

# Usporedba rezultata korištenjem Murray-Daviesovog odnosno Yule-Nielsenovog algoritma mjerenja

---

Farkaš, Tea

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Graphic Arts / Sveučilište u Zagrebu, Grafički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:216:248322>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-10-09**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Graphic Arts Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GRAFIČKI FAKULTET**

# **ZAVRŠNI RAD**

Tea Farkaš



Sveučilište u Zagrebu  
Grafički fakultet

Smjer: Tehničko-tehnološki

# ZAVRŠNI RAD

## USPOREDBA REZULTATA KORIŠTENJEM MURRAY-DAVIESOVOG ODNOSNO YULE- NIELSENOVOG ALGORITMA MJERENJA

Mentor:

doc. dr. sc. Katarina Itrić Ivanda

Student:

Tea Farkaš

Zagreb, 2021. godine

## SAŽETAK

U grafičkoj industriji iznimno je bitna vjerodostojna reprodukcija, stoga i postupak vrednovanja dobivenog otiska mora biti što pouzdaniji. Cilj istraživanja je usporedba rezultata mjerenja dobivenih spektrofotometrom koristeći Murray-Daviesov, odnosno Yule-Nielsenov model za opis rastertonske slike. Murray-Daviesov model pretpostavlja jednoliko obojenje podloge i izotropnu podlogu. Zanemarenje raspršenja svjetlosti jedno je od glavnih razloga netočnosti Murray-Daviesovog modela. Usklađivanje, nazvano Yule-Nielsenova korekcija uvedeno je za tiskane podloge kod kojih dolazi do difuznog raspršuje. Pretpostavka je da će mjerenja provedena korištenjem Yule-Nielsenovog algoritma za različite vrijednosti parametra  $n$  značajno odstupati od mjerenja dobivenih Murray-Daviesovim algoritmom.

KLJUČNE RIJEČI: Murray-Davies model, Yule-Nielsenov model, raspršenje, spektrofotometar

## **ABSTRACT**

In the graphics industry, credible reproduction is extremely important, therefore the process of evaluating the obtained print must be as reliable as possible. The aim of the research is to compare the measurement results obtained with a spectrophotometer using the Murray-Davies and Yule-Nielsen models, respectively, to describe the rastered image. The Murray-Davies model assumes uniform substrate coloration and an isotropic substrate. Neglect of light scattering is one of the main reasons for the inaccuracy of the Murray-Davies model. Alignment, called Yule-Nielsen correction, was introduced for printed media in which diffuse scattering occurs. It is assumed that the measurements performed using the Yule-Nielsen algorithm for different values of the parameter  $n$  will deviate significantly from the measurements obtained by the Murray-Davies algorithm.

**KEYWORDS:** Murray-Davies model, Yule-Nielsen model, scattering, spectrophotometer

## SADRŽAJ

|   |    |
|---|----|
| 1. UVOD.....                                      | 1  |
| 2. SVJETLOST I BOJA.....                          | 2  |
| 3. ZAKON OČUVANJA ENERGIJE.....                   | 3  |
| 4. INERAKCIJA SVJETLOSTI I MATERIJE.....          | 7  |
| 4.1.INDEKS LOMA SVJETLOSTI.....                   | 10 |
| 5. DEFORMACIJA RASTERSKOG ELEMENTA.....           | 14 |
| 5.1. OPTIČKA DEFORMACIJA RASTERSKOG ELEMENTA..... | 14 |
| 5.2. MURRAY-DAVIESOV MODEL.....                   | 14 |
| 5.3. YULE-NIELSENOVA KOREKCIJA.....               | 16 |
| 6. MJERENJE BOJE.....                             | 23 |
| 6.1.SPEKTROFOTOMETAR.....                         | 23 |
| 7. MATERIJALI I METODE PROVOĐENJA MJERENJA.....   | 24 |
| 8. REZULTATI MJERENJA.....                        | 26 |
| 9. DISKUSIJA.....                                 | 30 |
| 10. ZAKLJUČAK.....                                | 33 |
| 11. LITERATURA.....                               | 34 |
| 12. POPIS SLIKA.....                              | 35 |

## 1. UVOD

U ovom radu cilj istraživanja je usporediti rezultata mjerenja dobivenih pomoću spektrofotometra korištenjem raličitih algoritama mjerenja. U grafičkoj industriji iznimno je bitna boja te njezina vjerodostojna i što preciznija reprodukcija. Veliki su zahtjevi i želja da se tokom tiska postigne boja jednaka onoj na originalu.

Procesom rastriranja dolazi do konverzije kontinuiranih tonova originala u jednotonsku (crno-bijelu) informaciju (elementi slike, rasterski elementi, itd.). Većina postupaka uključuje otiskivanje bojila na papir u jednom nivou uz samo dvije mogućnosti prijenosa boje na podlogu - otiskivanje ili neotiskivanje. Ulazna svjetlost može biti apsorbirana od boje, što je dobro, ili od papira što nije poželjno. Idealni crno-bijeli otisak podrazumijevao bi potpunu apsorpciju svjetlosti na boji i potpunu odsutnost apsorpcije u papiru.

Prvi optički model za opis reprodukcije tona prilikom rastriranja iznio je Murray-Davies. On je model bazirao na zakonu očuvanja energije fotona. Pomoću vrijednosti optičke gustoće model predviđa dio podloge pokriven bojom. Zanemarene su ostale pojave koje se događaju u realnosti zbog ne idealnih uvjeta. Yule-Nielsenova korekcija prilagođena je za tiskovne podloge na kojima i u kojima se svjetlost difuzno raspršuje. Pretpostavka je bila da će se na temelju izvršenih mjerenja moći uočiti jasna razlika u rezultatima, odnosno pokazati problem Murray-Daviesovog modela koji za parameter  $n$  uzima vrijednost 1.

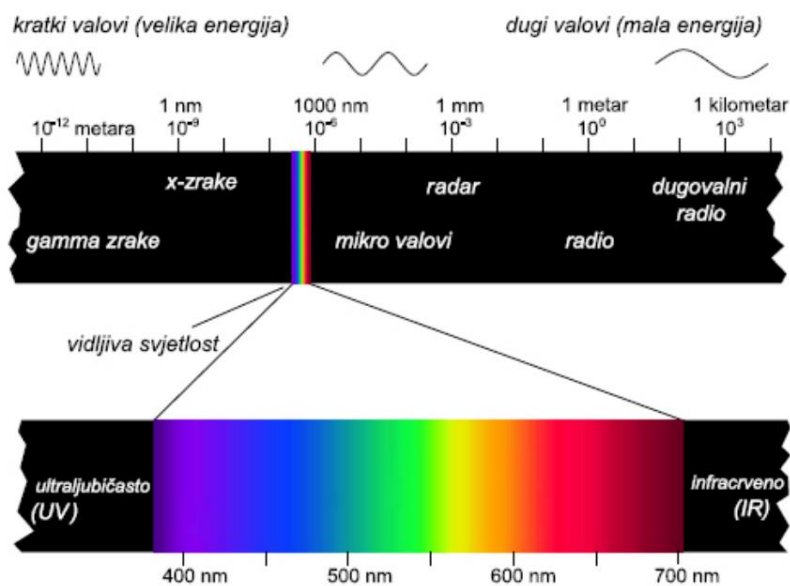
Murray-Daviesov algoritam daje informacije o ukupnom prirastu rastertonske vrijednosti koju vidi promatrač. S druge strane, vrijednosti prirasta rastertonske vrijednosti dobivene Yule-Nielsenovim algoritmom eliminiraju učinak raspršivanja svjetlosti, ostavljajući samo stvarni mehanički prirast rastertonske vrijednosti, koje je uzrokovano postupkom ispisa, pod uvjetom da je odabrana odgovarajuća vrijednost parametra  $n$ .

## TEORIJSKI DIO

### 2. SVJETLOST I BOJA

Prilikom opisivanja nekog objekta bitno svojstvo koje ćemo navesti je njegova boja. Klasificirat ćemo ga na način da ćemo odrediti da li je obojen, crn, bijeli ili proziran. Koje će od ovih navedenih svojstava objekt pokazati ovisi o interakciji svjetlosti i samoga objekta. Svjetlost koja pada na objekt pri tome može biti apsorbirana, reflektirana ili transmitirana. Temelje poznavanja i razumijevanja svjetlosti postavilo je Albert Einstein te otkrio njezinu dvojnju prirodu. Svjetlost ima svojstva i čestice i vala, a to je dokazao pomoću fotoelektričnog efekta. Valna priroda svjetlosti upućuje na to da je ona elektromagnetski val. [1]

Elektromagnetsko zračenje djeluje na elektrone u atom te oni pri izlaganju takvom zračenju počnu lagano vibrirati. Vibracije elektrona pod utjecajem svjetlosti omogućuju vidljivost boje objekta. Svaka boja ima svoju određenu valnu duljinu koja svojim elektromagnetskim titranjem djeluje na čunjiće koji se nalaze u mrežnici oka te imaju svojstvo receptora. Zatim podražajni signal putuje živcima do stražnjeg dijela mozga gdje se nalazi centar za osjet boje te se tamo stvara doživljaj boje. Oko raspoznaje boje koje posjeduju valne duljine unutar raspona od 360nm do 800nm, dok se za prosječni ljudski vid uzima raspon od 380nm do 750nm (slika 1). [1]



Slika 1. Elektromagnetski spektar (Izvor: Poljičak Ante, Skripta Reprodukcijska slikovnih informacija, 2017. )



### 3. ZAKON OČUVNJA ENERGIJE

Zakon očuvanja energije vrijedi i za svjetlost jer i ona predstavlja oblik energije te i za nju vrijedi osnovni prirodni zakon. Kada dio svjetlosti iz nekog izvora  $I_0$  padne na neki predmet taj dio svjetlosti s njime može imati razne interakcije. Svjetlost se može apsorbirati  $I_A$  što je rezonantna interakcija, reflektirati  $I_R$  što predstavlja nerezonantnu interakciju i transmitirati  $I_T$ . Što će se od ovih slučajeva dogoditi ili koja njihova kombinacija ovisi o promatranom predmetu koji je osvijetljen. [2]

Primjenom zakona očuvanja energije osigurava se da svi svjetlosni tokovi, kao posljedica interakcije podloge i elektromagnetskog zračenja, moraju moći zbrojiti:

$$I_0 = I_R + I_T + I_A \quad (1)$$

Reflektancija predstavlja omjer reflektiranog zračenja od neke površine i upadnog toka zračenja koje je došlo na tu površinu, a izražava se koeficijentom refleksije:

$$R = \frac{I_R}{I_0} \quad (2)$$

Transmitancija predstavlja omjer transmitiranog zračenja kroz neku površinu i upadnog toka zračenja koje je došlo na tu površinu, a izražava se koeficijentom transmisije:

$$T = \frac{I_T}{I_0} \quad (3)$$

Apsorpcija predstavlja omjer apsorbiranog zračenja, gdje raspršenje kroz sredstvo poprima vrijednost nula, i upadnog toka zračenja koje je došlo na tu površinu, a izražava se koeficijentom apsorpcije:

