odnosno mj_i svaki pojedini element izmjenog vektora, a m je broj elemenata u vektoru. Ova jednadžba određuje odstupanje reflektancije izračunate spektrofotometrijske krivulje s onom izmjenom. Da bi se dobio optimalni (zadovoljavajući) n parametar odstupanje reflektancija za svaku pojedinu spektrofotometrijsku krivulju mora biti minimalizirano.

Kako bi se mogao odrediti optimalni n parametar, on se mora uzeti kao funkcija odstupanja faktora refleksije:

$$OFR = f(n) \quad (26)$$

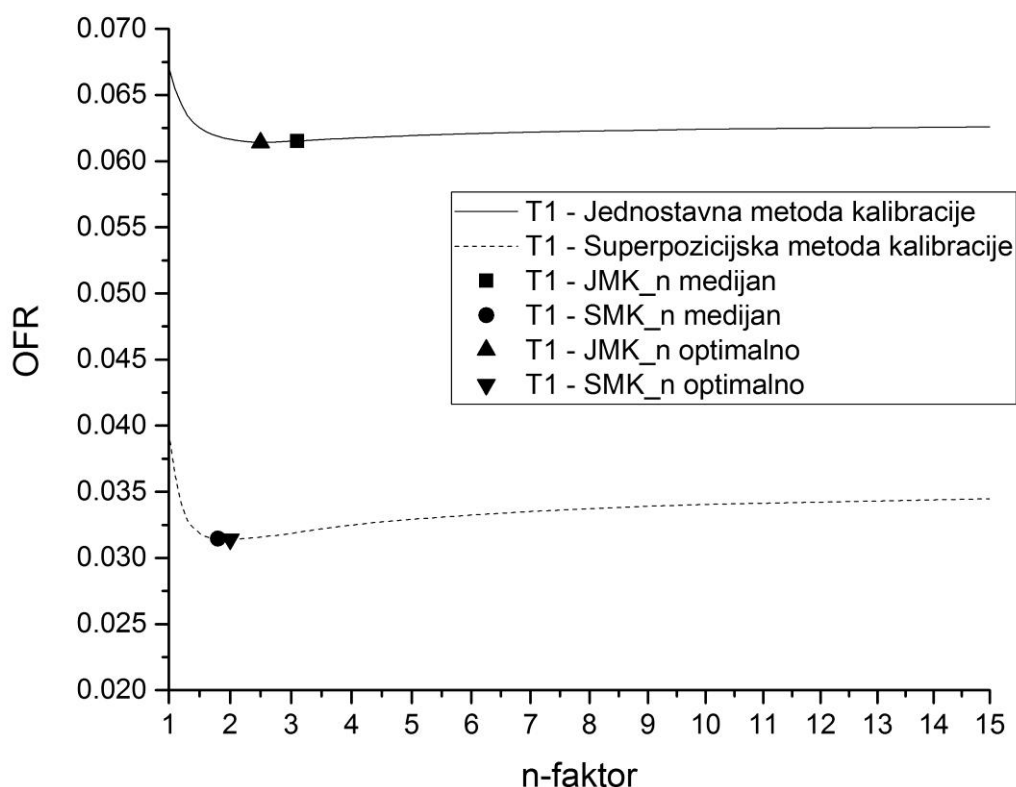
gdje je OFR odstupanje faktora refleksije, a n Yule-Nielsenov parametar.

Sve ukupno 5 od 8 spektrofotometrijskih krivulja (po svakoj metodi kalibracije) rezultiraju s jednim ekstremom unutar funkcije. U toj točki se ujedno nalazi i minimalni n parametar iščitan iz nominalne osi grafa. No 3 od 8 spektrofotometrijskih krivulja nemaju niti jedan ekstrem funkcije te se sa smanjenjem odstupanja reflektancije n parametar povećava i odlazi u asimptoti. Da bi se te ekstremne vrijednosti n parametra zaobišle uvedena je aproksimacija od 0.03 u odnosu na vrijednost kada je n parametar jednak 15 ($n = 15$).

Za odstupanja u reflektanciji izračunatih spektrofotometrijskih krivulja su uzeti n parametri od 1 do 15. Parametri n od 1 do 5 su uzeti u intervalima od 0.1 dok je n parametar od 5 do 10 uzet u intervalu od 1. Od 10 do 15 je uzet interval n parametra od 5.

Da bi se na posljetku dobio uniformni (jedinstveni) n parametar za svaku pojedinu metodu kalibracije modela (jednostavnu i superpozicijsku metodu kalibracije), izračunat je medijan svih osam optimalnih n parametara.

4.1.1. T1 krivulje optimalizacije n parametra

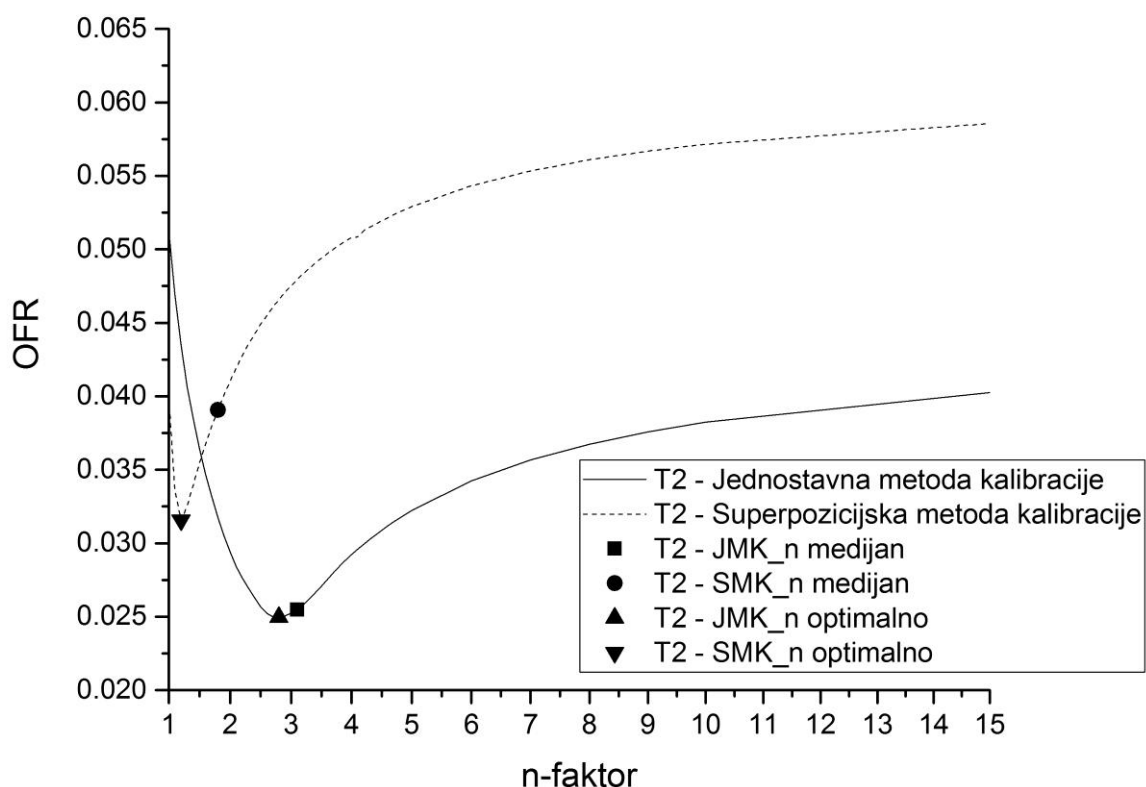


Grafikon 3 - T1 krivulje optimalizacije n parametra

Krivulja odstupanja faktora refleksije po n parametru kod modela sa jednostavnom metodom kalibracije ima najniži n koji iznosi 2.5 na odstupanju od 0.061413. Krivulja dobivena iz modela superpozicijske metode kalibracije najniži n parametar koji iznosi 2 ima na odstupanju od 0.031425.

Parametar n dobiven kao medijan svih osam optimalnih n-ova za model kalibriran jednostavnom metodom iznosi 3.1 te ima odstupanje od 0.061532. Dok n parametar dobiven kao medijan svih osam optimalnih n parametara za model kalibriran superpozicijskom metodom iznosi 1.8 te se nalazi na odstupanju od 0.031454.

4.1.2. T2 krivulje optimalizacije n parametra

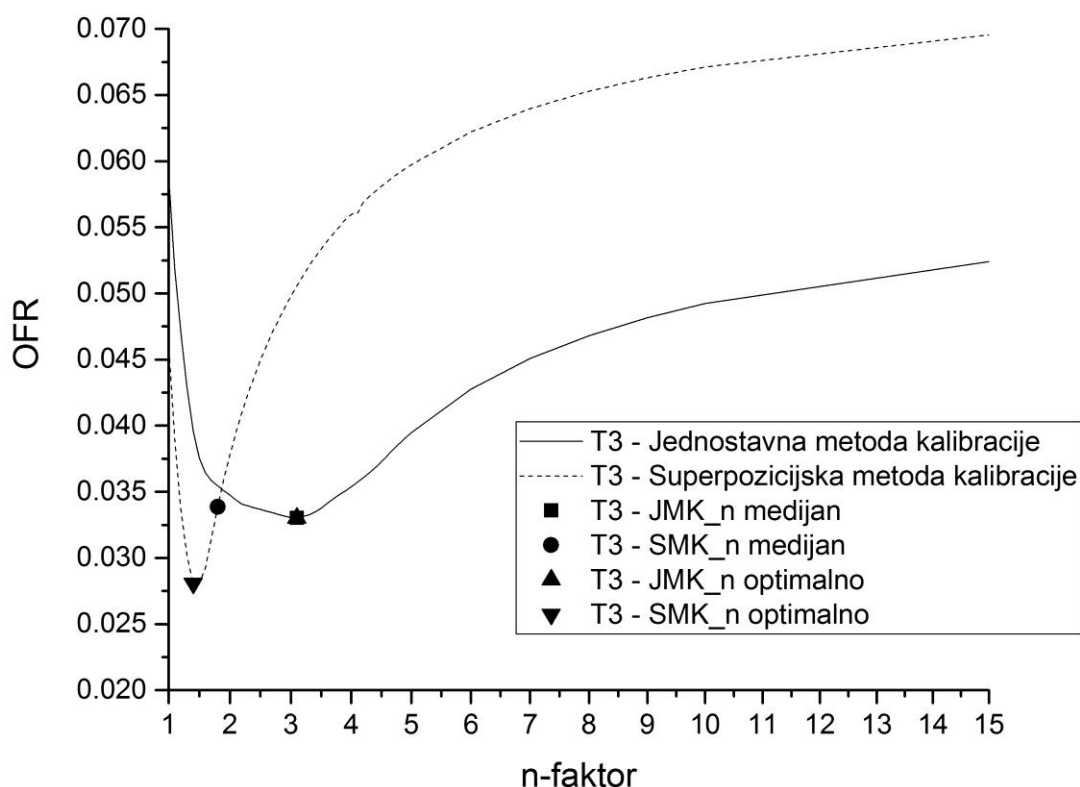


Grafikon 4 – T2 krivulje optimalizacije n parametra

Krivulja odstupanja reflektancije po n-u za model dobiven jednostavnom metodom kalibracije rezultira optimalnim n-om od 2.8 te odstupa 0.024984 od nominalne spektrofotometrijske krivulje. Odstupanje kod modela dobivenog superpozicijskom metodom kalibracije rezultira s optimalnim n parametrom ($n = 1.2$) na 0.031565.

