

# Umetanje n-parametra u Yule-Nielsenov model kod rasterskog otiskivanja

---

Nezić, Marko

Undergraduate thesis / Završni rad

2014

*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:216:391608>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-12**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Graphic Arts Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GRAFIČKI FAKULTET**

**ZAVRŠNI RAD**

**MARKO NEZIĆ**

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GRAFIČKI FAKULTET**

**ZAVRŠNI RAD**

**UMETANJE N-PARAMETRA U  
YULE-NIELSENOV MODEL KOD  
RASTERSKOG OTISKIVANJA**

**Mentor:**  
**Doc.dr.sc. Igor Zjakić**

**Student:**  
**Marko Nezić**

**Zagreb, 2014**

Riješenje o odobrenju teme završnog rada

## SAŽETAK

U procesu tiska se gotovo uvijek javlja prirast rastertonskih vrijednosti. On se može definirati kao odstupanje od idealne (definirane) veličine rasterskog elementa. Prirast rastertonskih vrijednosti se javlja zbog više faktora. Zbog toga se odmah javlja i više vrsta prirasta, točnije to su mehanički i optički prirast rastertonskih vrijednosti.

Kako bi otisnuti rasterski elementi bili što točniji reproducirani, prirast rastertonskih vrijednosti se mora uzeti isto u obzir. Točnije, moraju se napraviti kvantitativni modeli koji objašnjavaju taj prirast.

Murray-Daviesov model je prvi takav model koji objašnjava reprodukciju tona u procesu rastriranja. Taj model predstavlja model koji ima pretpostavku refleksije kao jedine pojave, a raspršenje svjetlosti je jedan od glavnih razloga netočnosti Murray-Daviesovog modela. Kako bi se ta netočnost kompenzirala uvedena je Yule-Nielsonova korekcija. Parametar  $n$  koji empirijski objašnjava raspršenje svjetlosti kao drugog najvećeg faktora. Ako za parametar  $n$  pretpostavimo interval  $1 \leq n \leq 2$ , to znači da model vrijedi u rasponu kada uopće nema raspršenja ( $n=1$ , Murray-Daviesov model) do potpunog raspršenja svjetlosti ( $n=2$ , Yule-Nielsonov model) u podlozi. [1]

U ovom završnom radu su se mjerile prirasti rastertonskih vrijednosti u tim graničnim slučajevima kada je  $n=1$  i  $n=2$ . Iz toga se moglo zaključiti koja vrsta rasterskih elemenata (AM i FM raster) otisnutih na točno određenim papirima više reflektira ili raspršuje svjetlost.

## KLJUČNE RIJEČI

Prirast rastertonske vrijednosti, amplitudno moduliran, frekventno moduliran, Murray-Daviesov model, Yule-Nielsonova korekcija

## **SADRŽAJ**

### TEORETSKI DIO

UVOD . . . . .	6
POVIJESNA POZADINA . . . . .	6
RASTERSKA REPRODUKCIJA . . . . .	6
VRSTA RASTRIRANJA . . . . .	9
Amplitudna modulacija . . . . .	10
Frekventna modulacija . . . . .	11
Hibridni raster . . . . .	13
Raster s modulacijom obojenja . . . . .	13
VRSTE DEFORMACIJA RASTERSKIH ELEMENATA . . . . .	14
Geometrijska deformacija . . . . .	14
Optička deformacija . . . . .	15
MURRAY-DAVIESOV MODEL . . . . .	16
YULE-NIELSENOVA KOREKCIJA . . . . .	17
<u>EKSPERIMENTALNI DIO</u>	
KORIŠTENE METODE . . . . .	23
REZULTATI I RASPRAVA . . . . .	25
AM raster na voluminoznom papiru . . . . .	25
FM raster na voluminoznom papiru . . . . .	27
AM raster na bezdrvnom nepremazanom papiru . . . . .	29
FM raster na bezdrvnom nepremazanom papiru . . . . .	31
AM raster na bezdrvnom premazanom papiru . . . . .	33
FM raster na bezdrvnom premazanom papiru . . . . .	35
ZAKLJUČCI . . . . .	37
LITERATURA . . . . .	38

## **TEORETSKI DIO**

### **UVOD**

Zajednički problem u tiskarskoj industriji danas je optički *prirast rasterskog elementa* uzokovan bočnim raspršenjem svjetlosti na tiskovnoj podlozi. Taj fenomen se još naziva i Yule-Nielsenov efekt ili parametar  $n$ . Zbog tog efekta, elementi rasterske slike, izgledaju veće i slika je tamnija od originala. Budući da se u modernim tiskarskim strojevima visoke rezolucije veličina rasterskih elemenata sve više smanjuje, taj efekt postaje sve značajniji [1].