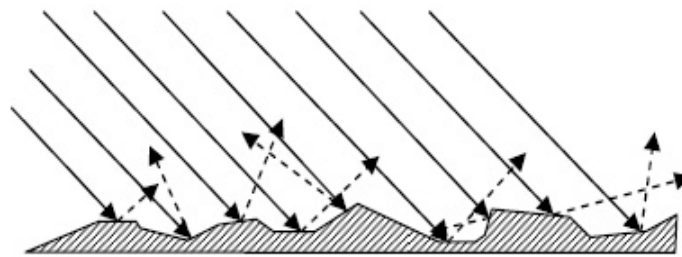
$$A = \frac{I_A}{I_0} \quad (4)$$

Iz čega proizlazi zakon očuvanja energije u novom obliku:

$$I_0 = I_R + I_T + I_A \rightarrow R + T + A = 1 \quad (5)$$

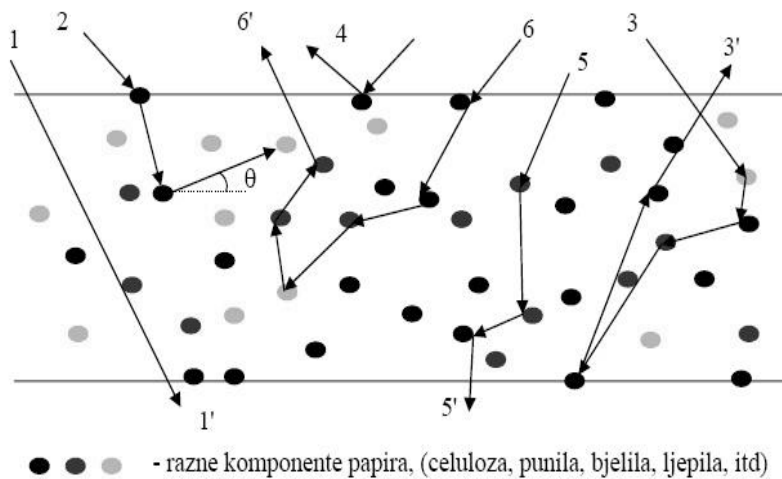
Svi navedeni faktori mogu poprimiti vrijednost između 0 i 1, a njihove vrijednosti ovise o spektralnom sastavu zračenja i temperaturi tijela. Faktori se tako zapisuju kao funkcije za apsorpciju  $\alpha(\lambda, T)$ , refleksiju  $\varphi(\lambda, T)$  i transmisiju  $\tau(\lambda, T)$  i pomoću njih određena su optička svojstva za neko tijelo. [2]

Prilikom pada svjetlosti na neprozirnu podlogu kao što je papir dio svjetlosti se reflektira na gornjoj podlozi papira i ne ulazi u unutrašnjost, te se takva pojava naziva površinska refleksija. Kada se dogodi takva refleksija valne duljine reflektirane svjetlosti su približno jednake valnim duljinama upadne svjetlosti. Ovisno o površini s koje se svjetlost reflektira, refleksija može biti difuzna i zrcalna. Difuzna refleksija (slika 2) događa se prilikom reflektiranja svjetlosti s hrapave podloge kada se zbog neravnina paralelan snop svjetlosti koja dolazi na podlogu refleksijom rasprši u svim smjerovima. Zrcalna refleksija nastaje kada paralelan snop svjetlosti padne na glatku podlogu te se jednako tako paralelno s nje reflektira.[3]



*Slika 2. Difuzna refleksija (Izvor: Itrić, Primjena gradijentne metoda u razdvajanju komponenti prisrasta rastertonske vrijednosti, 2016.)*

Dio svjetlosti koji se nije reflektirao na površini ulazi u unutrašnjost podloge (slika 3). Svjetlost se može raspršiti unutar strukture podloge i ponovno reflektirati iz unutrašnjosti te se ta pojava naziva unutarnja refleksija. Prilikom mjerenja teško je razlučiti koliki dio svjetlosti je reflektiran s površine, a koliki iz unutrašnjosti stoga je rezultat mjerenja ukupna reflektirana svjetlost. [3]

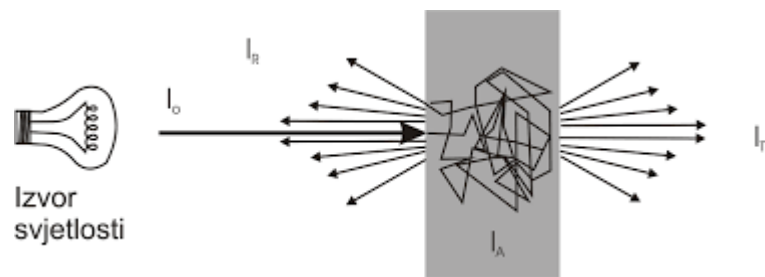


*Slika 3. Mogućnost ishoda prijenosa svjetlosti u papiru. 1-1' direktna transmisija; 2-2' apsorpcija; 3-3' interna površinska refleksija; 4- površinska refleksija; 5-5' difuzna transmisija i 6-6' interna višestruka refleksija (Izvor: Itrić, Primjena gradijentne metoda u razdvajanju komponenti prisrasta rastertonske vrijednosti, 2016.)*

Transmisija se događa kada zrake svjetlosti prođu kroz podlogu. S obzirom da papir jako raspršuje svjetlost, direktna transmisija je relativno rijetka pojava.

Dio svjetlosti se apsorbira unutar podloge, dok se jedan dio reflektira unutar podloge i ne izađe iz nje također pripada apsorbiranom dijelu. Apsorbirani su svi dijelovi koji se ne vrte s podloge i oni pospješuju smanjenje refleksije svjetlosti s podloge. Prilikom refleksije reflektirana svjetlost može ostati nepromijenjena u odnosu na upadnu svjetlost i tako će smanjenje svjetlosti opisivati samo gubitak sjaja koji se odnosi na podlogu s koje se reflektira, ali boja podloge ostaje ista. Dok se pri promjeni reflektirane svjetlosti u odnosu na upadnu, odnosno ako dođe do promjena valnih duljina reflektirane svjetlosti, smanjenje svjetlosti biti će uočeno i na promjeni boje uzorka koji se promatra. Ta pojava gubitka samo jednog dijela intervala valnih duljina tokom pada svjetlosti na neku podlogu i njezine refleksije ukazuje da je došlo do apsorpcije koja se naziva selektivna apsorpcija. Pojava takve apsorpcije naziva se selektivna jer se apsorbira samo određeni dio spektra, a koji dio spektra će biti apsorbiran ovisi o vrsti podloge i bojila na kojima se reflektira. [2]

Podloge s velikom apsorpcijom za sve valne duljine te malom refleksijom i transmisijom vidimo kao crno obojene, dok podloge s velikim faktorom refleksije za sve valne duljine ostavljaju dojam bijele boje. Postoje podloge koje izgledaju prozirno i nemaju obojenje, a to im omogućuje veliki faktor transmisije za sve valne duljine. [2]



Slika 4. Interakcija svjetlosti i podloge (Izvor: Džimbeg-Malčić, Skripta iz Fizike u grafičkoj tehnologiji, 2016.)

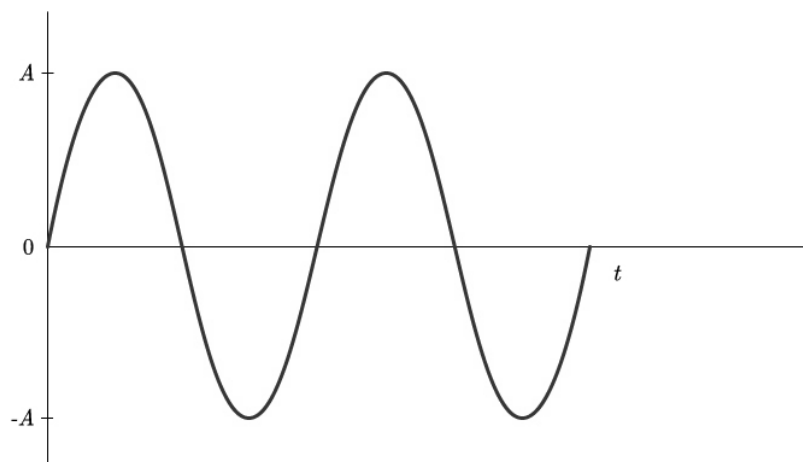
#### 4. INTERAKCIJA SVJETLOSTI I MATERIJE

Prije nego što dođe do interakcije atoma sa svjetlosti odnosno elektromagnetskim zračenjem, atom je u stanju mirovanja. To znači da se nalazi u stanju najniže energije. Prilikom izlaganja atoma elektromagnetskom zračenju kojemu je frekvencija energije fotona jednaka energetskej razlici između pobuđenog stanja i stanja mirovanja dolazi do apsorpcije fotona. Tada elektron prelazi u više energetske stanje. Nakon određenog vremena vraća se na niže energetske stanje i prilikom toga emitira foton. Tako emitirani foton je razlika energije između ta dva energetska stanja. Foton je u rezonanciji s atomom i takva interakcija naziva se rezonantna. [1]

Budući da atom može reagirati sa svjetlosti bilo koje frekvencije takva se interakcija ne može opisati pomoću kvantnih skokova između energetske nivoa. Takva vrsta interakcije naziva se nerezonantna. [1]

Atom možemo promatrati kao oscilator. Svaki elektron u atomu vibrira određenom frekvencijom te svaki od njih ima određenu vjerojatnost prijelaza na osnovno stanje te je prvi prijelaz najvjerojatniji. Oscilator dio vibracijske energije troši na trenje. Što znači da ako atom iz pobuđenog stanja pri prelasku u osnovno stanje ne emitira foton energije jednake razlici energetske stanja taj oscilator je pretrpio određeno trenje. [2]

Interakciju svjetlosti i materije možemo usporediti kao sustav interakcije elektronskog oscilatora i elektromagnetskog vala. [2]



Slika 5. Graf neprigušenog titranja (Izvor: <https://edutorij.e-skole.hr/share/proxy/alfresco-noauth/edutorij/api/proxy-guest/a46bb23b-608e-45b5-b7f6-c952a83441fa/prisilno-i-priguseno-titranje.html>)

Bijela svjetlost koja je polikromatska sastoji se od puno različitih frekvencija. Prilikom izlaganja oscilatora takvom zračenju dolazi do gibanja koje je rezultat svih gibanja koja bi se događala da je izložen svakoj od tih frekvencija zasebno. Takvo gibanje naziv se superpozicija. Kada na elektronski oscilator padne elektronski val amplitude  $E_0$  i frekvencije  $\omega$  periodično električno polje inducira oscilator te on umjesto vibriranja rezonantnom frekvencijom  $\omega_0$  počinje vibrirati frekvencijom  $\omega$ . Tada vrijednosti  $\omega$  i  $\omega_0$  određuju amplitudu i fazu tog gibanja. [2]

Prilikom interakcije svjetlosti i materije atom predstavlja harmonički oscilator kao čestica koja vrši titranje kada na nju djeluje elektromagnetski val. Tako električno polje inducira električne dipole i dolazi do prisilnog titranja sustava. [1]

Oblik prisilnog titranja izražen je:

$$x = A \sin \omega t = \frac{e}{m(\omega_0^2 - \omega^2 + i\gamma\omega)} E_0 \sin \omega t \quad (6)$$

Amplituda titranja  $A$  ovisna je o frekvenciji upadnog elektromagnetskog vala  $\omega$  i frekvencije sustava  $\omega_0$ , dok se titranje izvodi frekvencijom vanjskog polja  $\omega = 2\pi\nu$ . Trenje koje predstavlja gubitak energije zbog istodobnog zračenja prisutnog uz maksimalnu apsorpciju označava faktor  $i\gamma\omega$ . [1]

Ako vanjsko polje ima manju frekvenciju titranja  $\omega$  od frekvencije titranja materije  $\omega_0$  tada ulazni val titra jednakom frekvencijom i istim smjerom. Dok je amplituda ovisna o sustavu koji titra i manja je od amplitude ulaznog vala. [1]