Parametar n dobiven kao medijan osam optimalnih n-ova iznosi 3.1 te ima odstupanje reflektancije za model kalibriran jednostavnom metodom od 0.025483. Dok n dobiven kao medijan optimalnih n-ova ima odstupanje od 0.039069.

4.1.3. T3 krivulje optimalizacije n parametra

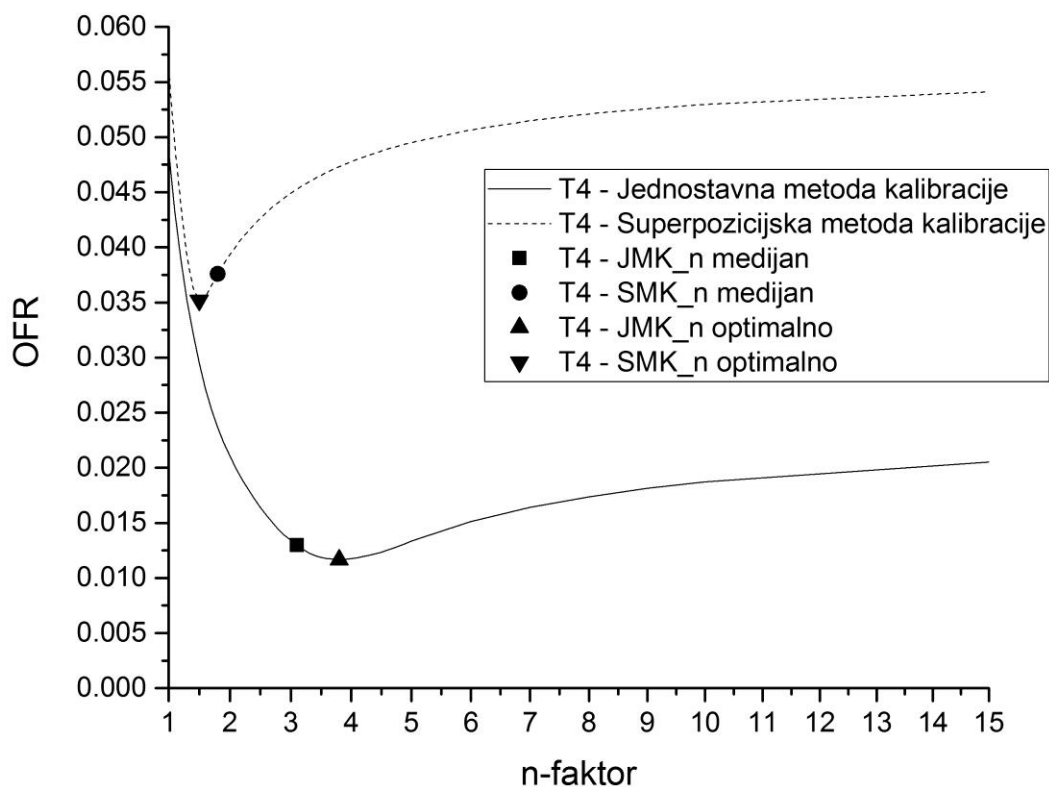


Grafikon 5 – T3 krivulje optimalizacije n parametra

Krivulja odstupanja po n-u za model izveden jednostavnom metodom kalibracije ima optimalni n (koji iznosi 3.1) na odstupanju od 0.033022. Optimalni n parametar za model izveden iz superpozicijske metode kalibracije iznosi 1.4 na odstupanju reflektancije od 0.028078.

Medijan n parametra za jednostavnu metodu kalibracije modela iznosi isto kao i optimalni n parametar ($n = 3.1$, $OFR = 0.033022$). Dok medijan n parametra kod superpozicijske metode kalibracije iznosi 1.8 te ima odstupanje od 0.033851.

4.1.4. T4 krivulje optimalizacije n parametra

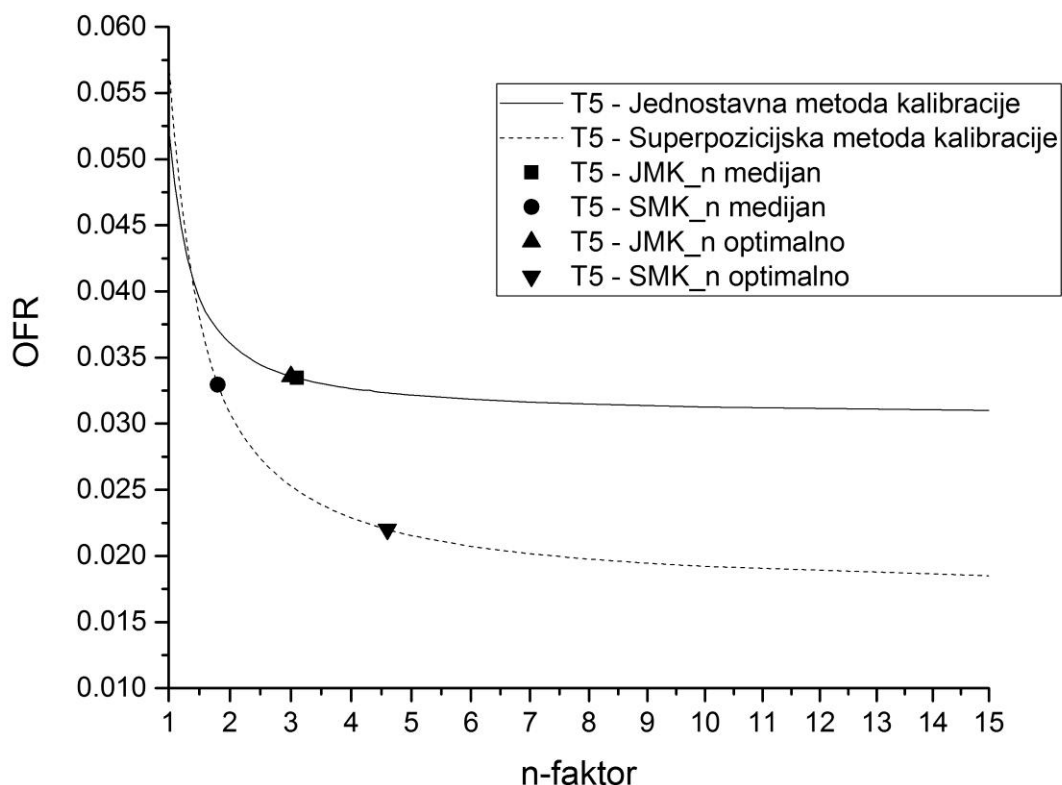


Grafikon 6 – T4 krivulje optimalizacije n parametra

Optimalni n parametar kod modela kalibriranog jednostavnim metodom iznosi 3.8 te ima odstupanje od 0.011653. Dok optimalni n parametar kod modela kalibriranog superpozicijskom metodom iznosi 1.5 te ima odstupanje od 0.035179.

Medijan n parametra pri jednostavnoj metodi kalibracije iznosi 3.1 te ima odstupanje od 0.012996. Dok superpozicijska metoda kalibracije rezultira s medijanom n-a od 1.8 te ima odstupanje od 0.037577.

4.1.5. T5 krivulje optimalizacije n parametra

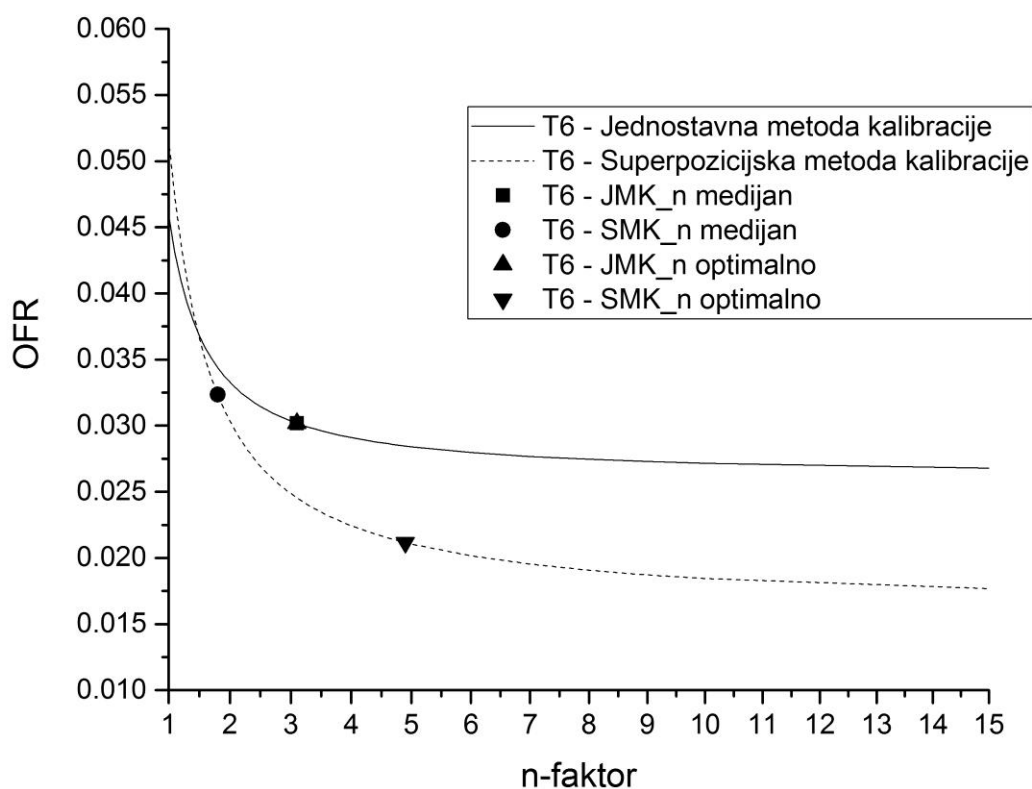


Grafikon 7 – T5 krivulje optimalizacije n parametra

Optimalan n dobiven jednostavnom metodom kalibracije modela T5 spektrofotometrijske krivulje iznosi 3 te ima odstupanje reflektancije od 0.033592. Dok optimalni n parametar dobiven superpozicijskom metodom kalibracije iznosi 4.6 te ima odstupanje od 0.021998.

Medijan n parametra dobiven jednostavnom metodom kalibracije iznosi 3.1 te ima odstupanje od 0.033464. Odnosno medijan n parametra dobiven superpozicijskom metodom kalibracije iznosi 1.8 te ima odstupanje od 0.032942.