### **POVIJESNA POZADINA**

Od četiri tehnološka pronalaska, koji se u većini slučajeva uzimaju najvažnijim faktorima utjecaja na današnju suvremenu civilizaciju (barut, kompas, papir i tisak). Pronalasci papira i tiska jedni su od prijelomnih trenutaka u razvoju i širenju ljudske misli, kulture i civilizacije [1].

Kako se količina otisnutih informacija sve više povećavala (pogotovo nakon izuma fotografije) pojavila se želja za kvalitetnijom reprodukcijom. Međutim, nije postojao način reprodukcije većeg broja polutonova. Sve do 1881. godine kada je njemac Georg Meisenbach izumio način za višetonsku reprodukciju, čije se osnove koriste i danas [2].

Osnovni princip je ostao isti no danas osim promjene veličine rasterskog elementa omogućena je i promjena razmaka kao i promjena oblika rasterskog elementa [2].

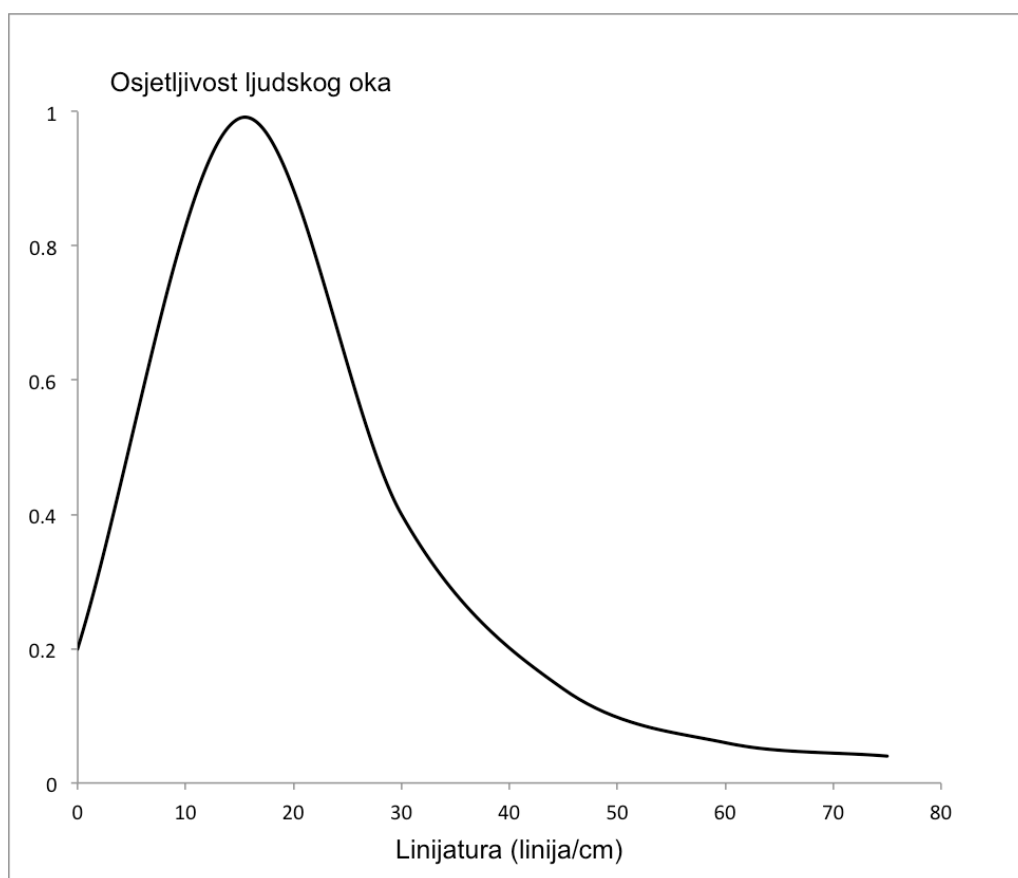
### **RASTERSKA REPRODUKCIJA**

Može se reći da je raster sredstvo kojim se obavlja rastriranje, a kao produkt rastriranja dobiva se rasterski element [2].