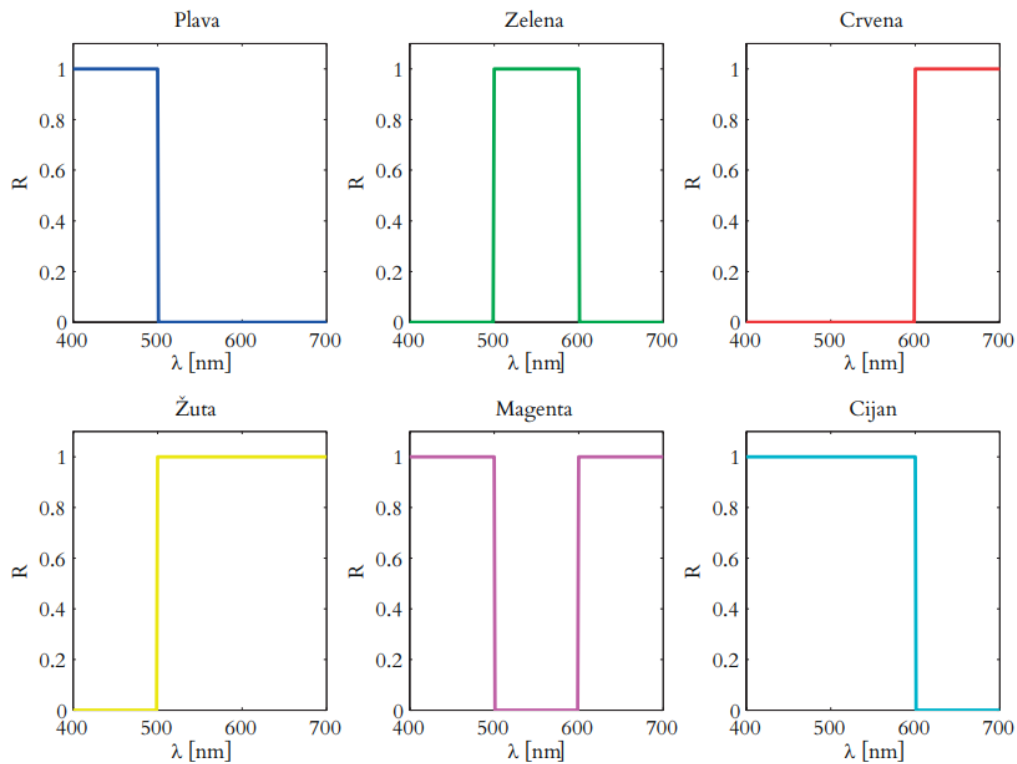
$$\omega_0 \gg \omega \quad A = \frac{eE_0}{m\omega_0^2} \quad (7)$$

Kada ulazni val ima veću energiju titranja nego što je energija titranja sustava tada vrijedi da vanjsko polje ima veću frekvenciju titranja od frekvencije titranja elektrona u materiji te je rezultat takvog gibanja pomak za  $\pi$ , odnosno suprotnog je sjera od početnog gibanja. Sustav je optički rjeđi u odnosu na sustav iz kojeg dolazi elektromagnetski val zato vraćanje elektromagnetskog vala objašnjava totalna refleksija iz optički gušćeg u optički rjeđe sredstvo. U tom slučaju frekvencija ulaznog vala ostaje ista ali mi se mijenja faza i amplituda. Zraka koja ulazi u polje djeluje na elektrone određenom silom te potom elektroni ponovo zrače svjetlost i dolazi do reemisije. [1]

$$\omega_0 \ll \omega \quad A = -\frac{eE_0}{m\omega^2} \quad (8)$$

Ako ulazni val ima istu frekvenciju kao i frekvencija sustava dolazi do pojave rezonancije. Tada je ulazni val maksimalno apsorbiran. Ako dođe do takvog izjednačavanja frekvencija amplituda teži beskonačnosti i potrebno je uvesti faktor „trenja“  $i\gamma\omega$ . [1]

$$\omega_0 = \omega \quad A = A_{max} \rightarrow \infty \quad (9)$$



Slika 6. Spektrofotometrijske krivulje reflektancije idealnih boja (Izvor: Izvor: Poljičak Ante, Skripta Reprodukcijska slikovnih informacija, 2017.)

Prilikom interakcije svjetlosti i podloge može doći do rezonantne ili nerezonantne interakcije. Rezonantna interakcija upućuje da će se dogoditi apsorpcija, dok se prilikom nerezonantne interakcije može dogoditi refleksija, transmisija ili lom svjetlosti. Sve ove interakcije odvijaju se istodobno, a rezultat toga omogućuje nam raspoznavanje boja. [2]

#### 4.1. INDEKS LOMA SVJETLOSTI

Od neutralnog atoma nastaje dipol djelovanjem električnog polja. Kada elektromagnetski val djeluje na atom težište naboja se pomakne i on se ponaša kao električni dipol s dipolnim momentom: [1]

$$P = Q \cdot x(t) \rightarrow Q = e \text{ naboj elektrona} \quad (10)$$

Tada je dipolni moment bez vanjskog polja jednak:

$$P_0 = \frac{e^2}{m(\omega_0^2 - \omega^2)} \cdot E_0 \sin \omega t \quad (11)$$

Dipolni moment mjeri se kao polarizacija dielektrika odnosno na jediničnom volumenu materijala.

N elementarnih dipola:

$$P = Np = N e \cdot x(t) \quad (12)$$

ili

$$P = \frac{Ne^2}{m(\omega_0^2 - \omega^2)} \cdot E \quad (13)$$

Izraz električne polarizacije pomoću elektrostatike zapisan je kao:

$$P = \frac{\varepsilon}{4\pi} \cdot E \quad (14)$$

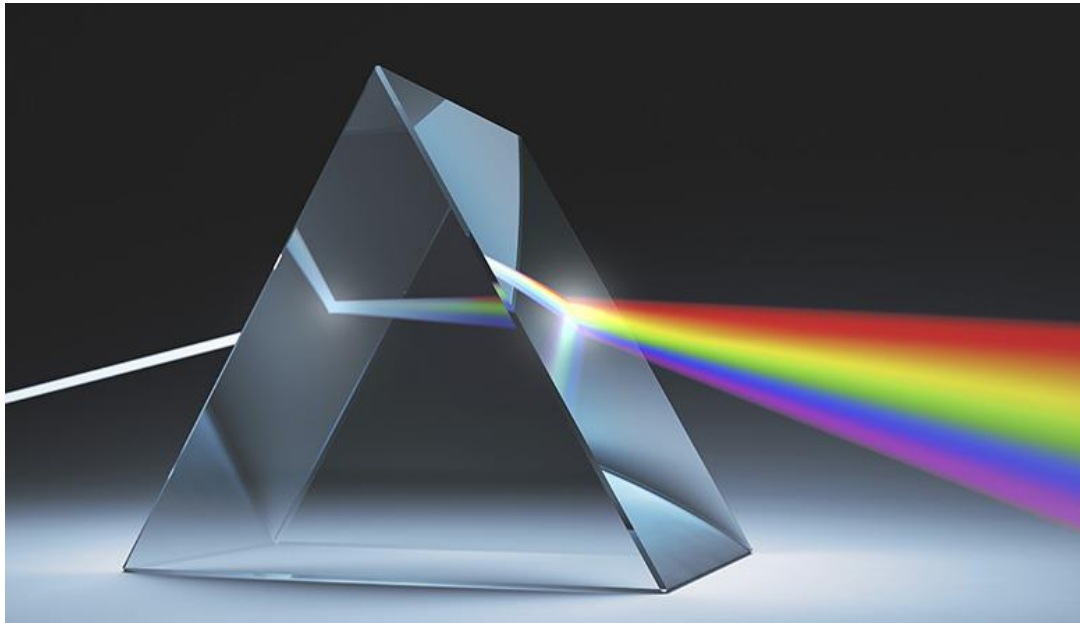
gdje  $\varepsilon$  predstavlja dielektričnu konstantu sredstva.

Kada se jednačbe izjednače dobije se izraz za indeks loma:

$$n = 1 + \frac{Ne^2}{m(\omega_0^2 - \omega^2)} \quad (15)$$

Povećavanjem frekvencije povećava se indeks loma. Tu ovisnost možemo vidjeti u izrazu za indeks loma  $n = f(\omega, \omega_0)$ . Pojava do koje dolazi naziva se disperzija svjetlosti. [1]





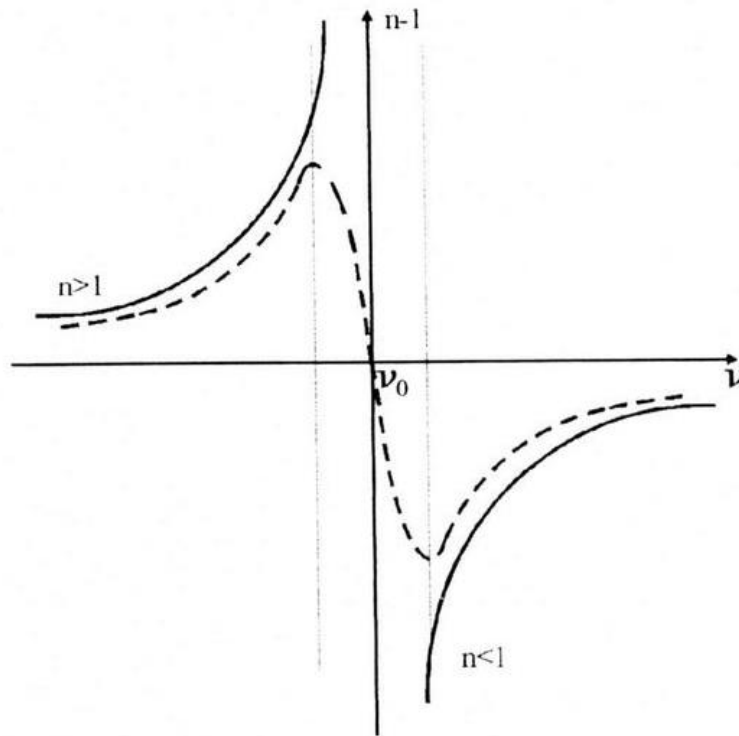
Slika 7. Disperzija bijele svjetlosti na prizmi (Izvor: <https://edutorij.e-skole.hr>)

Područje oko vlastite frekvencije elektrona  $\omega_0$  je iznimka jer se na tom području povećanjem frekvencije  $\omega$  indeks loma smanjuje te se ono naziva područje anomalne disperzije. [1]

Prilikom vlastitog zračenja elektrona dolazi do gubitka energije i njega se promatra kao trenje koje prigušuje titranje elektrona te mijenja oblik izrazu za indeks loma jer mu se dodaje faktor  $i\gamma m$ :

$$n = 1 + \frac{Ne^2}{m(\omega_0^2 - \omega^2 + i\gamma m)} \quad (16)$$

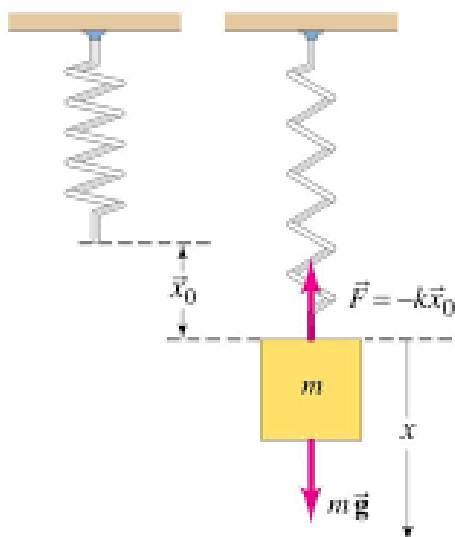
Apsorpcija elektromagnetskog vala odvija se pri prolasku vala kroz medij kompleksnog indeksa loma. Kada je frekvencija upadnog vala približno jednaka vlastitoj frekvenciji vezanih elektrona tada je apsorpcija velika te maksimalnu vrijednost poprima kada su frekvencije izjednačene. Zbog toga što je indeks loma kompleksan broj, njegov realni dio tada je  $n'=1$  i to područje naziva se područjem anomalne disperzije i taj realni dio indeksa loma  $n'$  određuje faznu brzinu vala. U tom području uzrok apsorpcije imaginarni dio  $n''$  jako je velik.[2]