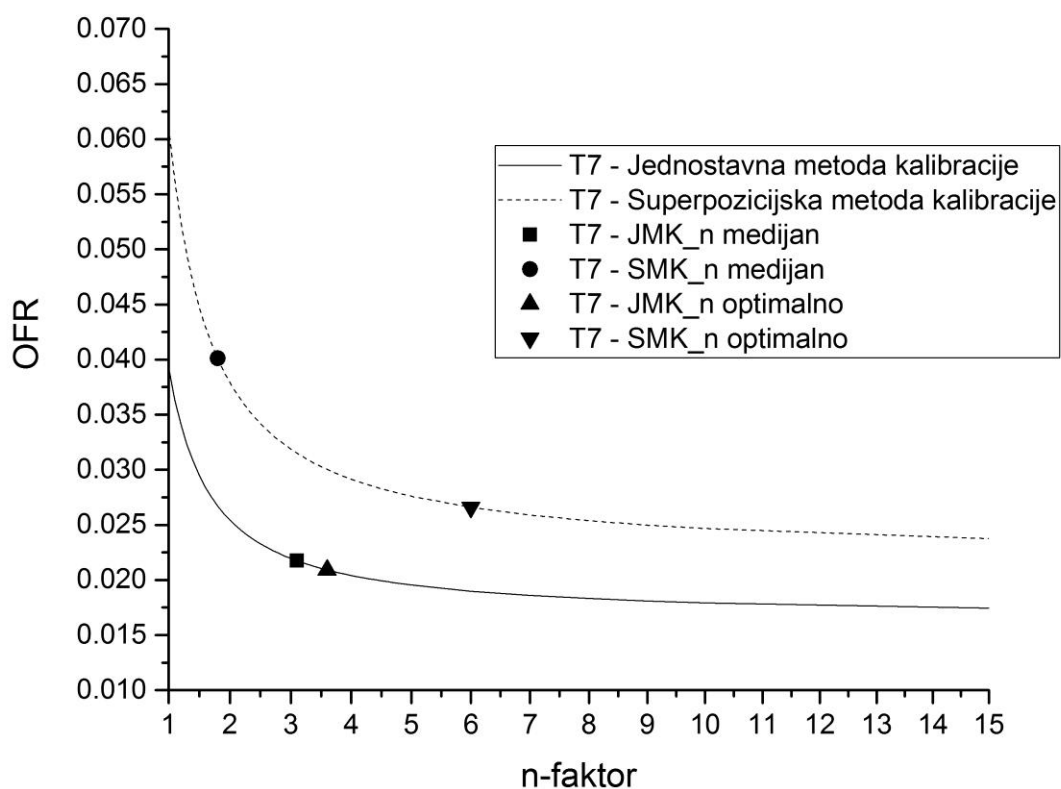
4.1.6. T6 krivulje optimalizacije n parametra



Grafikon 8 – T6 krivulje optimalizacije n parametra

Parametar n dobiven jednostavnom metodom kalibracije ima optimalnu vrijednost kod odstupanje od 0.030183 te iznosi 3.1. Optimalan n kod superpozicijske metode kalibracije iznosi 4.9 te ima odstupanje od 0.021165. Medijan n -a dobiven iz osam optimalnih n -ova određenih jednostavnom metodom kalibracije iznosi 3.1 te ima odstupanje od 0.030183. Dok medijan n -a dobiven iz osam optimalnih n -ova određenih superpozicijskom metodom kalibracije iznosi 1.8 te ima odstupanje od 0.032355.

4.1.7. T7 krivulje optimalizacije n parametra

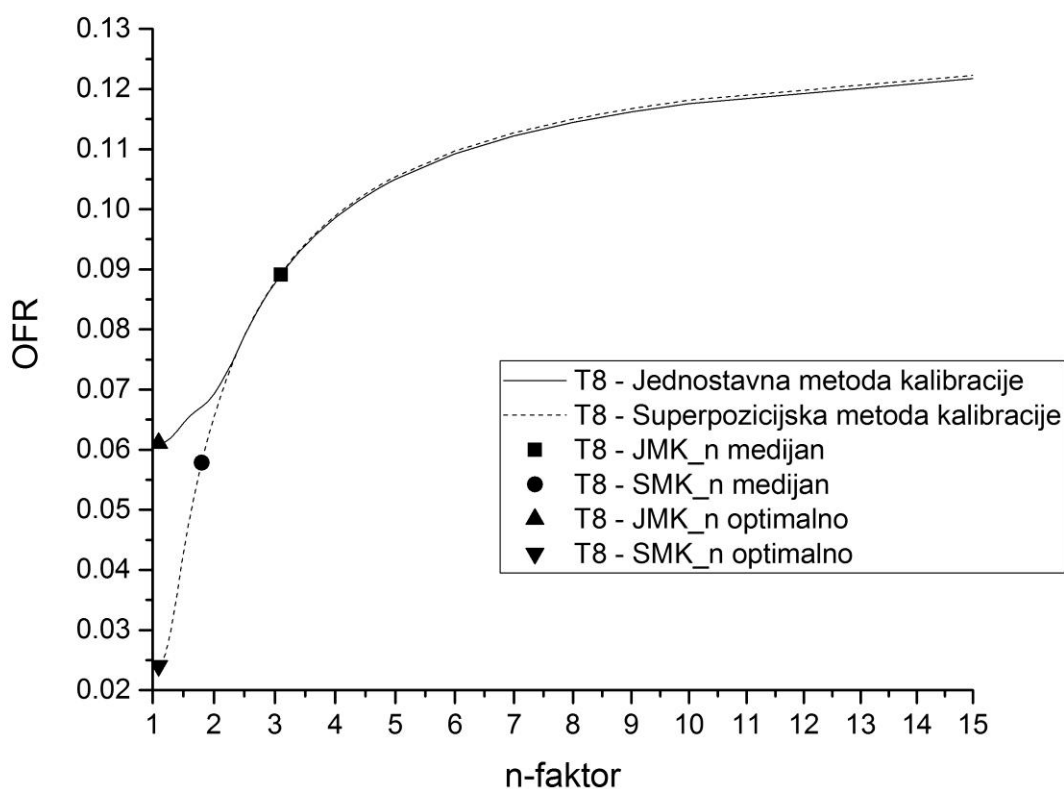


Grafikon 9 – T7 krivulje optimalizacije n parametra

Optimalan n dobiven iz jednostavne metode kalibriranja modela iznosi 3.6 te ima odstupanje od 0.020913. Dok n parametar dobiven iz superpozicijske metode kalibriranja modela iznosi 6 te ima odstupanje od 0.026592.

Medijan n parametra dobiven iz jednostavne metode kalibracije modela iznosi 3.1 te odstupa 0.021751. Dok medijan n-a dobiven superpozicijskom metodom kalibracije iznosi 1.8 te odstupa 0.040102.

4.1.8. T8 krivulje optimalizacije n parametra



Grafikon 10 – T8 krivulje optimalizacije n parametra

Oba optimalna n parametra iznose 1.1. Odstupanje kod jednostavne metode kalibracije iznosi 0.061098 dok kod superpozicijske metode ono iznosi 0.024042.

Medijan n parametra dobiven jednostavnim metodom kalibracije iznosi 3.1 te odstupa 0.089121. Dok medijan n parametra dobiven superpozicijskom metodom kalibracije iznosi 1.8 te odstupa 0.05782.

4.1.9. Tablice rezultata

U tablici 1 su prikazani svi rezultati odstupanja faktora refleksije te dobivenih n faktora pri korištenju jednostavne metode određivanja krivulja realne reprodukcije. Dok su u tablici 2 prikazani svi rezultati kod korištene superpozicijske metode određivanja krivulja realne reprodukcije.

Tablica 1 – Rezultati jednostavne metode kalibriranja

J.M.K.	n_optimal	R_optimal	n_medijan	R_medijan
T1_75.25.25	2.5	0.061413	3.1	0.061532
T2_25.75.25	2.8	0.024984	3.1	0.025483
T3_25.25.75	3.1	0.033022	3.1	0.033022
T4_25.75.75	3.8	0.011653	3.1	0.012996
T5_75.25.75	3	0.033592	3.1	0.033464
T6_75.75.25	3.1	0.030183	3.1	0.030183
T7_75.75.75	3.6	0.020913	3.1	0.021751
T8_25.25.25	1.1	0.061098	3.1	0.089121

Tablica 2 – Rezultati superpozicijske metode kalibriranja

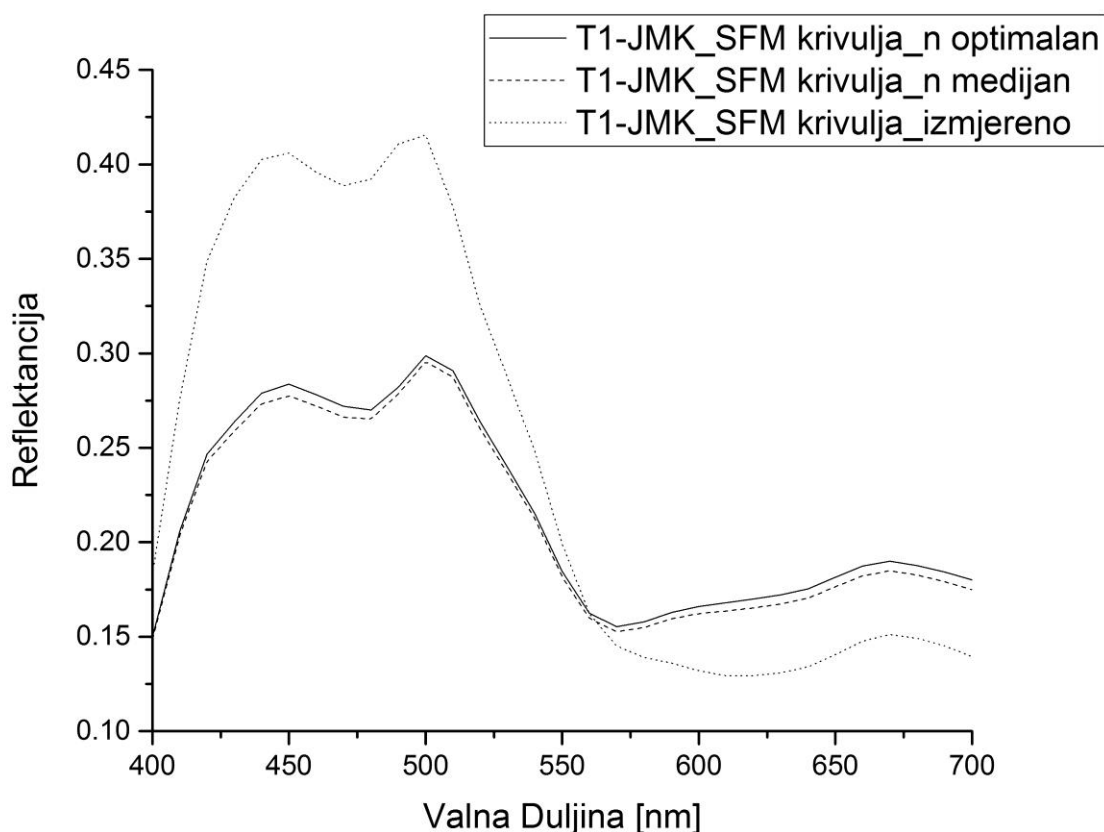
S.M.K.	n_optimal	R_optimal	n_medijan	R_medijan
T1_75.25.25	2	0.031425	1.8	0.031454
T2_25.75.25	1.2	0.031565	1.8	0.039069
T3_25.25.75	1.4	0.028078	1.8	0.033851
T4_25.75.75	1.5	0.035179	1.8	0.037577
T5_75.25.75	4.6	0.021998	1.8	0.032942
T6_75.75.25	4.9	0.021165	1.8	0.032355
T7_75.75.75	6	0.026592	1.8	0.040102
T8_25.25.25	1.1	0.024042	1.8	0.05782