Suvremena grafička proizvodnja uglavnom je zasnovana na rasterskoj reprodukciji. Što podrazumijeva proces pretvaranja nekog višetonskog originala u niz rasterskih elemenata [1].

Pretvaranje višetonskog originala u niz rasterskih elemenata (rastriranje) provodi se i klasičnim i digitalnim tehnikama. Crno bijela fotografija može se sastojati od stotine različitih tonova sivog, fotografija u boji i od tri milijuna različitih nijansi boja, a reproducira se pomoću samo jednog grafičkog bojila (jednobojni tisak) ili pomoću četiri bojila iz osnovne skale CMYK (tisak u boji) [1].

Znači, da bi se mogli reproducirati međutonovi slika je razbijena u sitne elemente koje ljudsko oko, na određenoj udaljenosti, ne može razlučiti [1].

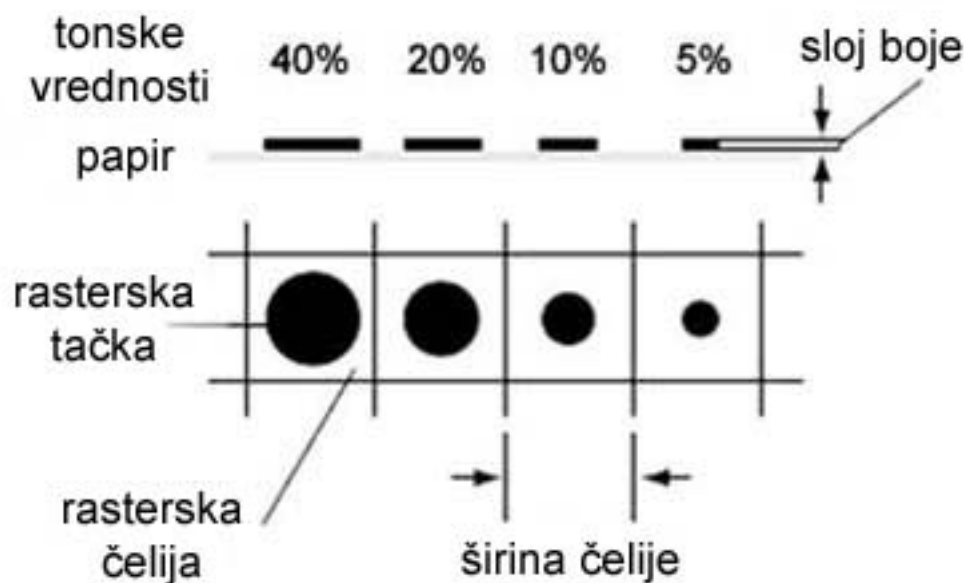


Slika 1 - Osjetljivost ljudskog oka u odnosu na linijaturu rastera. [1]