Slika 8. Ovisnost indeksa loma o frekvenciji (Izvor: <https://slideplayer.gr/>)

Kada je frekvencija upadne svjetlosti manja od frekvencije harmoničkog oscilatora ( $\omega < \omega_0$ ) indeks loma poprima vrijednost veću od 1 ( $n > 1$ ) to znači da je sredstvo koje se promatra optički gušće od sredstva iz kojeg svjetlost dolazi, uz pretpostavku da svjetlost dolazi iz vakuuma ili iz zraka. Ne dolazi do apsorpcije već svjetlost samo prolazi. [2]

U području frekvencije gdje je frekvencija ulazne svjetlosti veća od frekvencije harmoničkog oscilatora ( $\omega > \omega_0$ ) indeks loma poprima vrijednosti manje od 1 ( $n < 1$ ), a to znači da je promatrano sredstvo optički rjeđe od sredstva iz kojeg svjetlost dolazi, također uz pretpostavku da dolazi iz zraka ili vakuuma. [2]



Slika 9. Prikaz harmonijskog oscilatora (Izvor: [https://mapmf.pmfst.unist.hr/~pero/of3/vjezbe/HO\\_PS.pdf](https://mapmf.pmfst.unist.hr/~pero/of3/vjezbe/HO_PS.pdf))

Područje gdje je frekvencija upadne svjetlosti jednaka frekvenciji harmoničkog oscilatora ( $\omega = \omega_0$ ) je područje rezonancije te ovdje dolazi do apsorpcije i indeks loma teži u beskonačno ( $n \rightarrow \infty$ ). Rezonancija se neće dogoditi s maksimalnim prijenosom energije nego će zbog trenja unutar čestica harmoničkog oscilatora doći do prigušenja titranja koje će za rezultat dati smanjenje indeksa loma u području vlastite frekvencije. Takva pojava gdje se, u području vlastite frekvencije harmoničkog oscilatora, s povećanjem frekvencije upadne svjetlosti indeks loma smanjuje naziva se anomalna disperzija. U realnom svijetu se u tom području pojedine komponente bijele svjetlosti apsorbiraju i kao rezultat na izlazu iz sustava dobije se bojeni efekt zbog nedostatka tih određenih valnih duljina koje su na ulazu tvorile bijelu svjetlost. [1]

## **5. DEFORMACIJA RASTERSKOG ELEMENTA**

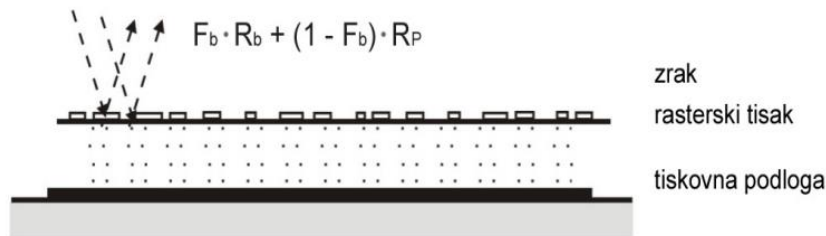
Tijekom procesa pripreme, izrade tiskovne forme i samog procesa tiska dolazi do promjene u veličini rasterskog elementa, odnosno njegove deformacije. Ta pojava može biti pozitivni prirast ili negativni prirast, no najčešći je pozitivni prirast odnosno povećanje rasterskog elementa. Promjena veličine rasterskog elementa utječe na promjenu relativne rasterske površine što se na otisku očituje kao promjena optičke gustoće. Prirast rasterskog elementa definiran je površinom kružnog vijenca koji se nalazi oko rasterske točkice te se izražen kao razlika teorijski definirane rasterske točkice i one dobivene tiskom, a njihova razlika izražena je u postocima. [4] Širina kružnog vijenca ne ovisi o veličini rasterske točkice te zbog toga na veličinu prirasta utječe linijatura rastera. Odnosno što je linijatura manja to je veći prirast jer je i sama kontura rasterskih točkica površinski veća. Na prirast rastera utječe vrsta i linijatura rastera, tiskovna podloga, uvjeti prilikom tiska i svojstvo bojila. Do geometrijske deformacije dolazi prilikom mehaničkih djelovanja u procesu ili nakon tiska, a ona se pojavljuje smicanjem, dubliranjem i razmazivanjem rasterskog elementa. [5]

### **5.1. OPTIČKA DEFORMACIJA RASTERSKOG ELEMENTA**

Do optičke deformacije dolazi prilikom prolaska svjetlosti kroz tiskovnu podlogu jer se jedan dio svjetlosti reflektira od unutrašnjih slojeva podloge te rasterski element ostavlja dojam njegovog proširenja. Kolika će količina svjetlosti biti reflektirana ovisi o parametrima tiskovne podloge koji su uzrok refleksije i apsorpcije. [5]

### **5.2. MURRAY-DAVIESOV MODEL**

Prvi optički model za opis reprodukcije tona prilikom rastriranja iznio je Murray-Davies. On je model bazirao na zakonu očuvanja energije fotona. Pomoću vrijednosti optičke gustoće  $D$  model predviđa dio podloge pokriven bojom  $F_{bt}$ . [1,7]



Slika 10. Pretpostavljeni put svjetlosti prema Murray-Daveisovom modelu (Izvor: Džimbeg Malčić, *Primjena Kubelka-Munk teorije i Yule-Nielsenovog efekta na tiskovnim podlogama*, 2005.)

$$R_{\lambda t} = F_b \cdot R_b + (1 - F_b) \cdot R_p \quad (17)$$

Teorijska spektralna refleksija, odnosno procijenjena, označena je kao  $R_{\lambda t}$  dok je spektralna refleksija 100% obojene podloge  $R_b$  te neobojenog dijela podloge  $R_p$ . [1]

Uzimajući za  $F_b$ , umjesto teorijske vrijednosti  $R_{\lambda t}$  mjerenu reflektanciju  $R_{\lambda m}$  i tako dobijemo procijenjenu vrijednost pokrivenog dijela podloge  $F_{bt}$ . [1]

$$F_{bt} = \frac{R_{\lambda m} - R_p}{R_b - R_p} \quad \text{ili} \quad F_{bt} = \frac{1 - 10^{-D}}{1 - 10^{-D_b}} \quad (18)$$

zato jer je  $D = -\log_{10} \left( \frac{R_{\lambda m}}{R_p} \right) \quad (19)$

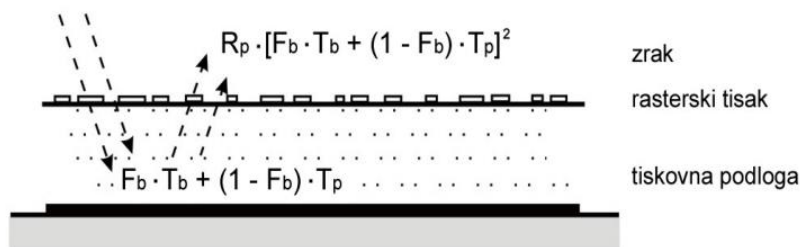
i  $D_b = -\log_{10} \left( \frac{R_b}{R_p} \right) \quad (20)$

Veza između spektralne reflektancije i normaliziranih gustoća pokazana je izrazom, dok je  $D_b$  normalizirana gustoća monokromatskog bojila koje prekriva cijelu otisnutu podlogu.

Murray-Davies je svojom jednadžbom predstavio idealno jednoliko obojenje podloge i jednako tako jednoliku i idealnu podlogu zato jednadžba može biti promatrana kao zbroj reflektancije otisnute boje i reflektancije podloge. Na taj način zanemarene su ostale pojave koje se događaju u realnosti zbog ne idealnih uvjeta. [1,8]

### 5.3. YULE-NIELSENOVA KOREKCIJA

Murray-Daviesov model zanemaruje mnoge pojave te to dovodi do netočnosti njegove jednadžbe, a jedan od najvećih razloga je zanemarivanje raspršenja svjetlosti. Yule-Nielsenova korelacija prilagođena je za tiskovne podloge na kojima i u kojima se svjetlost difuzno raspršuje. [1,9]



Slika 11. Pretpostavljeni put svjetlosti prema Yule-Nielsenovom modelu (Izvor: Džimbeg Malčić, Primjena Kubelka-Munk teorije i Yule-Nielsenovog efekta na tiskovnim podlogama, 2005.)

Transmitirana svjetlost koja prolazi podlogom djelomično je apsorbirana homogenim filtrom uz to da se zanemaruje Fresnelova refleksija na tiskovnoj podlozi. Kada se primjeni Murray-Daviesova jednadžba spektralna transmisija  $T_{\lambda t}$  je: [2]

$$T_{\lambda t} = F_b \cdot T_b + (1 - F_b) \cdot T_p \quad (21)$$

Transmitancija neobojene podloge označena je kao  $T_p$  i njezina vrijednost najčešće iznosi 1 dok je  $T_b$  transmitancija sloja boje prema Lambertovom zakonu jednaka: [2]

$$R_b = T_b \cdot R_p \cdot T_b \rightarrow T_b = \sqrt{\frac{R_b}{R_p}} \quad (22)$$

Ako se pretpostavi da svjetlost kroz sloj boje prolazi dva puta. Povećavanjem difuzne duljine koju prijeđe svjetlost, ulazna zraka može biti potpuno raspršena odnosno mogućnost njezinog izlaska kroz obojeni ili neobojeni dio podloge ne ovisi o njezinoj ulaznoj poziciji i vjerojatnost tog događaja proporcionalna je s pokrivenosti podloge  $F_b$ . Iz tog se zaključuje da je ulazno zračenje difuzno reflektirano zbog unutarnje refleksije  $R_p$  i zatim ponovno apsorbirano s faktorom  $T_{\lambda t}$ : [2]

$$R_{\lambda t} = R_p \cdot [F_b \cdot T_b + (1 - F_b) \cdot T]^2 \rightarrow R_{\lambda t} = R_p \cdot [F_b \cdot \sqrt{R_b} + (1 - F_b) \cdot \sqrt{R_p}]^2 \quad (23)$$

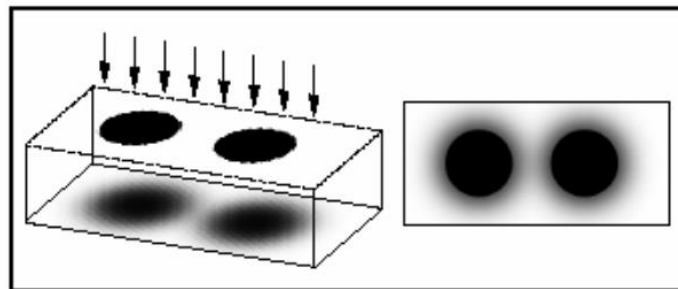
$$\text{uz} \quad T_p = 1 \quad \text{i} \quad R_b = R_p \cdot T_b^2 \quad (24)$$

Kako bi se teorijske i eksperimentalne vrijednosti poklapale u jednadžbu je uveden parametar  $n$ , koji se naziva  $n$ -vrijednost, kao eksponent u jednadžbi: [1]

$$R_{\lambda t} = [F_b \cdot \sqrt[n]{R_b} + (1 - F_b) \cdot \sqrt[n]{R_p}]^n \quad (25)$$