4.2. Spektrofotometrijske krivulje

4.2.1. T1 spektrofotometrijske krivulje

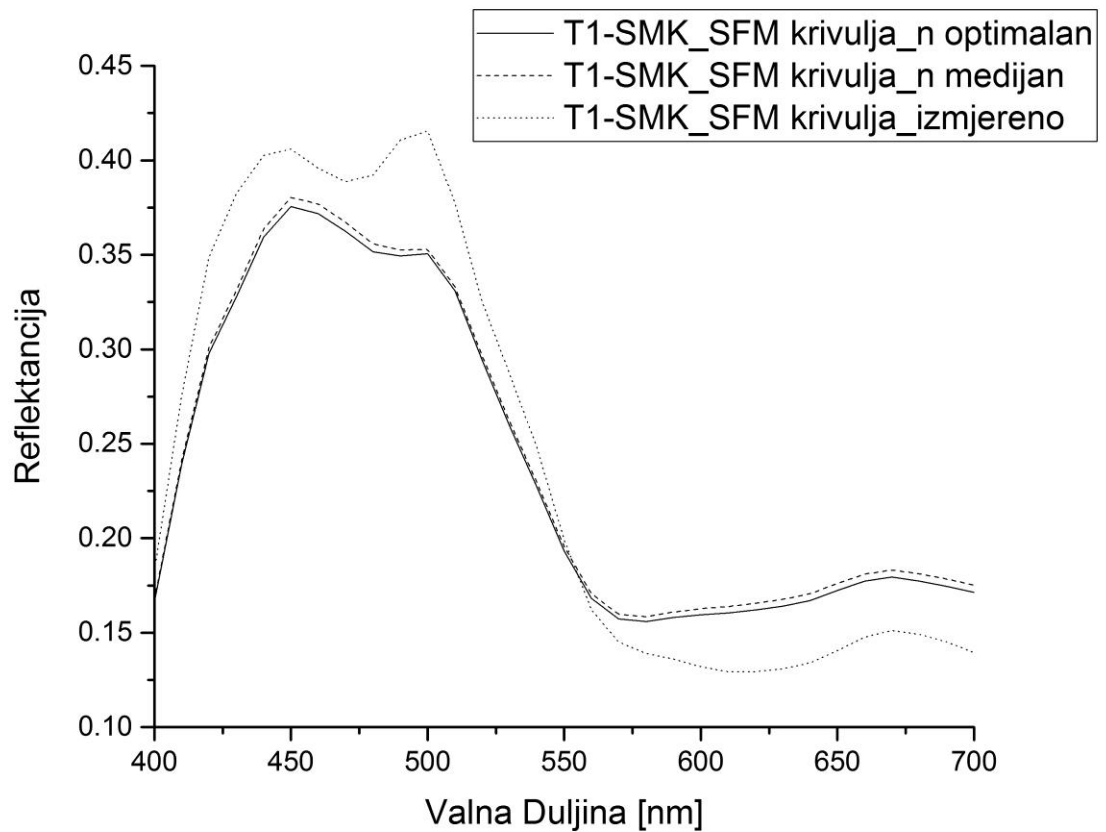
Spektrofotometrijske krivulje označene s T1 se sastoje od nominalnih 75%RTV-a cijan, 25%RTV-a magentnog i 25%RTV-a žutog bojila.

Na grafikonu 11 se vide spektrofotometrijske krivulje izračunate jednostavnom metodom kalibracije odnosno na grafikonu 12 se vide spektrofotometrijske krivulje dobivene superpozicijskom metodom kalibracije.



Grafikon 11 - T1 spektrofotometrijske krivulje – Jednostavna metoda kalibracije

S optimalnim n parametrom od 2.5 spektrofotometrijska krivulja ima odstupanje (OFR) od 0.061413. Dok spektrofotometrijska krivulja s medijanom n-a koji iznosi 3.1 ima odstupanje od nominalne spektrofotometrijske krivulje 0.061532.



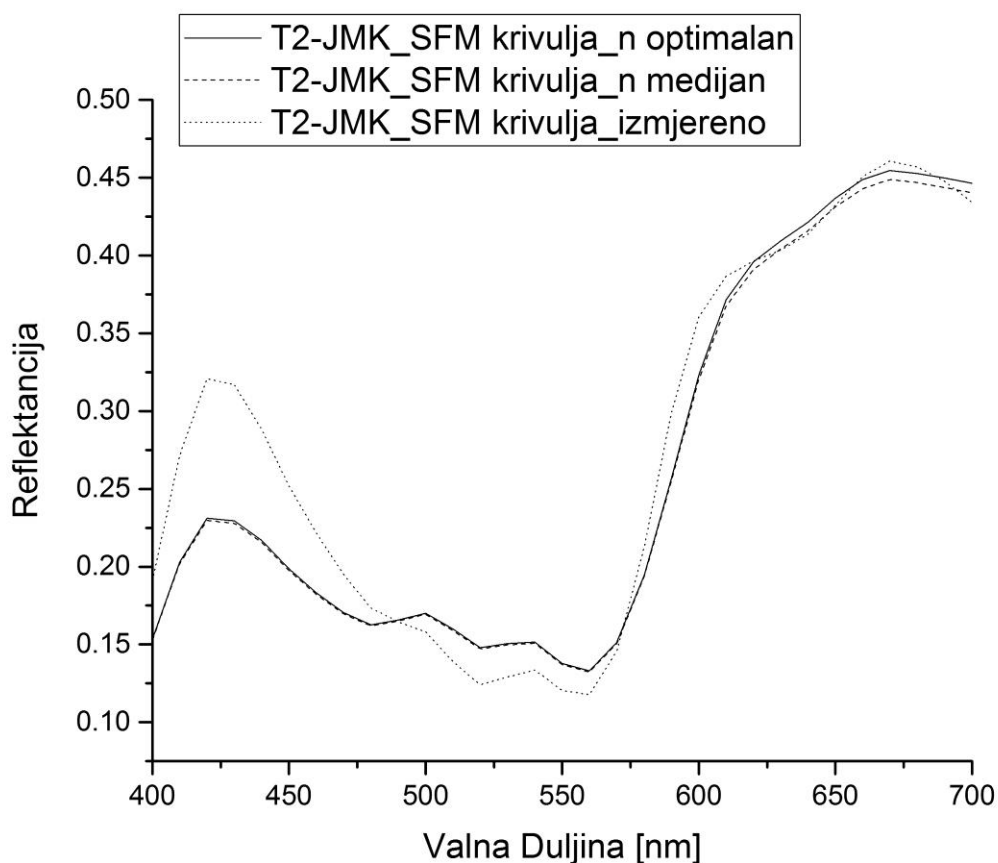
Grafikon 12 – T1 spektrofotometrijske krivulje – Superpozicijska metoda kalibracije

S optimalnim n parametrom od 2 spektrofotometrijska krivulja ima odstupanje (OFR) od 0.031425. Dok spektrofotometrijska krivulja s medijanom n parametra koji iznosi 1.8 ima odstupanje od 0.031454.

4.2.2. T2 spektrofotometrijske krivulje

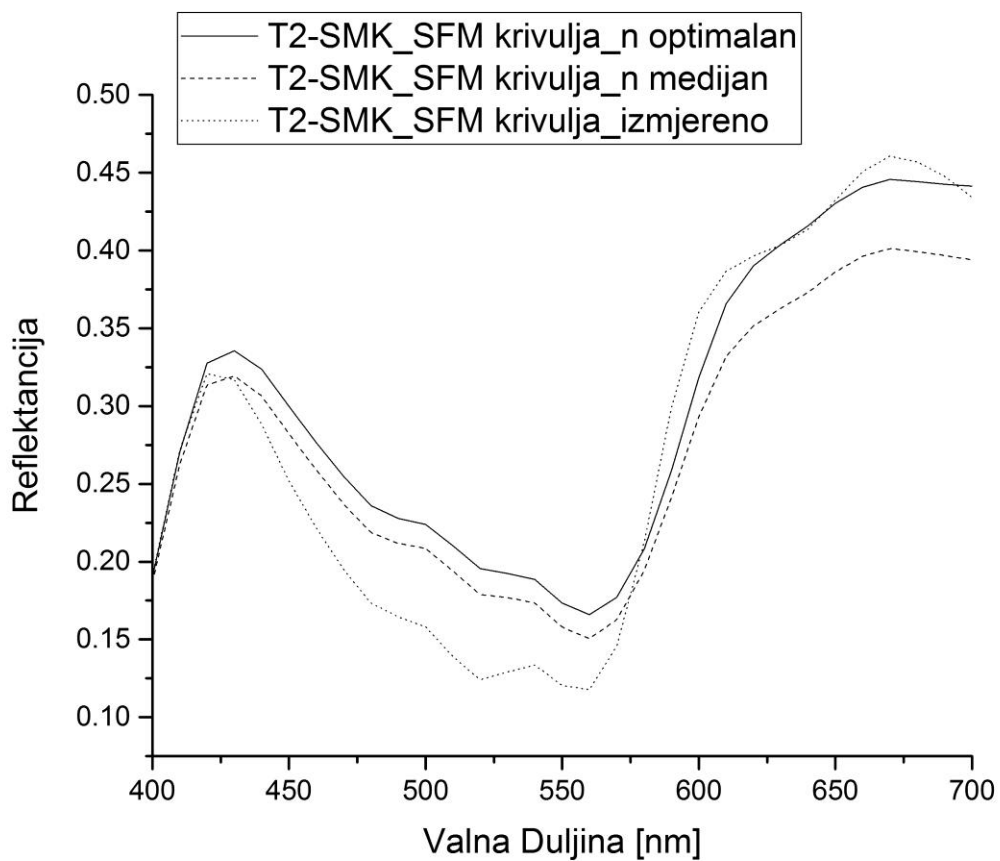
Spektrofotometrijske krivulje pod oznakom T2 se sastoje od nominalnih 25%RTV-a cijan, 75%RTV-a magentnog i 25%RTV-a žutog bojila.

Na grafikonu 13 se vide spektrofotometrijske krivulje izračunate jednostavnom metodom kalibracije odnosno na grafikonu 14 se vide spektrofotometrijske krivulje dobivene superpozicijskom metodom kalibracije.



Grafikon 13 – T2 spektrofotometrijske krivulje – Jednostavna metoda kalibracije

Spektrofotometrijska krivulja s optimalnim n parametrom od 2.8 odstupa 0.024984, dok krivulja s medijanom n-a ($n = 3.1$) odstupa 0.025483.