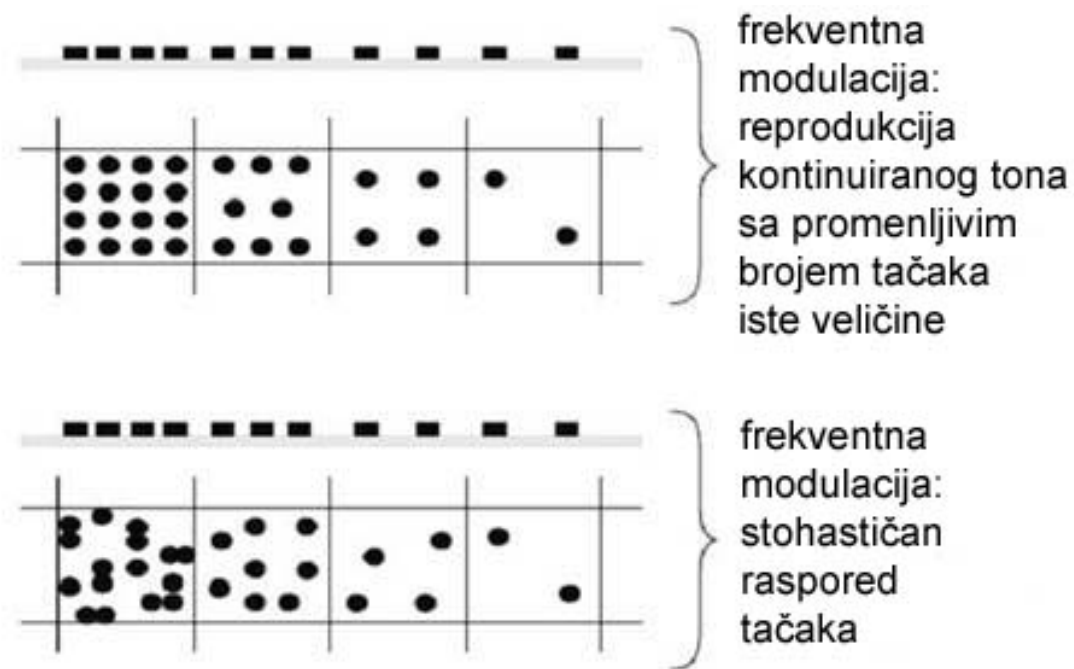


Jasnoća, odnosno oštrina detalja višetonske reprodukcije je povezana sa finoćom rastera. Većom finoćom rastera rasterski elementi postaju sve manji i sve teže vidljivi. Pri rastriranju amplitudnom modulacijom, za linijature veće od 60 linija/cm rasterski elementi nisu vidljivi na normalnoj udaljenosti (25 cm) stvaranja oštre slike ljudskog oka. Uslijed tromosti oka i nemogućnosti razlučivanja pojedinih rasterskih elemenata dolazi do stapanja u određenu nijansu boje [1].

Ako se veličina rasterskog elementa označava s postotkom pokrivenosti jedinične podloge, onda se ti postotci označavaju kao rastertonske vrijednosti, RTV, ili F (prema *fractional area of the image covered by halftone dots*). Tako će npr. 20% RTV-a označavati takvu veličinu rasterskih elemenata da njihova podloga zauzima svega 20% jedinične podloge [1].



Slika 2 - Reprodukcijska reprodukcija kontinuiranog tona AM rasterom [7].



Slika 3 - Reprodukcija kontinuiranog tona FM rasterom [7].

### VRSTA RASTIRANJA [3]

Teoretski, rasterski element pravilnog je oblika. Ako posmatramo okrugli rasterski element, intenzitet reflektirane svetlosti defniran je veličinom i pokrivenošću bojilom samog rasterskog elementa. U praksi, pokrivenost i oblik rasterskog elementa ovise o tehnici tiska, tiskovnoj podlogi, bojilu, itd. Dakle, doživljaj različitih tonaliteta koje oko percipira refleksijom s rastrirane površine uslovljen je nizom različitih elemenata koji mogu utjecati na doživljaj. Konačna reprodukcija bazirana na rastriranju ovisi i o prethodnim fazama nastajanja rasterskog elementa kao što je izrada filma i izrada tiskovne forme.

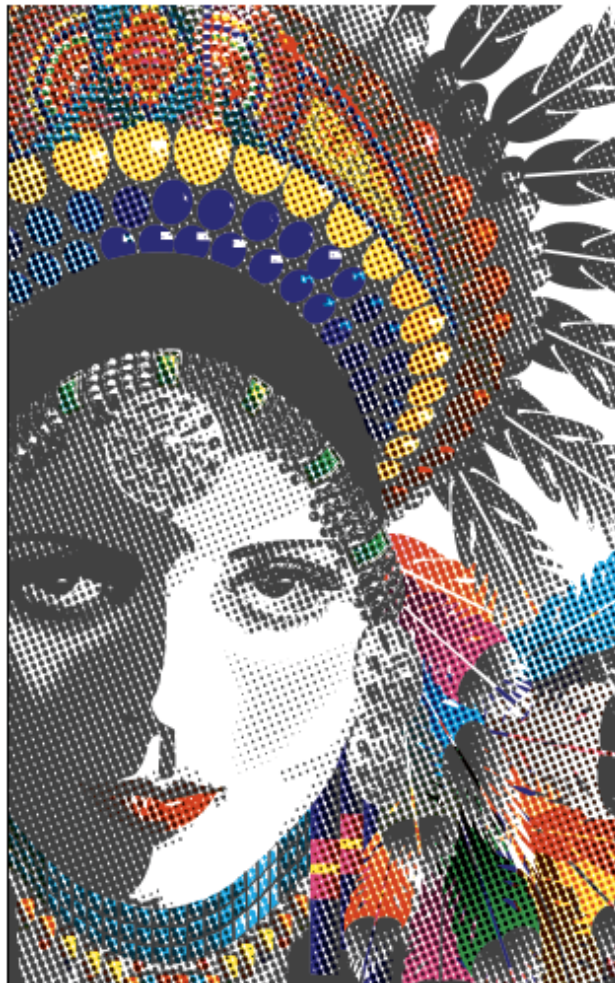
Doživljaj tonaliteta definiran je s određenim karakteristikama rastera. Intenzitet doživljaja tonaliteta ovisi o interakciji podloge s rasterom, bojila s rasterom, itd. Zbog toga se pojavila potreba za različitim vrstama rastriranja kako bi se pravilnim odabirom rastera povećala kvaliteta grafičke reprodukcije.