Ako se za interval  $n$ -vrijednosti uzme raspon  $1 \leq n \leq 2$ , tada jednadžba daje rezultat kada nema raspršenja odnosno kada je  $n=1$  kako je to u svojem modelu iznio Murray-Davies te do rezultata koji daje jednadžba kada se dogodi potpuno raspršenje svjetlosti u podlozi gdje je  $n=2$ . Eksperimentalni rezultati pokazuju veću točnost za  $n$ -vrijednost veću od 2 kada se uspoređuju mjerene i teorijske vrijednosti zbog ostalih pojava koje nisu bile uzete u obzir. Zbog procesa rastriranja slika ima veću podložnost raspršenju svjetlosti. Svjetlost koja dolazi do neotisnutog dijela raspršuje se unutar podloge i pojavljuje se ispod otisnutog dijela i obratno te to dovodi do efekta prirasta rasterskog elementa. Efekt se očituje na način da točkica ima svjetliju

obojenost ali bjelina oko točkice izgleda tamnije. Zbog visoke rezolucije koja je u današnje vrijeme omogućena prirast rasterske točkice ima još značajniji utjecaj. [1,10]



*Slika 12. Bočno raspršenje koje je uzrokovalo optičko povećanje veličine rasterskog elementa (Izvor: Džimbeg Malčić, Primjena Kubelka-Munk teorije i Yule-Nielsenovog efekta na tiskovnim podlogama, 2005.)*

Poveznica između gustoće obojenja  $D$  i rasterske vrijednosti  $F$  postaje linearna kako  $n$ -vrijednost teži u beskonačnost odnosno Yule-Nielsenova jednadžba prelazi u Beer-Lambertov zakon što pokazuje da empirijski dobivena jednadžba poštuje osnovni odnos papira i boje. Dvije pojave ukazuju na suprotno, odnosno da izraz nije fundamentalno točan teorijski izraz. [1,10]

#### Prva pojava

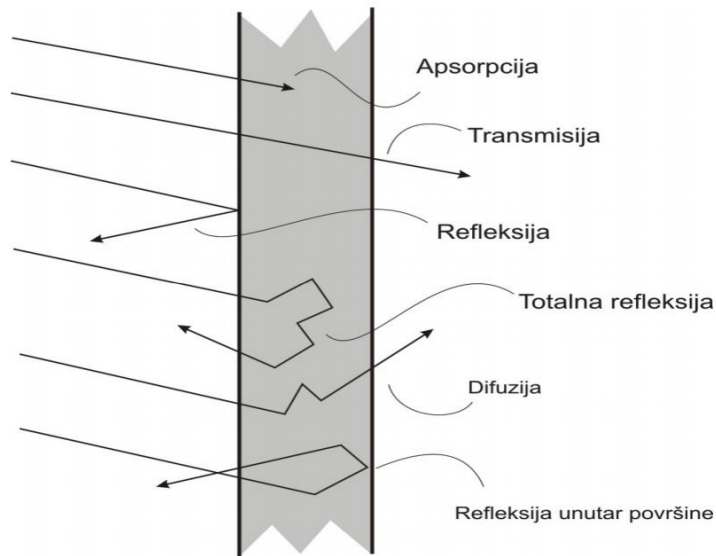
Raspršenje svjetlosti unutar rasterske slike uzrokuje nelinearnost reflektancije rasterske slike i rasterske vrijednosti.  $n$ -faktor je funkcija frekvencije rastera i drugih optičkih svojstava između bojila i papira. Yule-Nielsenovu jednadžbu nije moguće izvesti iz osnovnih fizikalnih principa, nego je potrebno uvođenje specijalnih pretpostavki. [1,10]

#### Druga pojava

Murray-Davies svoju jednadžbu temelji na zakonu očuvanja energije fotona. Vrijednost reflektancije linearno povezana s tokom fotona s podloge otiska i očekivano je da će se reflektancije zbrojiti. Yule-Nielsen u jednadžbi zbrajaju reflektanciju i tok fotona na neku potenciju što je suprotno od zakona očuvanja energije. [1]

Kako bi se očuvala linearnost zbrajanja reflektancija te istovremeno uzele u obzir i eksperimentalne činjenice kao pretpostavka uzeto je da su  $R_b$  i  $R_p$  funkcije od  $F$ . [2]





Slika 13. Mogućnosti puta koji prijeđe foton u papiru (Izvor: Džimbeg Malčić, *Primjena Kubelka-Munk teorije i Yule-Nielsenovog efekta na tiskovnim podlogama*, 2005.)

Svjetlost koja ulazi u papir može se ponašati na različite načine, ona se može u papiru između rasterskih točkica bočno raspršiti i pojaviti ispod točkica ili se ako ulazi kroz točku može se raspršiti i izići kroz papir na mjestu gdje nema otiska odnosno između rasterskih točkica. Zbog toga  $R_b$  ima veću vrijednost od zapažene za  $F_b=1$ , te je vrijednost  $R_p$  manja od zapažene za podlogu koja ima  $F_b=0$ . Tako raspršeni fotoni utječu na ukupnu reflektanciju, rasterskih točkica i dijela podloge bez otiska, tako da je ona funkcija relativne veličine točaka te su sukladno s time  $R_b$  i  $R_p$  funkcije od  $F_b$ . Ta ovisnost označiti će se kao  $R_b(F_b)$  i  $R_p(F_p)$  kako bi bila uočljivija razlika između Murray-Davies i Yule-Nielsenove jednadžbe: [2]

$$R_b(F_b) = R_b [1 - (1 - T_b) \cdot F_b^w] \cdot [1 - (1 - T_b) \cdot F_b^v] \quad (26)$$

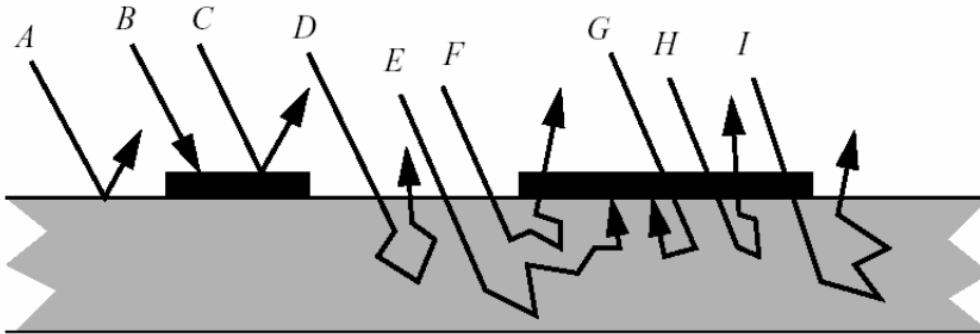
$$R_b(F_b) = R_b [1 - (1 - T_b) \cdot (1 - F_b^w)] \cdot [1 - (1 - T_b) \cdot (1 - F_b^v)] \quad (27)$$

To je složeniji oblik Murray-Daveisove jednadžbe i daje točniju fizikalnu sliku jer zadržava linearan odnos između reflektancija. Jednako kao i kod Yule-Nielsenove jednadžbe  $w$  i  $v$  su proizvoljne konstante odabrane tako da osiguraju najbliže vrijednosti onima koje se dobiju

eksperimentalno. Optičko povećanje rasterskog elementa povezano je s vjerojatnošću raspršenja svjetlosti. Tako što je  $p(r_1, r_2)$  vjerojatnost ulaska fotona u podlogu kroz rastersku točkicu na položaju  $r_1$  i izlazi kroz dio podloge na kojemu se ne nalazi bojilo na poziciji  $r_2$ .

$$R = R_b(F_b) \cdot F_b + R_p(F_p) \cdot F_p \quad (28)$$

gdje je  $F_p = 1 - F_b$  (29)



*Slika 14. Mogući ishodi putova koje foton može prijeći u papiru otisnutom rasterskim elementom: A-površinska refleksija, B-foton apsorbiran slojem bojila, C-foton reflektiran sa sloja bojila, D-unutrašnja refleksija, E- putanja fotona koja uzrokuje optičko povećanje rasterskog elementa, F,G,H,I-putanje uzrokovane bojilom s malim koeficijentom apsorpcije (Izvor: Džimbeg Malčić, Primjena Kubelka-Munk teorije i Yule-Nielsenovog efekta na tiskovnim podlogama, 2005.)*

Ako se u jednadžbu uvrste izrazi za  $R_b$  i  $R_p$  kao rezultat dobije se:

$$R = R_{M-D} - \Delta R \quad (30)$$

Gdje je  $R_{D-M} = R_b^0 T^0 F_b + R_p^0 (1 - F_b)$  (31)

Reflektancija bez efekta raspršenja svjetlosti što je Murray-Daviesov model. Transmitancija bojila označena je u izrazu kao T. Unutar podloge raspršenje svjetlosti opisano je kao: [1]

$$\Delta R = (1 - T)^2 \cdot \bar{p} \cdot F \cdot (1 - F) \quad (32)$$

Kako je  $\Delta R > 0$  mjerena reflektancija R je manja od Murray-Daviesove vrijednosti  $R_{D-M}$  te je rezultat toga dojam da rasterska slika ima veću rastersku vrijednost nego što je predviđeno s uvjetom da je raspršenje zanemareno. Bez modeliranja raspršenja dobiva se dojam da mjerena reflektancija potječe od pokrivenosti bojilom jedinične površine veličine  $F + \Delta F$  umjesto prave veličine F. [1]

$$R(F) = R_{D-M}(F + \Delta F) \quad (33)$$

Tako se može dobiti optičko povećanje rasterske točkice  $\Delta F$  kao funkcija optičkih svojstava materijala odnosno podloge i penetracije bojila: [1]

$$\Delta F = \frac{\Delta R}{R_p^0(1-\gamma T^2)} = \frac{(1-T)^2 \bar{p} F(1-F)}{R_p^0(1-\gamma T^2)} \quad (34)$$

U kojoj  $\gamma$  opisuje efekt penetracije bojila u podlogu. Iz eksperimentalno određenog optičkog povećanja rasterskog elementa može se procijeniti p to jest dobiti informacija o funkciji širenja rasterske točkice (PSF). [1]

Maksimalna vrijednost optičkog povećanja točkice dobije se pomoću uvjeta za maksimum funkcije, odnosno izjednačavanjem prve derivacije s nulom:

$$\frac{d(\Delta F)}{dF} = 0 \quad (35)$$

Pošto transparentija nije ovisna o rasterskoj vrijednosti dobije se:

$$\frac{dp}{dF} \cdot F(1 - F) + p \cdot (1 - 2F) = 0 \quad (36)$$

Kada je  $\frac{dp}{dF} = 0$  optičko povećanje ima jedan maksimum za vrijednost  $F=0,5$  te simetričan profil oko maksimuma. [1]

## **6. MJERENJE BOJE**

U grafičkoj industriji iznimno je bitna boja te njezina vjerodostojna i što preciznija reprodukcija. Veliki su zahtjevi i želja da se tokom tiska postigne boja jednaka onoj na originalu. Doživljaj boje je subjektivan pa je boju potrebno na neki način označiti to jest opisati pomoću određenog koda prema nekom standardu. Vizualnim vrednovanjem boje dobivaju se različiti rezultati koji ovise o samom promatrači i izvoru svjetlosti pod kojim se vrši promatranje. Zbog velike nepreciznosti i odstupanja u rezultatima za kvalitetan i precizan opis boje koriste se instrumenti za mjerenje boje. Oni su vrlo precizni i mjerenje provode prema određenom standardu i uz postavljanje točno definirane vrste rasvjete koja se koristi pri mjerenju. Pojam mjerenje boje obuhvaća mjerenje svjetlosti koja dolazi do promatrača ili senzora instrumenta za mjerenje i kod promatrača uzrokuje doživljaj boje, dok se kod instrumenta mjeri energija koja je dospjela do senzora. [6]

### **6.1. SPEKTROFOTOMETAR**

Spektrofotometrija je znanstveno područje koje se bavi refleksijom, mjeri odnos intenziteta valne duljine svjetlosti koja dođe na površinu i svjetlosti iste valne duljine reflektirane prema senzoru instrumenta za mjerenje. Spektrofotometri mjere u intervalu vidljivog dijela spektra i rezultati koje prikazuju potpuni opis boje koji se dobiva na temelju izmjerene energije svjetla na pojedinoj valnoj duljini. Tako se dobije fizički opis boje, a rezultati se najčešće prikazuju pomoću spektrofotometrijske krivulje. Način rada uređaja temelji se na rastavljanju bijelog svjetla pomoću prizme, optičke rešetke ili interferencijskih filtera na male intervale između od 10nm ili intervale od 20 nm te zatim mjeri vrijednosti za pojedini određeni interval. [6]

## EKSPERIMENTALNI DIO

### 7. MATERIJALI I METODE

Testni uzorci otisnuti su na 150 g / m<sup>2</sup> nepremazanom papiru tehnologijom ink-jet tiska (ploter Océ Color Wave 500) koji koristi Océ TonerPearl sustav. Koristile su se komercijalne procesne boje Océ-Canon u kombinaciji sa zadanim postavkama upravljanja bojama. Mjereni su kontrolni stripovi s vrijednostima gustoće zacrnjena od 0% do 100% s porastom od 10%, uz dodatak 45%, 55% i 65% u svakoj boji CMYK sustava boja.