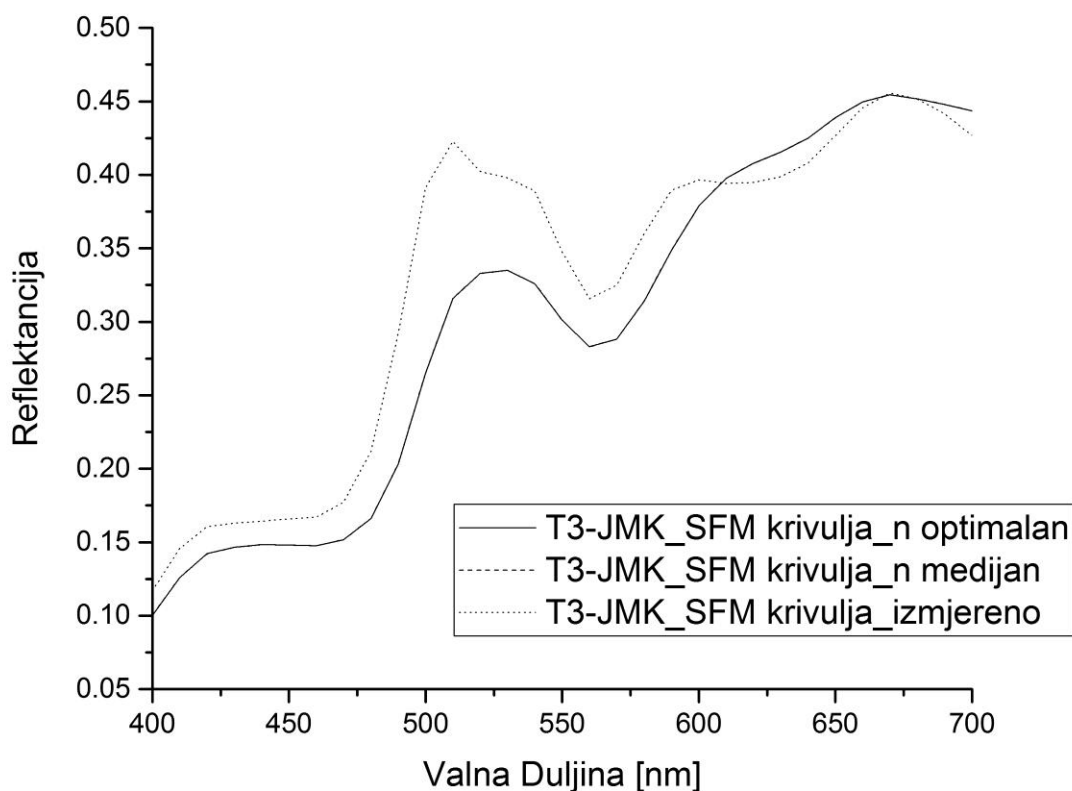
Grafikon 14 – T2 spektrofotometrijske krivulje – Superpozicijska metoda kalibracije

Krivulja s optimalnim n parametrom od 1.2 odstupa 0.031565, dok spektrofotometrijska krivulja s medijanom n parametra ($n = 1.8$) odstupa 0.039069.

4.2.3. T3 spektrofotometrijske krivulje

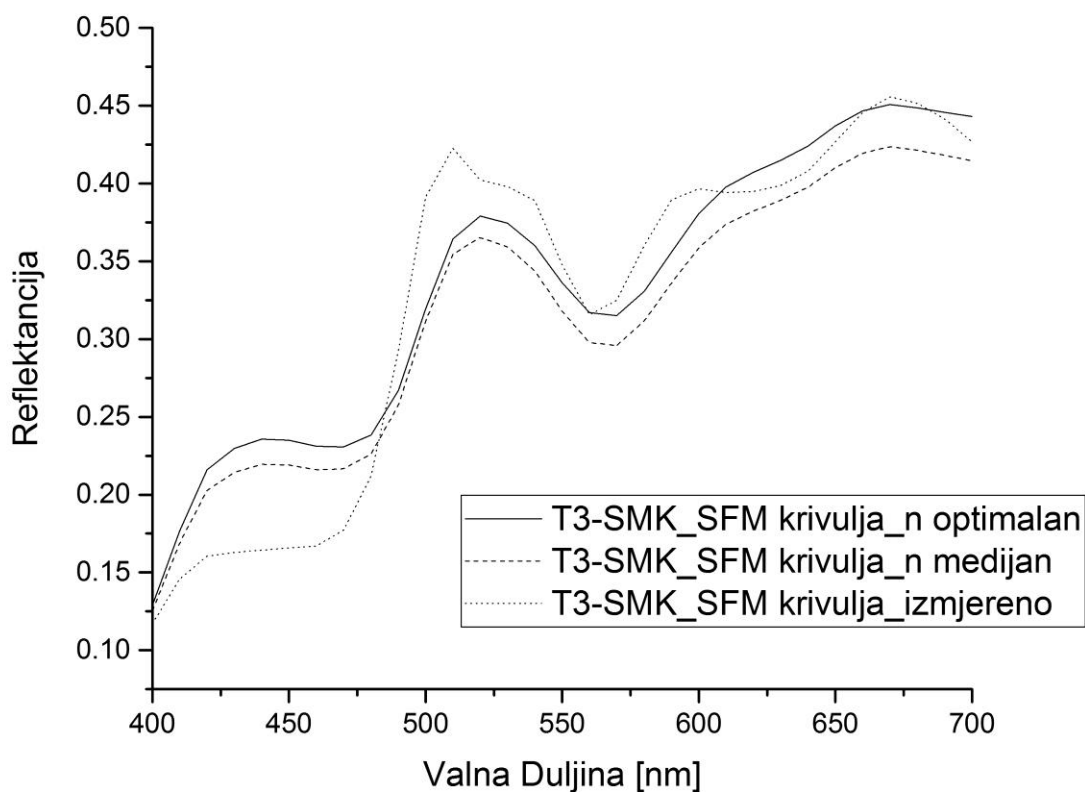
Spektrofotometrijske krivulje označene s oznakom T3 imaju nominalnih 25%RTV-a cijan, 25%RTV-a magentnog i 75%RTV-a žutog bojila.

Na grafikonu 15 se vide spektrofotometrijske krivulje izračunate jednostavnom metodom kalibracije odnosno na grafikonu 16 se vide spektrofotometrijske krivulje dobivene superpozicijskom metodom kalibracije.



Grafikon 15 – T3 spektrofotometrijske krivulje – Jednostavna metoda kalibracije

Spektrofotometrijska krivulja s optimalnim n faktorom od 3.1 odstupa od nominalne spektrofotometrijske krivulje 0.033022. Spektrofotometrijska krivulja s medijanom n faktora koji iznosi 3.1 odstupa isto tako 0.033022.



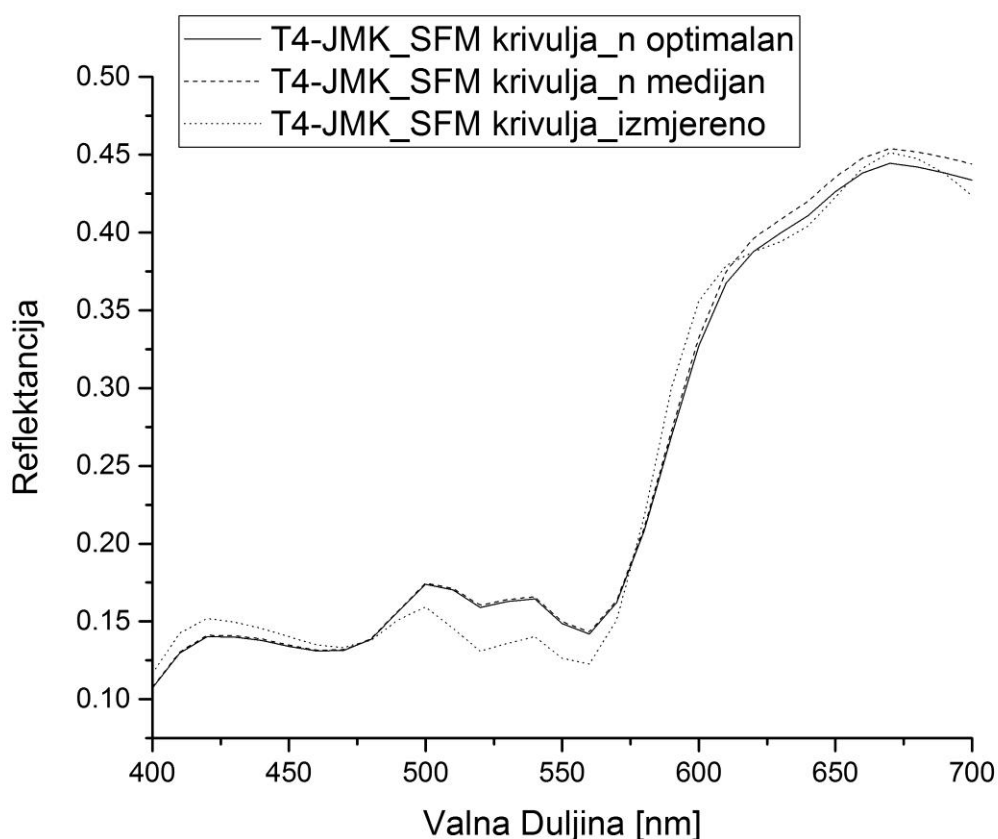
Grafikon 16 – T3 spektrofotometrijske krivulje – Superpozicijska metoda kalibracije

Spektrofotometrijska krivulja s optimalnim n /om od 1.4 odstupa od nominalne spektrofotometrijske krivulje 0.028078. Dok spektrofotometrijska krivulja s medijanom n -a koji iznosi 1.8 odstupa 0.033851.

4.2.4. T4 spektrofotometrijske krivulje

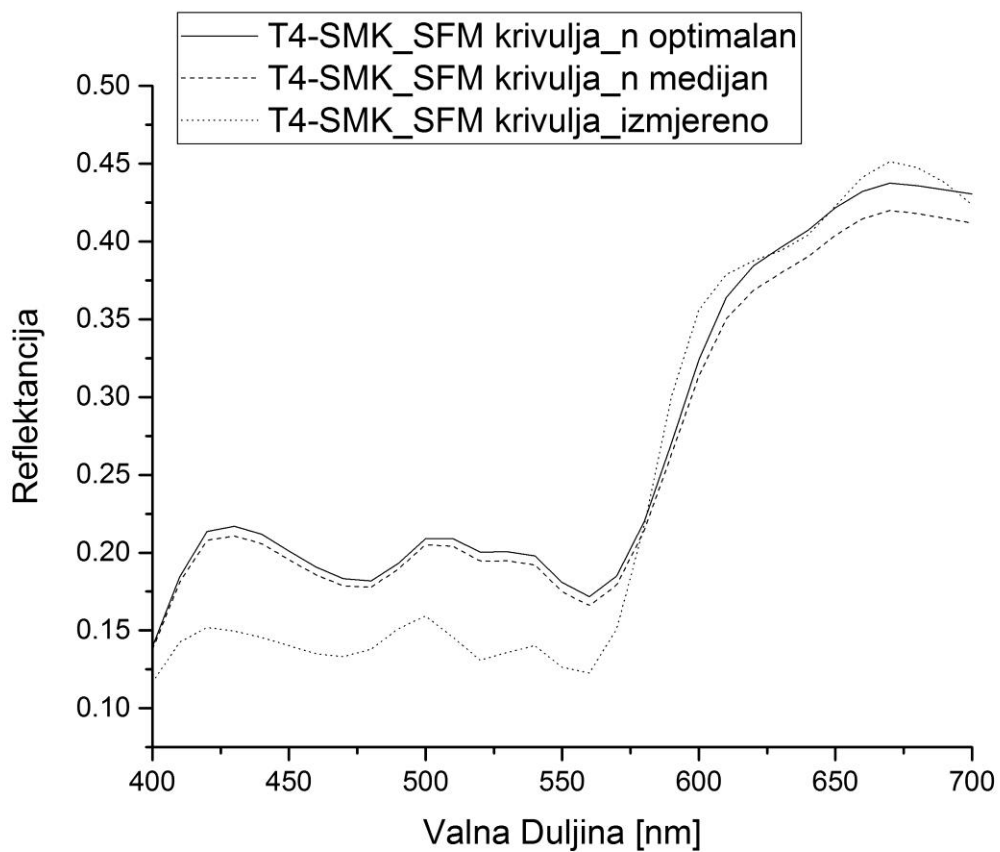
Pod oznakom T4 se nalaze spektrofotometrijske krivulje dobivene iz nominalnih rastertonskih vrijednosti od 25%RTV-a cijan, 75%RTV-a magentnog i 75%RTV-a žutog bojila.