Klasificiranje rastera po vrsti dijeli se na dvije osnovne skupine:

- Amplitudno modulirani (klasični raster – AM)
- Frekventno modulirani (stohastički raster – FM)

Pored osnovnih skupina postoje i podskupine rastera koje su hibridi različitih vrsta rastera i oblika rasterskih elemenata te rasteri s modulacijom obojenja.

### **Amplitudna modulacija [3]**



*Slika 4 - Primjer amplitudno modeliranog rastera [6].*

Kad se govori o amplitudno moduliranom rasteru (AM) doživljaj različitih tonaliteta uvjetovan je promjenom veličine rasterskog elementa. Razmak između rasterskih elemenata uvijek je konstantan. Bitno je napomenuti da je

karakteristika konstantnosti razmaka između rasterskih elemenata neovisna o obliku rasterskog elementa.

Ako se posmatra okrugli rasterski element, rasterska “tačkica” kod amplitudno moduliranog rastera pokriva dio površine elementarnog kvadrata kojeg čine četiri rasterska elementa.

Korištenje amplitudno moduliranog rastera u grafičkoj proizvodnji vrlo je rasprostranjeno. Razlog za to je vrlo kvalitetna mogućnost reproduciranja skoro cijelog raspona rastertonskih vrijednosti.

Upotreba ovakvog rastera pokazala se manjkava prilikom reproduciranja sitnih detalja. Ovo ograničenje uslovljeno je veličinom rasterskih elemenata koji variraju ovisno o pokrivenosti površine. Veličina rasterskog elementa najčešći je uzrok smanjene mogućnosti reprodukcije finih detalja kod velikih rastertonskih vrijednosti.

### **Frekventna modulacija**

Pri tom tipu rastriranja individualni elementi imaju iste promjere, odnosno podloge, ali se mijenja njihova međusobna udaljenost, tj. frekvencija pojavljivanja u rasterskom polju (ne periodičko rastriranje). Frekventno moduliranih rastera se najčešće upotrebljavaju kod otiskivanja digitalnim tehnikama, dok klasične tiskarske tehnike više prakticiraju upotrebu amplitudno moduliranih rastera. Prednost frekventno moduliranih rastera je vidljiva u reprodukciji sitnih detalja gdje daju puno bolje rezultate od amplitudno moduliranih rastera. Na slici 30 a i b je dan fizikalni opis amplitudno i frekventno moduliranog raster [1].



Slika 5 - Primjer frekventno modeliranog rastera [6].

Za razliku od amplitudno moduliranog rastera, osjećaj tonaliteta kod frekventno moduliranog rastera (FM) dobiva se različitim udaljenostima među rasterskim elementima dok je veličina rasterskog elementa konstantna [3].

Finoća rastera nije definirana veličinom elementarnog kvadrata, već veličinom rasterskog elementa. Veličine rasterskih elemeneta definiraju se u mikronima [3].

Karakteristika frekventno moduliranog rastera je mogućnost vrlo kvalitetnog reproduciranja sitnih detalja. Međutim, FM rasteri rjeđe se koriste kod reproduciranja motiva koji se sastoje od jednoličnih površina. Razlog tome je mogućnost pojavljivanja "brazdi" na otisku koje u stvarnosti ne postoje, već se događaju kao optička varka koja nastaje uslijed tromosti oka. Drugi problem kod

korištenja frekventno modulisanog rastera je pojava prirasta rastertonske vrijednosti (RTV) koja je skoro uvijek veća kod rastera s manjim rasterskim elementima. Korištenje FM rastera u grafičkoj proizvodnji najčešće je kod izrade visokokvalitetnih proizvoda i kada se tisak obavlja na visokokvalitetnim tiskovnim podlogama [3].