*Slika 15. Testni uzorci*

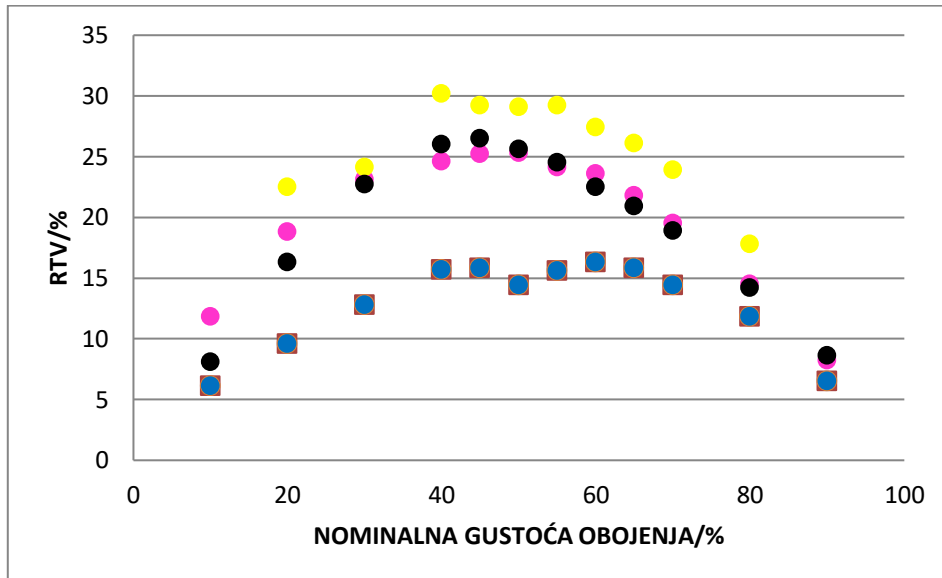
Prilikom mjerenja korišten je uređaj eXact koji se koristi pri spektrofotometrijskim i kolorimetrijskim mjerenjima na raznim materijalima od papira do tekstila. Raspon valnih duljina mu je od 400nm do 700nm, a pri mjerenju koristi standard ISO 13655:2009. Spektrofotometar ima mogućnost mjerenja prema Murray-Daviesoviom, odnosno Yule-Nielsonovom algoritmu. [11]



*Slika 16. Spektrofotometar X-Rite eXact (Izvor: <https://www.xrite.com/categories/portable-spectrophotometers/exact-family>)*

## 8. REZULTATI MJERENJA

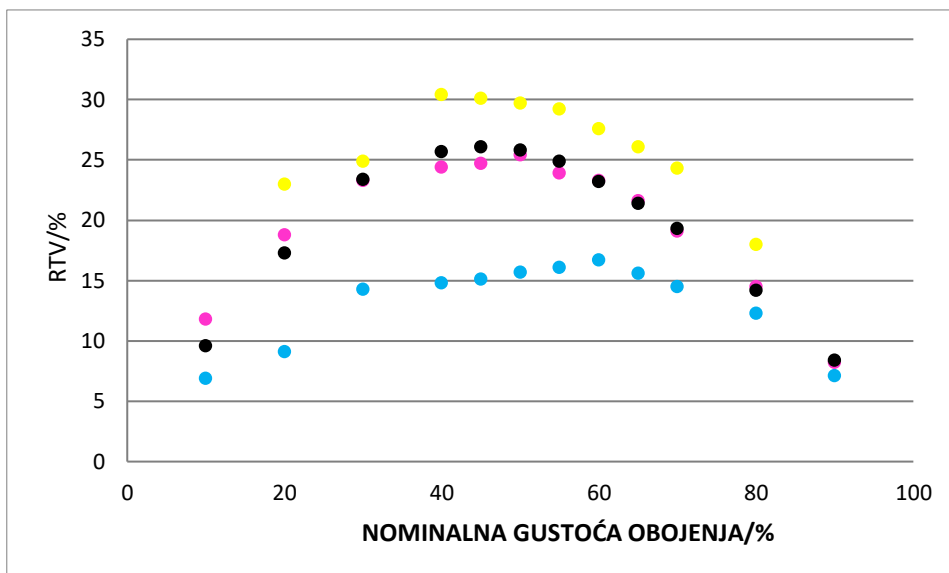
Na temelju rezultata mjerenja provedenog korištenjem Murray-Daviesovog algoritma vidljivo je iz grafičkog prikaza kako je najveći RTV izražen prilikom tiska žute boje, dok cyan ima najmanji RTV.



*Slika 17. Grafički prikaz rezultata mjerenja provedenog korištenjem Murray-Daviesovog algoritma*

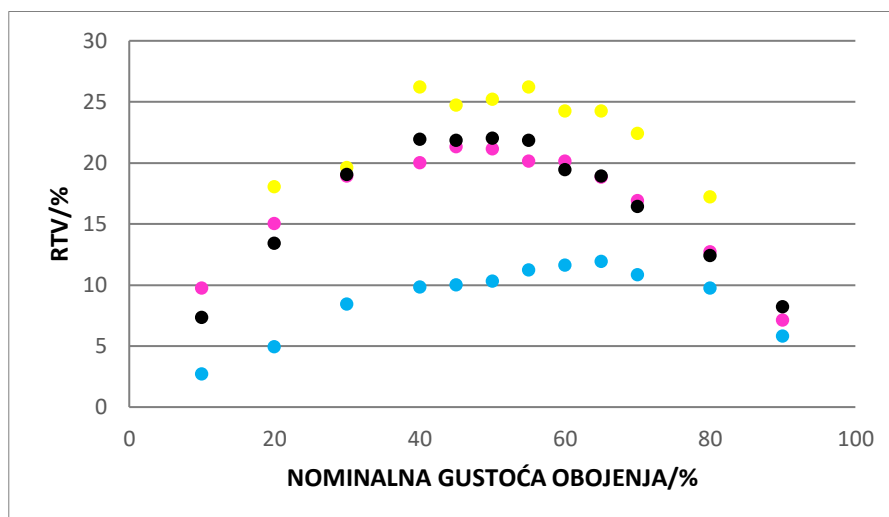
Sljedeća mjerenja provedena su pomoću Yule-Nielsenovog algoritma. Za početnu vrijednost parametru  $n$  dodijeljena je vrijednost 1. Na početku smo pretpostavili da će mjerenja provedena korištenjem Murray-Daviesovog algoritma i Yule-Nielsenovog algoritma kada je vrijednost parametra  $n=1$ , dati jednake rezultate. Ta pretpostavka utemeljena je na jednadžbi koju je iznio Murray-Davies svojim modelom, odnosno Yule-Nielsen korelacijom. Prema tome grafički prikaz rezultata dobivenih mjerenjem korištenjem Yule-Nielsenovog algoritma je vrlo sličan grafu koji prikazuje raspodjelu rezultata dobivenih pomoću Murray-Daviesovog algoritma.





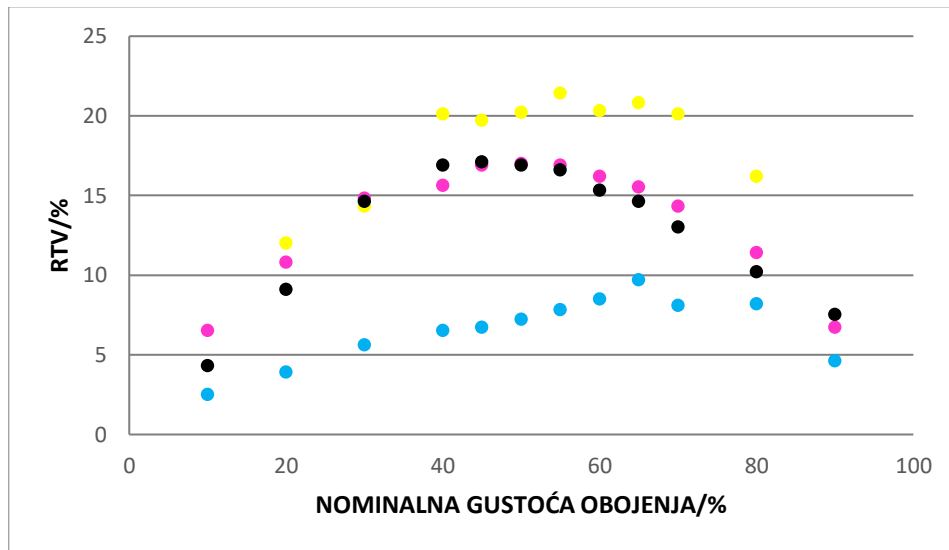
Slika 18. Grafički prikaz rezultata mjerenja provedenog korištenjem Yule-Nielsenovog algoritma za vrijednost parametra  $n=1$

Zatim se vrijednost parametra  $n$  postepeno povećavala. Pri sljedećem mjerenju ta vrijednost iznosila je 1.2. Iz grafičkog prikaza rezultata dobivenih korištenjem Yule-Nielsenovog algoritma, dok je vrijednost parametra  $n$  iznosila 1.2 može se uočiti manji RTV-a kod cyana, dok je RTV za žutu boju i dalje vrlo velik.



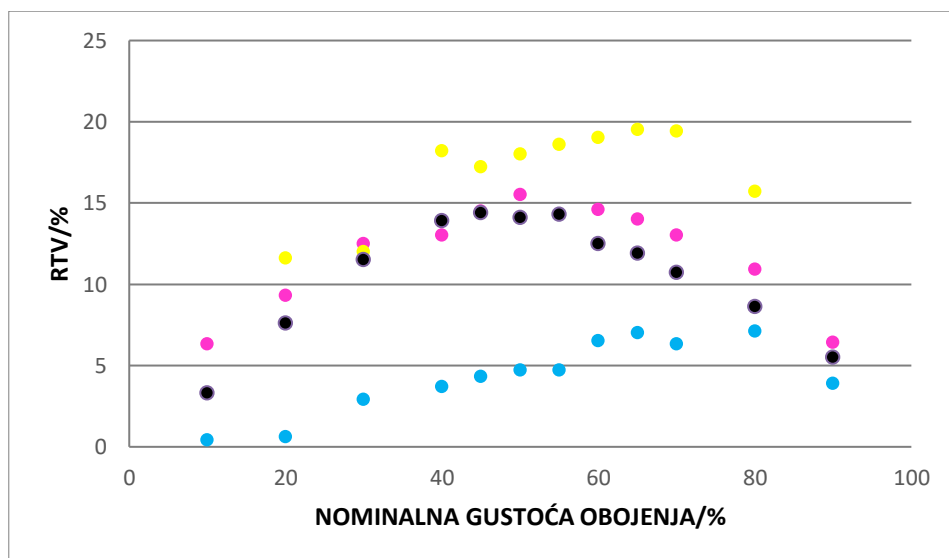
Slika 19. Grafički prikaz rezultata mjerenja provedenog korištenjem Yule-Nielsenovog algoritma za vrijednost parametra  $n=1,2$

Iz grafičkog prikaza rezultata, kada je vrijednost parametra  $n$  postavljena na 1.5, može se uočiti smanjenje RTV-a kod svih mjerenih boja. Žuta boja i dalje ima najveći RTV, dok je kod cijane RTV najmanji.