Na grafikonu 17 se vide spektrofotometrijske krivulje izračunate jednostavnom metodom kalibracije odnosno na grafikonu 18 se vide spektrofotometrijske krivulje dobivene superpozicijskom metodom kalibracije.



Grafikon 17 – T4 spektrofotometrijske krivulje – Jednostavna metoda kalibracije

Krivulja izračunata pomoću optimalnog n faktora koji iznosi 3.8 odstupa 0.011653. Dok krivulja izračunata pomoću medijana n faktora ($n = 3.1$) odstupa 0.012996.



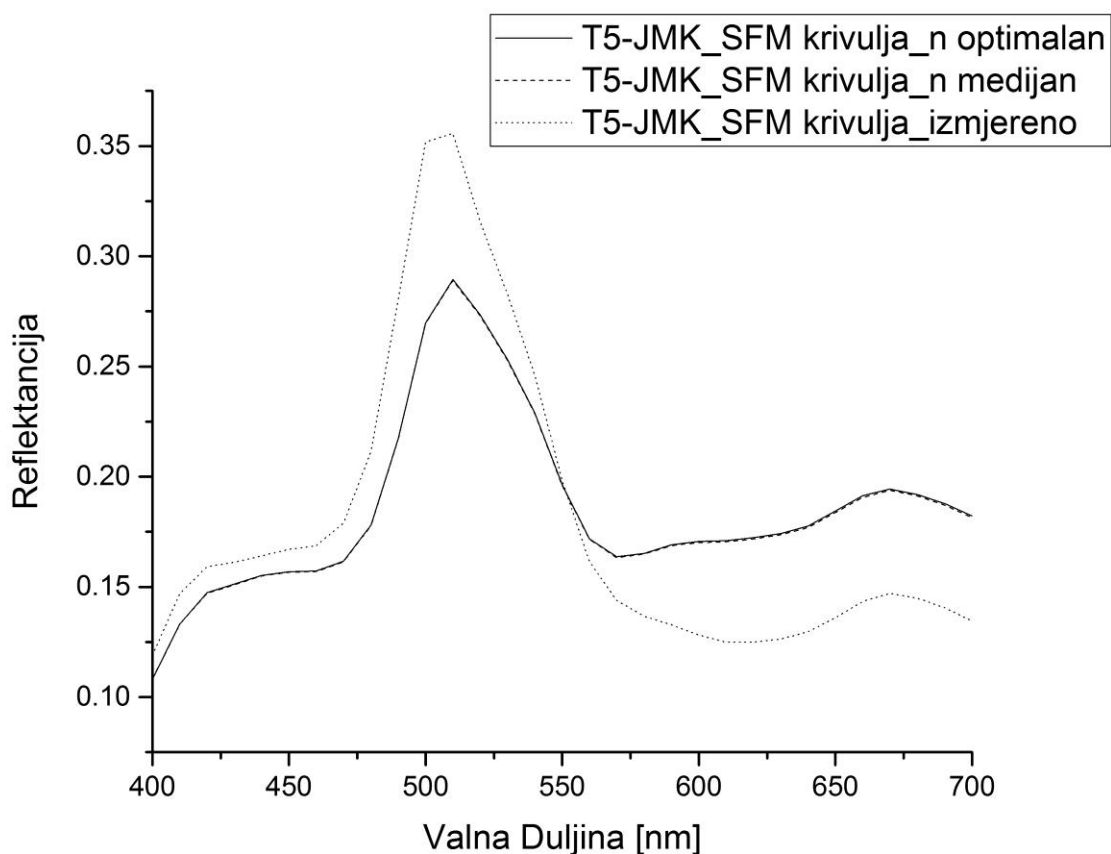
Grafikon 18 – T4 spektrofotometrijske krivulje – Superpozicijska metoda kalibracije

Spektrofotometrijska krivulja izračunata pomoću optimalnog n -a iznosi 3.8 te odstupa 0.035179. Dok krivulja izračunata pomoću medijana n -a ($n = 1.8$) odstupa 0.037577.

4.2.5. T5 spektrofotometrijske krivulje

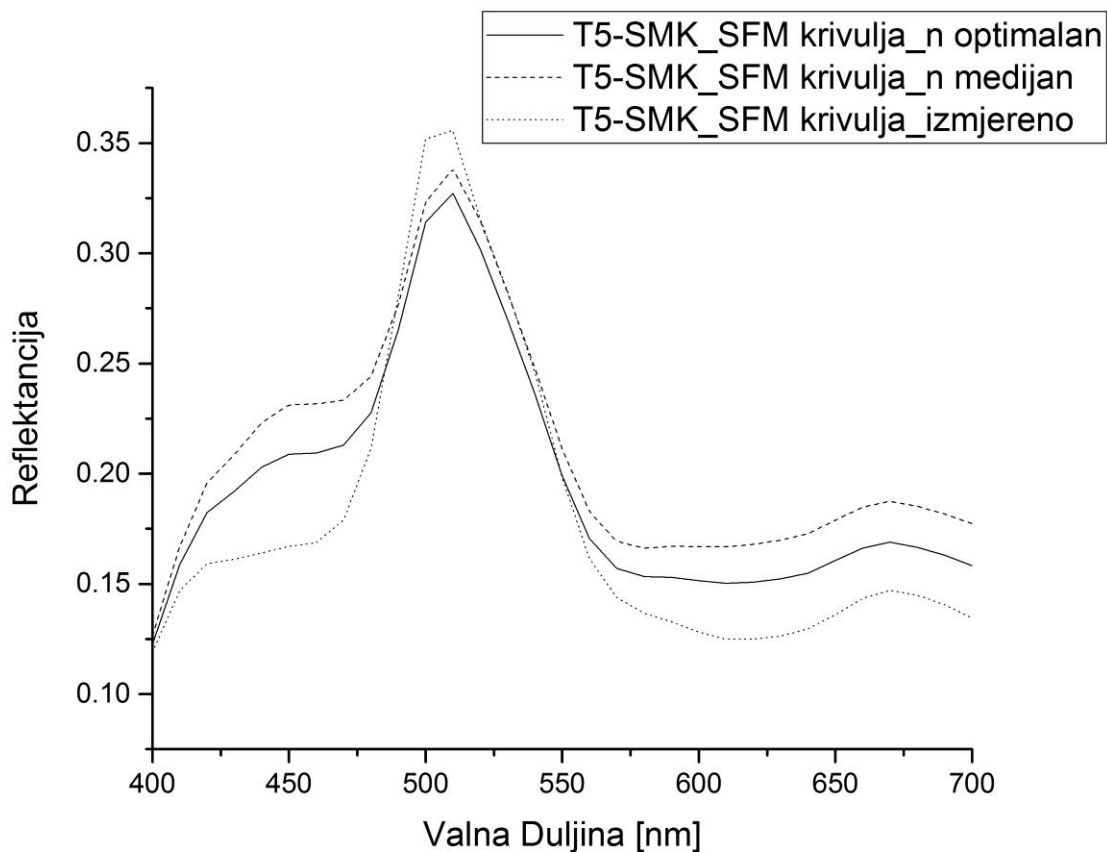
Spektrofotometrijske krivulje označene sa T5 sastoje se od nominalnih 25%RTV-a cijan, 25%RTV-a magentnog i 75%RTV-a žutog bojila.

Na grafikonu 19 se vide spektrofotometrijske krivulje izračunate jednostavnom metodom kalibracije odnosno na grafikonu 20 se vide spektrofotometrijske krivulje dobivene superpozicijskom metodom kalibracije.



Grafikon 19 – T5 spektrofotometrijske krivulje – Jednostavna metoda kalibracije

Krivulja dobivena pomoću optimalnog n parametra koji u ovom slučaju iznosi 3 odstupa od nominalne 0.033592. Dok krivulja dobivena pomoću medijana n parametra ($n = 3.1$) odstupa 0.033464.



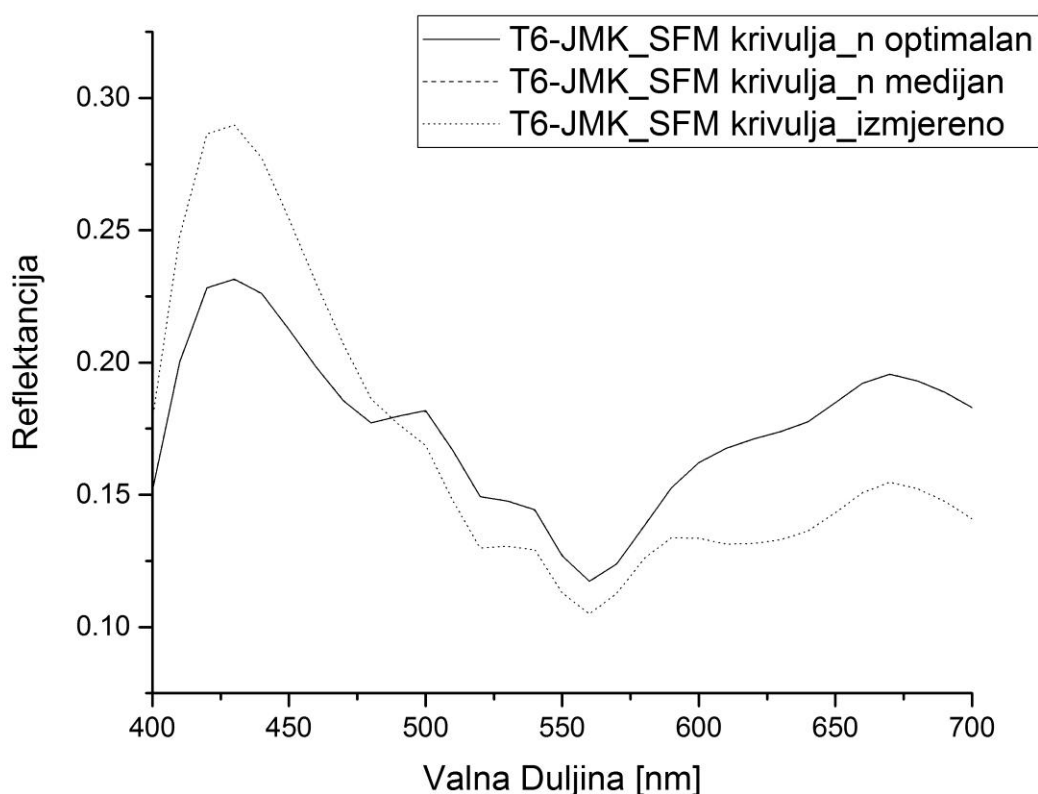
Grafikon 20 – T5 spektrofotometrijske krivulje – Superpozicijska metoda kalibracije

Krivulja dobivena pomoću optimalnog n parametra koji u ovom slučaju iznosi 4.6 odstupa od nominalne krivulje 0.021998. Dok krivulja dobivena pomoću medijana n -a ($n = 1.8$) odstupa 0.032942.