Vrlo veliku primjenu FM sistem rastriranja ima i kod tiska zaštićenih vrijednosnih papira gdje položaj rasterskih elemenata mora biti strogo definiran. Finoća FM rastera najčešće se kraće od 20 do 40  $\mu$  [3].

### **Hibridni raster [3]**

Kada se govori o hibridnim rasterima, onda se misli na rastere koji su sastavljeni od elemenata amplitudno i frekventno moduliranih raster.

Takvi rasteri imaju određene prednosti s obzirom na mogućnosti reprodukcije tonaliteta. U novije vrijeme proizvođači uređaja za rastriranje stvorili su mnoge algoritme koji s hibridnim rasterima omogućuju reprodukciju malih i velikih RTV upotrebom FM rastera, dok su srednji tonovi reproducirani uz pomoć AM rastera. Naravno prijelaz s jedne vrste rastera na drugu kreće se u određenom rasponu RTV.

Pored navedenih mogućnosti, rasterski elementi u takvim rasterima mogu biti i različitih oblika, kao npr.: trokut, četverokut, linija, sinusoida i sl.

### **Raster s modulacijom obojenja [3]**

Svi prethodno navedeni rasteri različit doživljaj tonaliteta omogućavaju promjenom veličine i položaja rasterskih elemenata. Obojenje svih navedenih elemenata je nepromijenjivo (uvjetovano gustoćom obojenja u tisku).

Međutim, postoje tehnike štampe u kojima je doživljaj gustoće bojenja uslovljen različitim obojenjem pojedinačnih rasterskih elemenata. Ovakvo rastriranje modulacijom obojenja moguće je npr. kod tehnike bakrotiska ili nekih digitalnih

tehnika kao što su npr. ink jet ili elektrofotografija. Kod ove vrste rastriranja moguće je mijenjati i veličinu rasterskih elemenata.

### **VRSTE DEFORMACIJA RASTERSKIH ELEMENATA [3]**

Deformacije rasterskih elemenata dijele se na dvije vrste i to na:

- Geometrijsku deformaciju
- Optičku deformaciju

Uzroci deformacije rasterskih elemenata mogu biti različiti. Jedan od glavnih uzroka deformacije su sile pritiska između valjka, cilindara i bubnjeva. Količina bojila koja se nalazi na rasterskom elementu nije ista kroz cijelo trajanje tiska. Uzrok takvoj nestalnosti niz je različitih parametara koji se javljaju u toku proizvodnje uslijed promjena temperature, vlage, kemijskih karakteristika bojila i otopine za vlaženje, adhezijskih i kohezijskih sila bojila i tiskovne podloge, itd.

#### **Geometrijska deformacija [3]**

Geometrijska deformacija rasterskih elemenata nastaje uslijed mehaničkih djelovanja na rasterski element za vrijeme i nakon tiska, a najčešće se događa uslijed:

- Smicanja
- Dubliranja
- Razmazivanja

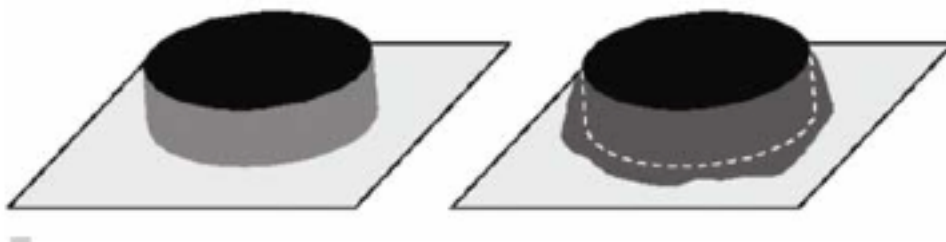
Smicanje je deformacija rasterskog elementa kod koje rasterski element postane izdužen u jednom od smjerova. Karakteristika tako deformiranog rasterskog elementa je da je izduženje rasterskog elementa (u smjeru tiska) optički vrlo slične gustoće obojenja kao teoretska veličina rasterskog elementa. Uslov nastajanja deformacije rasterskog elementa uslijed smicanja najčešće je različita obodna brzina temeljnog, ofsetnog i tiskovnog cilindra koja može nastati uslijed istrošenosti i nepravilnog postavljanja ofsetne gume ili radi tehničkih neispravnog stroja.