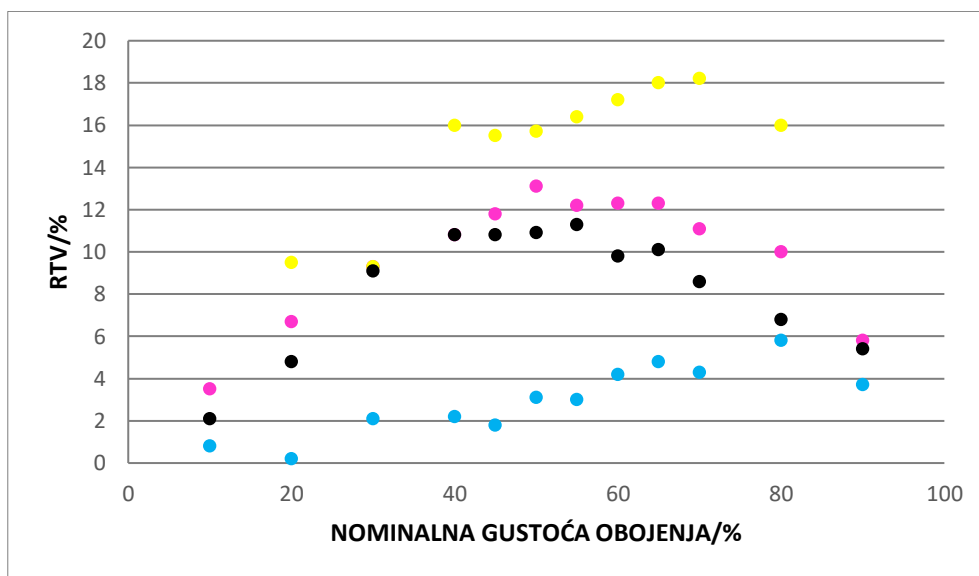
Slika 20. Grafički prikaz rezultata mjerenja provedenog korištenjem Yule-Nielsenovog algoritma za vrijednost parametra  $n=1,5$

Parametar  $n$  u sljedećem mjerenju povećan je na vrijednost 1.7. Kada te rezultate grafički prikažemo uočavamo kako je RTV za cijan relativno mala, dok žuta i dalje ima najveći RTV ali je i on smanjen u odnosu na protekla mjerenja.



Slika 21. Grafički prikaz rezultata mjerenja provedenog korištenjem Yule-Nielsenovog algoritma za vrijednost parametra  $n=1,7$

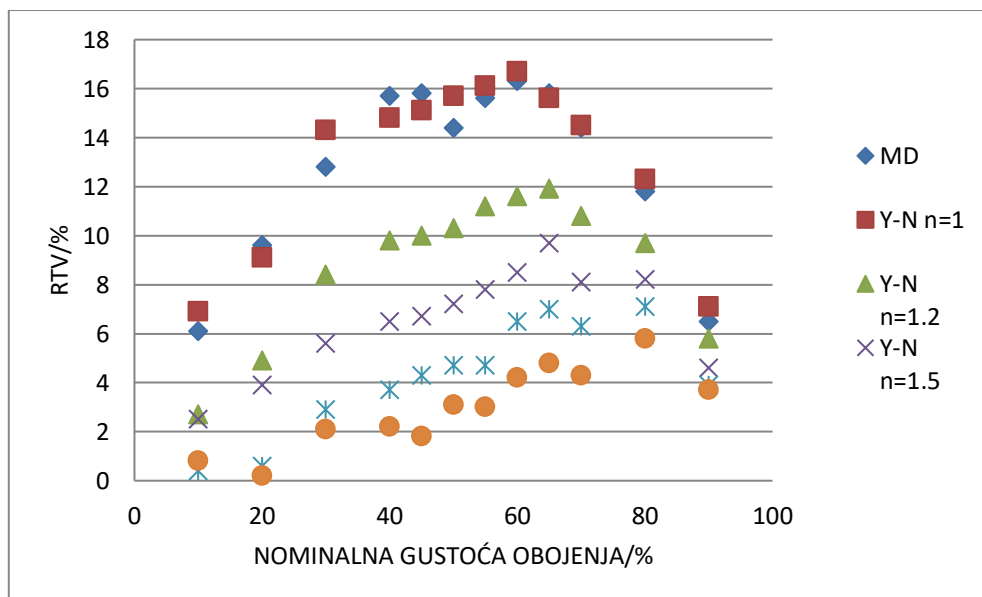
Za posljednje mjerenje uzeta je vrijednost 2 za parametar n. Iz grafičkog prikaza rezultata tog mjerenja uočavamo da najveći RTV ima žuta boja, zatim magenta, nakon nje crna te najmanji RTV postiže cyan boja.



Slika 22. Grafički prikaz rezultata mjerenja provedenog korištenjem Yule-Nielsenovog algoritma za vrijednost parametra  $n=2$

## 9. DISKUSIJA

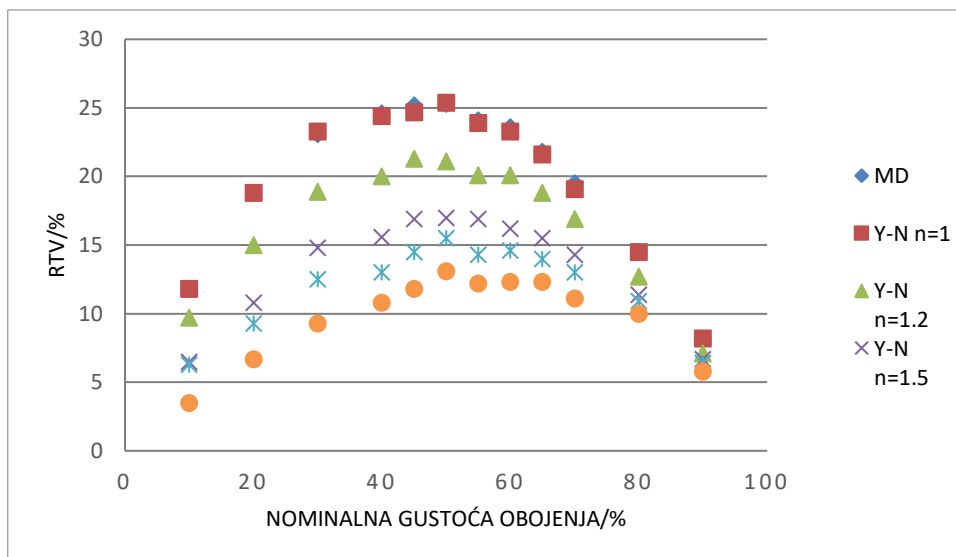
Grafički prikaz normalne gustoće obojenja svake boje s obzirom na parametar  $n$  potvrđuje pretpostavku na kojoj se temelji rad. Najveći RTV je kod rezultata koji su dobiveni mjerenjem kada je vrijednost parametra  $n$  jednaka 1 korištenjem Yule-Nielsenovog algoritma, odnosno dok je za mjerenje korišten Murray-Daviesov algoritam. Postupnim povećavanjem parametra  $n$  smanjuje se RTV. Iz toga zaključujemo kako su parametar  $n$  i RTV jako korelirani.



Slika 23. Grafički prikaz promjene RTV-a s promjenom vrijednosti parametra  $n$  za cyan

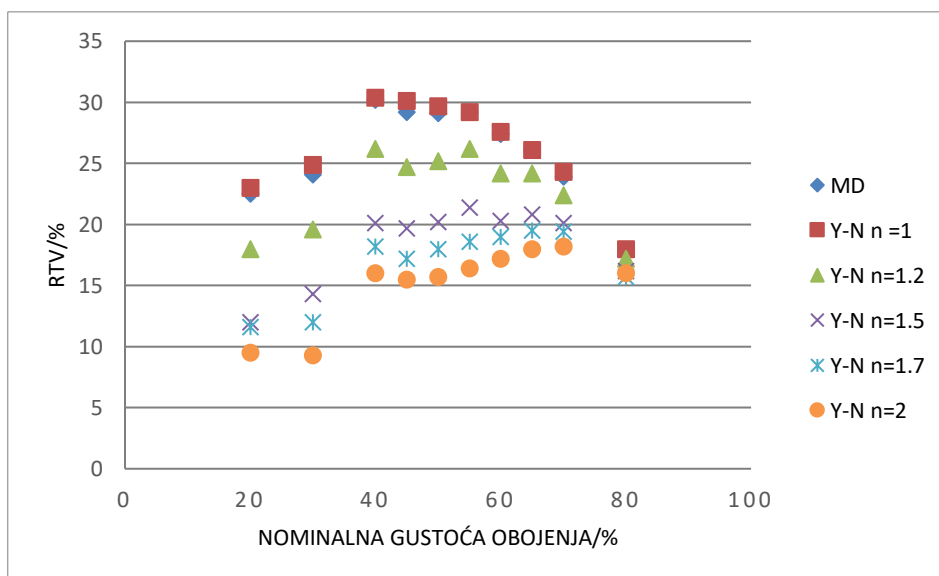
Iz grafičkog prikaza promjene RTV-a s promjenom vrijednosti parametra  $n$  za cyan uočavamo jako velika odstupanja kada je vrijednost parametra  $n$  jednaka 1, dok se povećavanjem parametra  $n$  smanjuju odstupanja. Tako je vidljivo da je pri 20% normalne gustoće obojenja te uz vrijednost parametra  $n=2$  gotovo nema odstupanja odnosno povećanog RTV-a.

Kod grafičkog prikaza promjene RTV-a s promjenom vrijednosti parametra  $n$  za magentu vidljivo je najveće odstupanje za srednje vrijednosti normalne gustoće obojenja. Za izrazito male i jako velike vrijednosti normalne gustoće obojenja povećavanjem parametra  $n$  odstupanja su relativno mala.



Slika 24. Grafički prikaz promjene RTV-a s promjenom vrijednosti parametra n za magentu

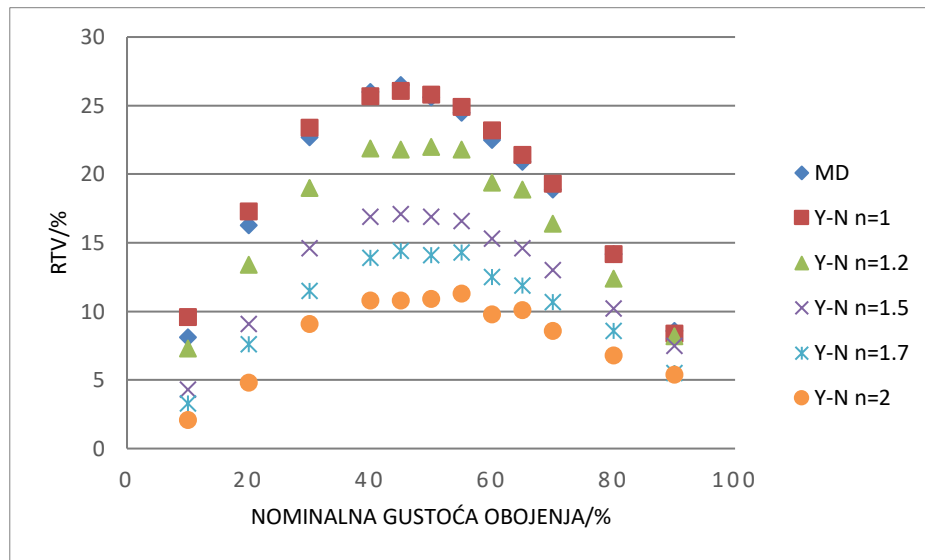
Rezultati mjerenja na žuto obojenim uzorcima daju relativno velik RTV, iako je on znatno manji s povećanjem parametra n, odstupanja su i dalje primjetno velika.