4.2.6. T6 spektrofotometrijske krivulje

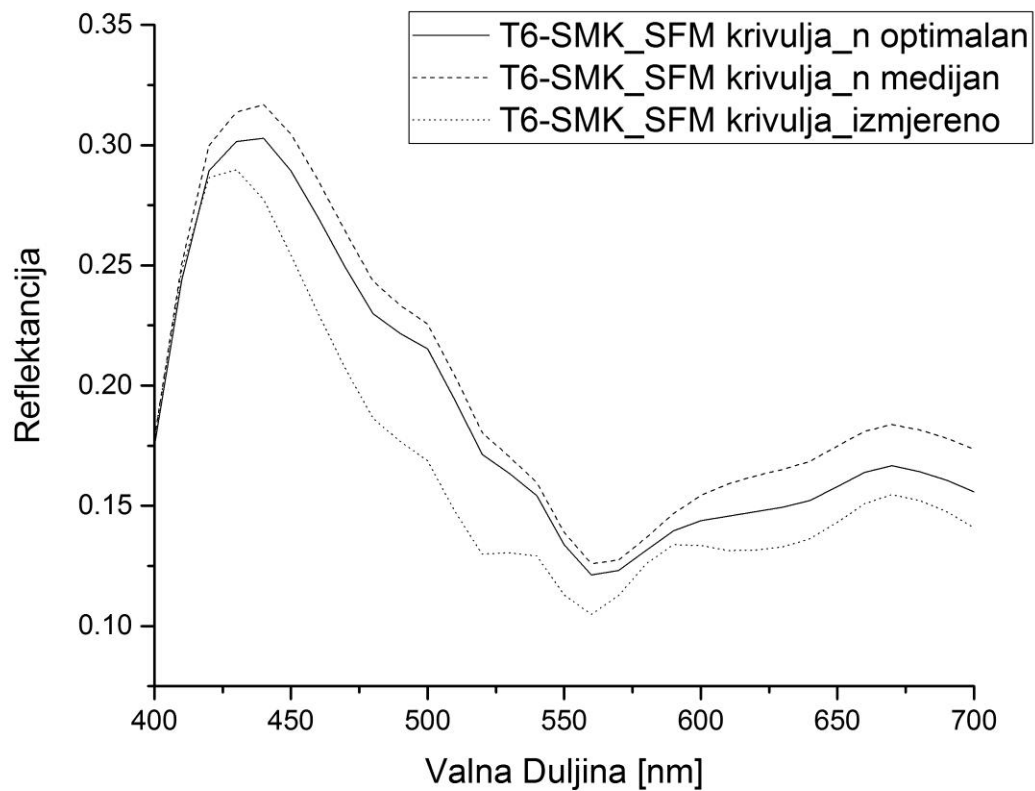
Pod oznakom T6 se nalaze spektrofotometrijske krivulje dobivene iz nominalnih rastertonskih vrijednosti od 75%RTV-a cijan, 75%RTV-a magentnog i 25%RTV-a žutog bojila.

Na grafikonu 21 se vide spektrofotometrijske krivulje izračunate jednostavnom metodom kalibracije odnosno na grafikonu 22 se vide spektrofotometrijske krivulje dobivene superpozicijskom metodom kalibracije.



Grafikon 21 – T6 spektrofotometrijske krivulje – Jednostavna metoda kalibracije

Krivulja s optimalnim n parametrom ($n = 3.1$) te krivulja s medijanom n parametra ($n = 3.1$) imaju isto odstupanje reflektancije Ono iznosi 0.030183.



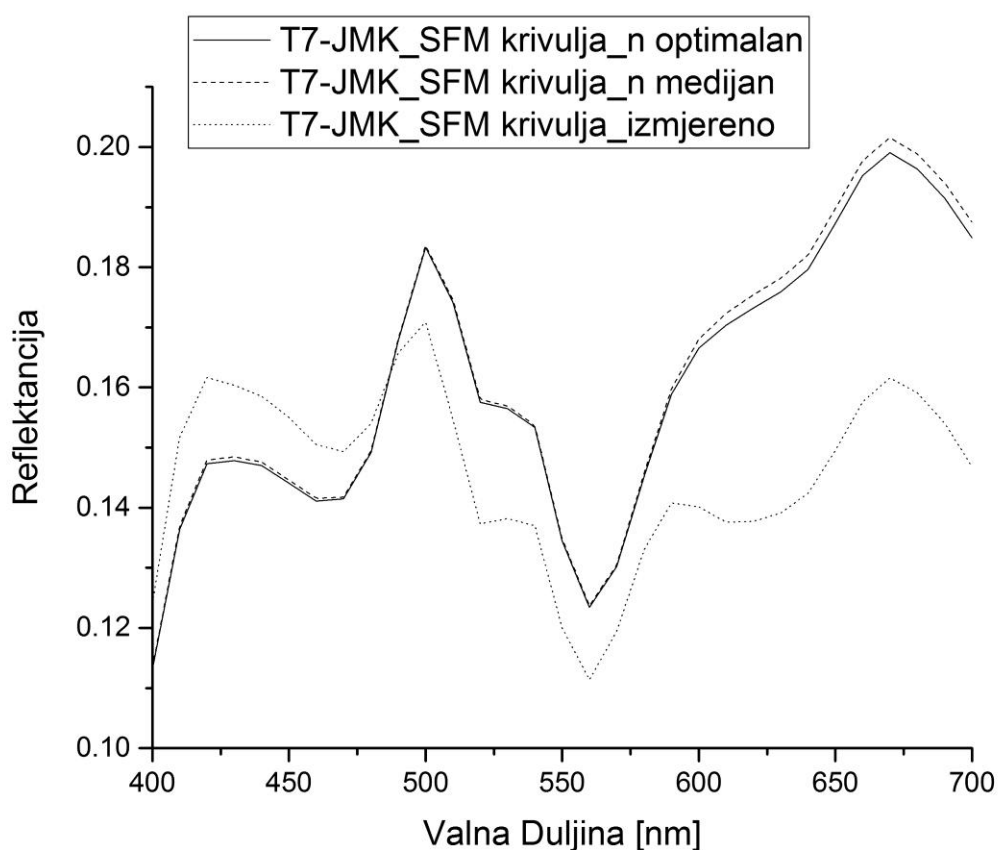
Grafikon 22 – T6 spektrofotometrijske krivulje – Superpozicijska metoda kalibracije

Spektrofotometrijska krivulja s optimalnim n -om od 4.9 ima odstupanje od 0.021165, dok krivulja s medijanom n -a ($n = 1.8$) ima odstupanje od 0.032355.

4.2.7. T7 spektrofotometrijske krivulje

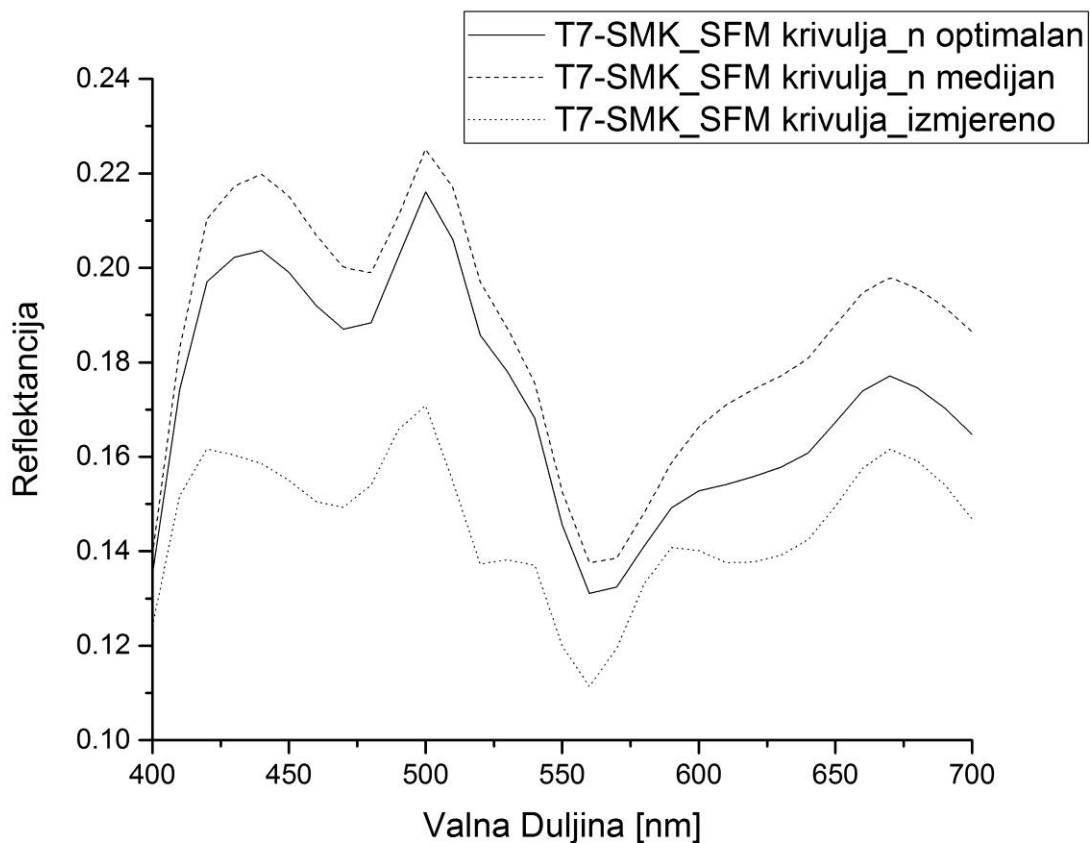
Spektrofotometrijske krivulje označene s T7 imaju po nominalnih 75%RTV-a cijan, 75%RTV-a magentnog i 75%RTV-a žutog bojila.

Na grafikonu 23 se vide spektrofotometrijske krivulje izračunate jednostavnom metodom kalibracije odnosno na grafikonu 24 se vide spektrofotometrijske krivulje dobivene superpozicijskom metodom kalibracije.



Grafikon 23 – T7 spektrofotometrijske krivulje – Jednostavna metoda kalibracije

Spektrofotometrijska krivulja izračunata preko optimalnog n parametra ($n = 3.6$) odstupa 0.020913. Krivulja izračunata preko medijana n parametra ($n = 3.1$) odstupa 0.021751



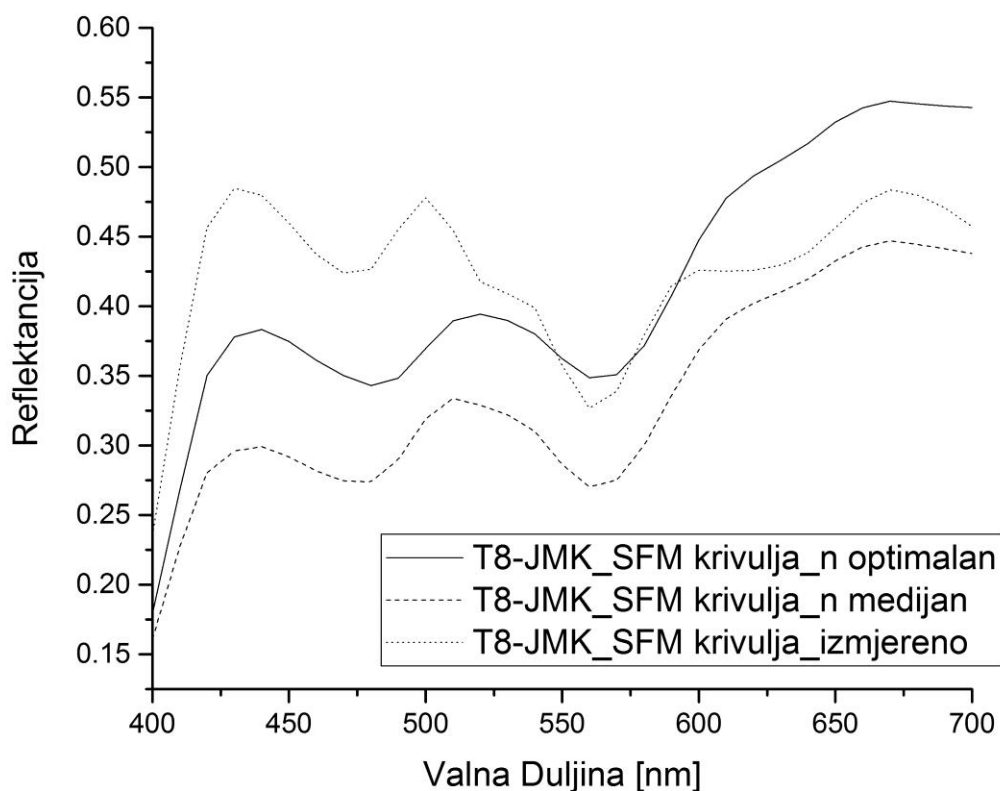
Grafikon 24 – T7 spektrofotometrijske krivulje – Superpozicijska metoda kalibracije

Spektrofotometrijska krivulja izračunata preko optimalnog n parametra ($n = 6$) odstupa 0.026592. Dok krivulja izračunata preko medijana n parametra ($n = 1.8$) odstupa 0.040102.