Dubliranje rasterskog elementa najčešće se događa uslijed dodira cilindra kada je gumena navlaka nedovoljno nategnuta ili kada su nepravilne vrijednosti debljine podloge ispod gumene navlake. Vrlo česta pojava dubliranja događa se prilikom obostranog tiska kada dio bojila ostaje na tiskovnom cilindru prvog tiskarskog agregata te se nakon okreta arka taj dio tiska na poleđinu.

Razmazivanje rasterskog elementa najčešće se ne događa u procesu tiska, već nakon otiskivanja ukoliko dođe do struganja nekih dijelova stroja ili nekih drugih faktora. Može se dogoditi na onim mjestima na stroju na kojima dolazi svježe otisnuti arak u mehanički dodir sa strojem. Razmazivanje se može dogoditi i prilikom višebojnog tiska kad je količina ukupnog bojila na tiskovnoj podlozi tolika da se, prilikom tiska slijedeće boje, rasterski element razmazuje zbog zadržavanja na površini materijala uslijed pritiska cilindra nadolazećih boja. Ovakva pojava je česta u tisku na neupojne podloge.

### **Optička deformacija [3]**

Uslijed prolaska svjetlosti kroz tiskovnu podlogu, dio svjetlosti se vraća kao reflektirana do unutrašnjih slojeva tiskovne podloge, što se manifestira kao optička deformacija poznatija pod nazivom halo efekt. Rezultat takve refleksije svjetlosti je doživljaj proširenja rasterskog elementa.



*Slika 6 - Uvećani prikaz idealnog okruglog i realnog rasterskog elementa [5].*

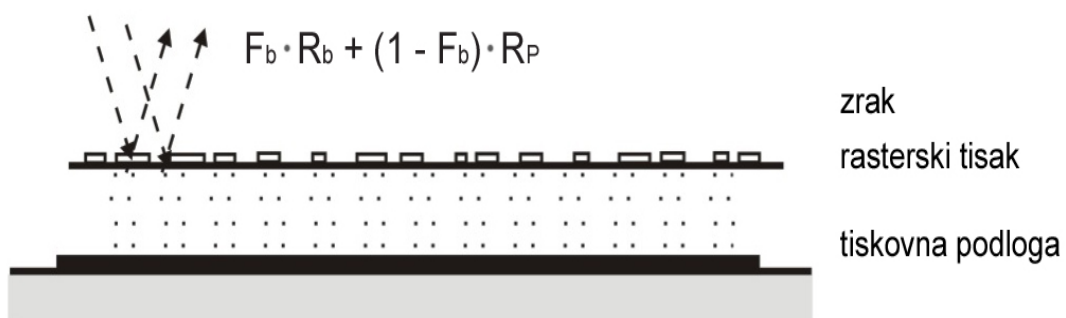
Odnos upadne svjetlosti i njene refleksije ovisi o parametrima koji uzrokuju refleksiju i apsorpciju na tiskovnoj podlozi.



Bez obzira koja se od nevedenih vrsta deformacija rasterskih elementa pojavi u procesu tiska, krajnji rezultat je smanjenje kvalitete grafičkog proizvoda. Zbog toga je vrlo bitno ustanoviti deformacije kako bi se iste kvalitetno mogle predvidjeti prilikom izrade proizvoda. Takvim predviđanjem deformacije je moguće djelomično smanjiti pravilnim kabriranjem i karakteriziranjem proizvodnog sistema posebno definiranim ICC profilima.

## MURRAY-DAVIESOV MODEL [1]

Murray-Daviesova jednačba je prvi optički model koji opisuje reprodukciju tona u procesu rastriranja. Taj model je direktna primjena zakona sačuvanja energije fotona i predstavlja model koji predviđa monokromatski rasterski tisak. U svom originalnom obliku predviđa dio podloge pokriven bojom  $F_{bt}$  (slika 7) preko vrijednosti optičke gustoće rastera  $D$ .



Slika 7 - put svjetlosti prema Murray-Daviesovom modelu.