Slika 25. Grafički prikaz promjene RTV-a s promjenom vrijednosti parametra n za žutu

Promatranjem grafa koji prikazuje promjene RTV-a s promjenom vrijednosti parametra n za crno obojen uzorak možemo primijetiti kako srednje vrijednosti normalne gustoće obojenja pokazuju tendenciju rasta RTV-a iako je ona znatno manja porastom parametra n i dalje su

odstupanja veća nego kod vrijednosti za jako male i velike vrijednosti normalne gustoće obojenja.



Slika 26. Grafički prikaz promjene RTV-a s promjenom vrijednosti parametra n za crnu

## 10. ZAKLJUČAK

Reprodukcija boje uvelike ovisi o svojstvima tiskovne podloge, optičkim svojstvima bojila i njihovoj međusobnoj interakciji. Na kvalitetu grafičke reprodukcije utječe i interakcija svjetlosti i materije koja je u ovom slučaju izražena kao bočno raspršenje svjetlosti te se opisuje pomoću optičkog povećanja rasterskog elementa. Uslijed takve interakcije dolazi do promjene u ukupnoj reflektanciji rasterske slike i promijenjenom vizualnom doživljaju reproducirane boje.

Početni cilj mjerenja bio je napraviti usporedbu rezultata mjerenja dobivenih pomoću spektrofotometra s pretpostavkom da će se na temelju izvršenih mjerenja moći uočiti jasna razlika u rezultatima, odnosno pokazati problem Murray-Daviesovog modela koji za parametar  $n$  uzima vrijednost 1. Njegov model primjenjiv je na idealnim podlogama što u realnom svijetu nije ostvarivo zbog pojava koje se događaju interferencijom svjetlosti i materije. Yule-Nielsenov model uzima u obzir nesavršenost tiskovnih podloga u kojima se svjetlost difuzno raspršuje te je pretpostavka bila da će se pomoću njegovog algoritma dobiti točniji rezultati koji će vidno odstupati od rezultata dobivenih korištenjem Murray-Daviesovog algoritma.

Iz rezultata provedenog mjerenja može se potvrditi teorija da su dobivene vrijednosti izmjerene pomoću Murray-Daviesovog algoritma gotovo identične vrijednostima izmjeranima korištenjem Yule-Nielsenovog algoritma kada je vrijednost parametra  $n=1$ . Tako dobivene vrijednosti jako odstupaju od referentnih vrijednosti mjerene podloge. Prilikom promjene parametra  $n$  korištenjem Yule-Nielsenovog algoritma dobivene vrijednosti odstupaju od izmjerenih vrijednosti pomoću Murray-Daviesovog algoritma te se istovremeno približavaju referentnim vrijednostima mjenog otiska.

S obzirom da različiti algoritmi daju različite vrijednosti prirasta rastertonske vrijednosti nužno je približiti stvarno značenje izmjerenih vrijednosti krajnjim korisnicima spektrofotometrijskih uređaja.

## 11. LITERATURA

- [1] Džimbeg Malčić, Primjena Kubelka-Munk teorije i Yule-Nielsenovog efekta na tiskovnim podlogama, Doktorski rad, Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet, (2005.)
- [2] Džimbeg-Malčić, Skripta iz Fizike u grafičkoj tehnologiji (2016).
- [3] Itrić K., Application of the gradient method in the component separation of dot gain, Doktorski rad, Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet, (2016.)
- [4] Dubičanac Maja, Preddefinirane vrijednosti boja kod reprodukcije mora u elektrofotografiji, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet, (2014.)
- [5] Nezić Marko, Umetanje n-parametra u Yule-Nielsenov model kod rasterskog otiskivanja, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet, (2014.)
- [6] Galić Eduard, Kolorimetrija spotnih boja kod različitih postupaka lakiranja, Doktorski rad, Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet, (2017.)
- [7] Murray A., Monochrome reproduction in photoengraving, J Franklin Inst. 221, pp. 721-724, (1936).
- [8] Neugebauer H. E. J., Die theoretischen Grundlagen des Mehrfarbenbuchdrucks, Zeitschrift für wissenschaftliche Photographie, Photophysik und Photochemie 364, pp. 73–89, (1937.)
- [9] Yule J. A. C., Nielsen W. J., The penetration of light into paper and its effect on halftone reproduction, TAGA Proceedings, pp. 65–76, (1951.)
- [10] Modrić D., Scattering and Light Transport in Printing Substrates, Doktorski rad, Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet, (2009.)
- [11] [https://www.xrite.com/-/media/xrite/files/manuals\\_and\\_userguides/e/exact\\_user\\_guide\\_en.pdf](https://www.xrite.com/-/media/xrite/files/manuals_and_userguides/e/exact_user_guide_en.pdf), (2.3.2021.)



## 12. POPIS SLIKA

|  |    |
|--|----|
| Slika 1. Elektromagnetski spektar (Izvor: Poljičak Ante, Skripta Reprodukcijska slikovnih informacija, 2017.) .....  | 2  |
| Slika 2. Difuzna refleksija (Izvor: Itrić, Primjena gradijentne metoda u razdvajanju komponenti prisrasta rastertonske vrijednosti, 2016.) .....   | 4  |
| Slika 3. Mogućnost ishoda prijenosa svjetlosti u papiru. 1-1' direktna transmisija; 2-2' apsorpcija; 3-3' interna površinska refleksija; 4- površinska refleksija; 5-5' difuzna transmisija i 6-6' interna višestruka refleksija (Izvor: Itrić, Primjena gradijentne metoda u razdvajanju komponenti prisrasta rastertonske vrijednosti, 2016.) .....                              | 5  |
| Slika 4. Interakcija svjetlosti i podloge (Izvor: Džimbeg-Malčić, Skripta iz Fizike u grafičkoj tehnologiji, 2016.) .....  | 6  |
| Slika 5. Graf neprigušenog titranja (Izvor: <a href="https://edutorij.e-skole.hr/share/proxy/alfresco-noauth/edutorij/api/proxy-guest/a46bb23b-608e-45b5-b7f6-c952a83441fa/prisilno-i-priguseno-titranje.html">https://edutorij.e-skole.hr/share/proxy/alfresco-noauth/edutorij/api/proxy-guest/a46bb23b-608e-45b5-b7f6-c952a83441fa/prisilno-i-priguseno-titranje.html</a> )..... | 7  |
| Slika 6. Spektrofotometrijske krivulje reflektancije idealnih boja (Izvor: Poljičak Ante, Skripta Reprodukcijska slikovnih informacija, 2017.) .....   | 9  |
| Slika 7. Disperzija bijele svjetlosti na prizmi (Izvor: <a href="https://edutorij.e-skole.hr">https://edutorij.e-skole.hr</a> ) .....  | 11 |
| Slika 8. Ovisnost indeksa loma o frekvenciji (Izvor: <a href="https://slideplayer.gr/">https://slideplayer.gr/</a> ).....  | 12 |
| Slika 9. Prikaz harmonijskog oscilatora (Izvor: <a href="https://mapmf.pmfst.unist.hr/~pero/of3/vjezbe/HO_PS.pdf">https://mapmf.pmfst.unist.hr/~pero/of3/vjezbe/HO_PS.pdf</a> ) .....  | 13 |
| Slika 10. Pretpostavljeni put svjetlosti prema Murray-Daveisovom modelu (Izvor: Džimbeg Malčić, Primjena Kubelka-Munk teorije i Yule-Nielsenovog efekta na tiskovnim podlogama, 2005.).....  | 15 |
| Slika 11. Pretpostavljeni put svjetlosti prema Yule-Nielsenovom modelu (Izvor: Džimbeg Malčić, Primjena Kubelka-Munk teorije i Yule-Nielsenovog efekta na tiskovnim podlogama, 2005.).....   | 16 |
| Slika 12. Bočno raspršenje koje je uzrokovalo optičko povećanje veličine rasterskog elementa (Izvor: Džimbeg Malčić, Primjena Kubelka-Munk teorije i Yule-Nielsenovog efekta na tiskovnim podlogama, 2005.).....   | 18 |
| Slika 13. Mogućnosti puta koji prijeđe foton u papiru (Izvor: Džimbeg Malčić, Primjena Kubelka-Munk teorije i Yule-Nielsenovog efekta na tiskovnim podlogama, 2005.) .....   | 19 |
| Slika 14. Mogući ishodi putova koje foton može prijeći u papiru otisnutom rasterskim elementom: A-površinska refleksija, B-foton apsorbiran slojem bojila, C-foton reflektiran sa  |    |

|   |    |
|---|----|
| sloja bojila, D-unutrašnja refleksija, E- putanja fotona koja uzrokuje optičko povećanje rasterskog elementa, F,G,H,I-putanje uzrokovane bojilom s malim koeficijentom apsorpcije (Izvor: Džimbeg Malčić, Primjena Kubelka-Munk teorije i Yule-Nielsenovog efekta na tiskovnim podlogama, 2005.)..... | 20 |
| Slika 15. Testni uzorci.....  | 24 |
| Slika 16. Spektrofotometar X-Rite eXact (Izvor: <a href="https://www.xrite.com/categories/portable-spectrophotometers/exact-family">https://www.xrite.com/categories/portable-spectrophotometers/exact-family</a> ).....  | 25 |
| Slika 17. Grafički prikaz rezultata mjerenja provedenog korištenjem Murray-Daviesovog algoritma.....  | 26 |
| Slika 18. Grafički prikaz rezultata mjerenja provedenog korištenjem Yule-Nielsenovog algoritma za vrijednost parametra $n=1$ .....  | 27 |
| Slika 19. Grafički prikaz rezultata mjerenja provedenog korištenjem Yule-Nielsenovog algoritma za vrijednost parametra $n=1,2$ .....  | 27 |
| Slika 20. Grafički prikaz rezultata mjerenja provedenog korištenjem Yule-Nielsenovog algoritma za vrijednost parametra $n=1,5$ .....  | 28 |
| Slika 21. Grafički prikaz rezultata mjerenja provedenog korištenjem Yule-Nielsenovog algoritma za vrijednost parametra $n=1,7$ .....  | 28 |
| Slika 22. Grafički prikaz rezultata mjerenja provedenog korištenjem Yule-Nielsenovog algoritma za vrijednost parametra $n=2$ .....  | 29 |
| Slika 23. Grafički prikaz promjene RTV-a s promjenom vrijednosti parametra $n$ za cyan .....  | 30 |
| Slika 24. Grafički prikaz promjene RTV-a s promjenom vrijednosti parametra $n$ za magentu.....  | 31 |
| Slika 25. Grafički prikaz promjene RTV-a s promjenom vrijednosti parametra $n$ za žutu.....   | 31 |
| Slika 26. Grafički prikaz promjene RTV-a s promjenom vrijednosti parametra $n$ za crnu .....  | 32 |