4.2.8. T8 spektrofotometrijske krivulje

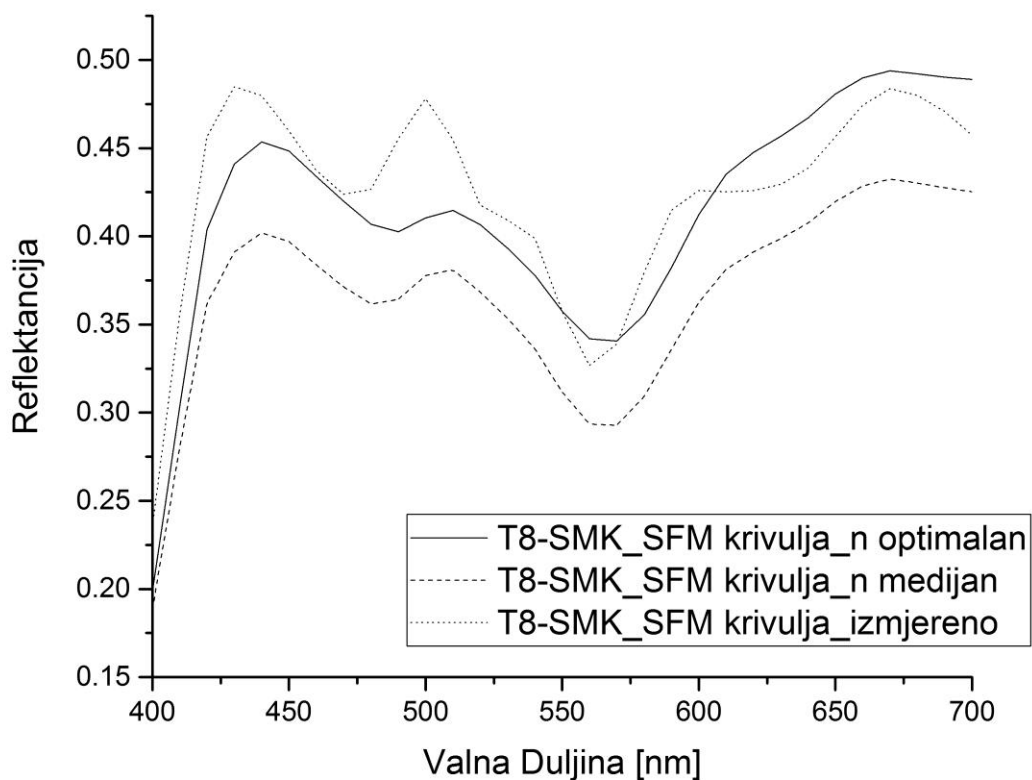
Spektrofotometrijske krivulje T8 se sastoje od, magentnog i žutog bojila nominalnih rastertonskih vrijednosti od 25%.

Na grafikonu 25 se vide spektrofotometrijske krivulje izračunate jednostavnom metodom kalibracije odnosno na grafikonu 26 se vide spektrofotometrijske krivulje dobivene superpozicijskom metodom kalibracije.



Grafikon 25 – T8 spektrofotometrijske krivulje – Jednostavna metoda kalibracije

Spektrofotometrijska krivulja izračunata preko optimalne vrijednosti n parametra ($n = 1.1$) odstupa u reflektanciji za 0.061098. Dok spektrofotometrijska krivulja izračunata preko medijana n parametra ($n = 3.1$) odstupa 0.089121.



Grafikon 26 – T8 spektrofotometrijske krivulje – Superpozicijska metoda kalibracije

Krivulja izračunata preko optimalnog n parametra ($n = 1.1$) odstupa u reflektanciji za 0.024042 od nominalne krivulje. Dok spektrofotometrijska krivulja izračunata preko medijana n parametra ($n = 1.8$) odstupa 0.05782.

5. ZAKLJUČCI

Odstupanja faktora refleksije pri krivuljama T1 određenim sa jednostavnom metodom kalibracije pokazuju veoma slične rezultate (0.061413 i 0.061532) za nađeni optimalni n parametar i za medijan n parametra (2.5 i 3.1). Slično se ponašaju i krivulje izračunate superpozicijskom metodom kalibracije gdje su zabilježeni rezultati odstupanja reflektancije od 0.031425 pri optimalnom n parametru od 2 i 0.031454 pri medijanu n parametra od 1.8.

Spektrofotometrijske krivulje T2 izračunate preko jednostavne metode kalibriranja modela rezultiraju s optimalnim n parametrom od 2.8 odnosno medijanom n parametra 3.1. Oba odstupanje u reflektanciji su veoma slična (0.024984 i 0.025483). Dok se kod T2 krivulja izračunatih superpozicijskom metodom kalibracije vide nešto malo veća odstupanja. Odstupanja u reflektanciji su 0.031565 za optimalni n parametar od 1.2 i 0.039069 za medijan n parametra od 1.8.

Odstupanje u reflektanciji kod spektrofotometrijskih krivulja T3 dobivenih jednostavnom metodom kalibracije su ista te iznose 0.033022. Što znači da su optimalni n parametar i n parametar isti te iznose 3.1. Dok spektrofotometrijske krivulje dobivene superpozicijskom metodom kalibracije imaju nešto malo drugačije reflektancije. Optimalan n parametar od 1.4 odstupa od nominalne spektrofotometrijske krivulje 0.028078, dok medijan n parametra (1.8) odstupa 0.033851.

Krivulje pod oznakom T4 dobivene jednostavnom metodom kalibracije modela imaju optimalni n parametar od 3.8 te medijan n parametra od 3.1. Odstupanja unutar te dvije krivulje su 0.011653 za optimalni n te 0.012996 za medijan n parametra. Kod T4 krivulja dobivenih superpozicijskom metodom kalibracije se odredio optimalni n parametar od 1.5 dok je medijan n-a 1.8. Odstupanja reflektancije pri optimalnom n parametru je 0.035179 dok je odstupanje pri medijanu n-a 0.037577.

Odstupanja od nominalne krivulje kod T5 spektrofotometrijskih krivulja je 0.033592 za optimalni n koji iznosi 3 te 0.033464 za medijan n-a koji iznosi 3.1. Odstupanja reflektancije su veoma slična. Dok kod krivulja dobivenih

superpozicijskom metodom kalibracije odstupanja u reflektanciji imaju znatno različite rezultate. Kod krivulja s optimalnim n parametrom koji iznosi 4.6 odstupanje iznosi 0.021998 dok krivulja s medijanom n parametra koji iznosi 1.8 pokazuje odstupanje od 0.032942.

Spektrofotometrijske krivulje T6 dobivene jednostavnom metodom kalibracije modela odstupaju isto i za optimalni n parametar (3.1) i za medijan n parametra (3.1). Odstupanje u reflektanciji je 0.030183. Dok krivulje dobivene superpozicijskom metodom kalibracije odstupaju znatno. Kod krivulje dobivene s optimalnim n parametrom (4.9) odstupanje iznosi 0.021165 dok krivulja dobivena s medijanom n -a (1.8) iznosi 0.032355.

Odstupanja u reflektanciji pri krivuljama T7 određenim sa jednostavnom metodom kalibracije modela pokazuju veoma slične rezultate (0.020913 i 0.021751) za optimalni n parametar (3.6) i za medijan n parametra (3.1). Dok odstupanja u reflektanciji krivulja određenih superpozicijskom metodom kalibracije modela imaju veoma različite vrijednosti. Za optimalan n koji iznosi 6 odstupanje je 0.026592 dok je za medijan n -a koji iznosi 1.8 odstupanje 0.040102.

Odstupanje faktora refleksije kod spektrofotometrijskih krivulja T8 dobivenih jednostavnom metodom kalibracije modela za optimalni n parametar (1.1) iznosi 0.061098 te za medijan n parametra (3.1) iznosi 0.089121. Kod krivulja dobivenih superpozicijskom metodom kalibracije odstupanje pri optimalnom n parametru (1.1) iznosi 0.024042. Dok kod dobivenog medijana (1.8) odstupanje iznosi 0.05782.

Eksperiment je pokazao da se sa jednostavnom metodom kalibracije modela može dobiti puno bolja aproksimacija jedinstvenog n parametra nego što je to moguće sa superpozicijskom metodom kalibracije.

6. LITERATURA

- [1] Igor Zjakić, Upravljanje kvalitetom ofsetnog tiska, ISBN: 9789531691451, Izdavač: Hrvatska sveučilišna naklada, 2007
- [2] Linkoping University – Institute of technology, Mahziar Namedanian - Characterization of Halftone Prints based on Microscale Image Analysis, 2013, *Doktorski rad*
- [3] David R. Wyble, a critical review of spectral models applied to binary color printing, 1999, Datum pristupa: 16.04.2015
- [4] Sveučilište u Zagrebu – Vesna Džimbeg-Malčić, Primjena Kubelka-Munk teorije i Yule-Nielsenovog efekta na tiskovnim podlogama, 2005, *Doktorski rad*
- [5] Mathieu Hébert, Roger Hersch, Review of spectral reflectance models for halftone prints: Principles, Calibration, and prediction accuracy, 2013, Datum pristupa: 19.03.2015
- [6] Henry R. Kang, Digital Colour Halftoning, ISBN: 9780819433183, Izdavač: SPIE Press, 1999
- [7] Linkoping University – Institute of technology, Yuanyuan Qu - Color Prediction and Separation Models in Printing (Minimizing the Colorimetric and Spectral Differences employing Multiple Characterization Curves), 2013, *Doktorski rad*
- [8] Mathieu Hébert – Optical models for color reproduction, 2013, Datum pristupa: 13.06.2015
- [9] Josip Buhin – Multicolor tisak i njegova postojanost na ubrzano starenje, *Diplomski rad*

- [10] http://www.northlight-images.co.uk/reviews/printer/epson_sp_3800.html,
Datum pristupa: 10.08.2016
- [11] Linköping University – Institute of technology, Stefan Gustavson - Dot
Gain in Colour Halftones, 1997, *Doktorski rad*