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

gdje je  $R_{\lambda t}$  teoretska (procijenjena) spektralna refleksija,  $R_b$  je spektralna refleksija 100% obojene podloge, a  $R_p$  je spektralna refleksija neobojenog dijela, dakle čiste podloge. Rješavajući jednačbu za  $F_b$  umjesto procijenjene vrijednosti  $R_{\lambda t}$  uvrstimo mjerenu refleksiju  $R_{\lambda m}$ , te dobijemo za teoretsku (procijenjenu) vrijednost pokrivenog dijela podloge  $F_{bt}$ :

$$F_{bt} = \left( \frac{R_{\lambda m} - R_p}{R_b - R_p} \right) \quad \text{ili} \quad F_{bt} = \frac{1 - 10^{-D}}{1 - 10^{-D_b}} \quad (2)$$

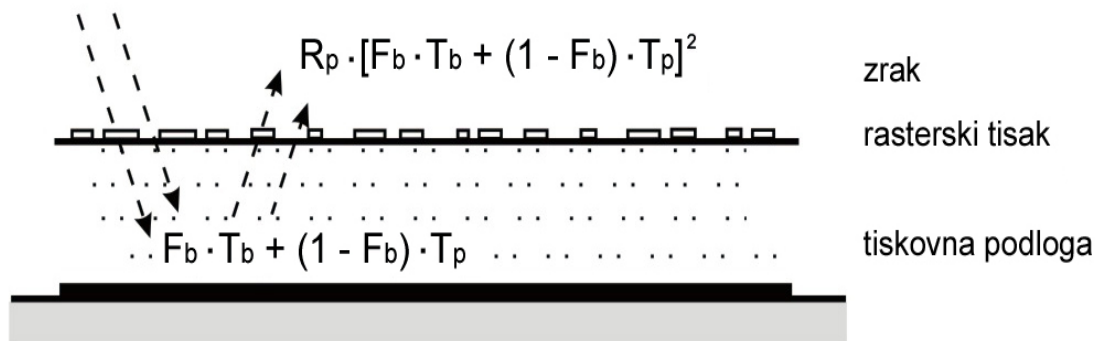
zato jer je  $D = -\log_{10} \left( \frac{R_{\lambda m}}{R_p} \right) \quad (3)$

i  $D_b = -\log_{10} \left( \frac{R_b}{R_p} \right) \quad (4)$

$D_b$  je normalizirana gustoća monokromatskog bojila otisnutog tako da pokriva cijelu podlogu. Izraz pokazuje vezu između normaliziranih gustoća i spektra refleksije. Murray-Davies jednadžba pretpostavlja jednoliko obojene podloge i idealnu i jednoliku podlogu. Pod tim uvjetima ta jednadžba se može promatrati kao linearna interpolacija između refleksije podloge i refleksije otisnutog bojila. To je elementarni fizikalni pristup koji zanemaruje mnoge popratne pojave kao što su Fresnelova refleksija i raspršenje svjetlosti.

### YULE-NIELSENOVA KOREKCIJA [1]

Raspršenje svjetlosti jedno je od glavnih razloga netočnosti Murrav-Daviesove jednadžbe. Kao što se vidi na slici dolje, elementarno usklađivanje, nazvano Yule-Nielsenova korekcija se predlaže za tiskane podloge na kojima i u kojima se svjetlost difuzno raspršuje. Zanemarujući Fresnelovu refleksiju na



Slika 8 – put svjetlosti prema Yule-Nielsenovom modelu.

tiskanoj podlozi, transmitirana svjetlost koja prolazi podlogom je djelomično apsorbirana homogenim filtrom. Primjenjujući Murrav-Davies jednadžbu, spektralna transmisija  $T_{\lambda t}$  je:

$$T_{\lambda t} = F_b \cdot T_b + (1 - F_b) \cdot T_p \quad (5)$$

gdje je  $T_p$  transmisija neobojene podloge i ona je obično jednaka 1.  $T_b$  je transmisija sloja bojila prema Lambertovom zakonu:

$$R_b = T_b \cdot R_p \cdot T_b \Rightarrow T_b = \sqrt{\frac{R_b}{R_p}} \quad (6)$$

pretpostavljajući da svjetlost prolazi dva puta kroz sloj bojila. Povećavajući difuznu duljinu koju prevaljuje svjetlost, ulazna zraka može biti potpuno raspršena, tj. vjerojatnost da ona izađe kroz obojeni ili neobojeni dio podloge neovisna je o ulaznoj poziciji, a bit će proporcionalna sa pokrivenosti podloge  $F_b$ . Dakle, ulazno zračenje je difuzno reflektirano zbog unutarnje refleksije  $R_p$  i ponovo apsorbirano sa faktorom  $T_{\lambda t}$ :

$$R_{\lambda t} = R_p \cdot [F_b \cdot T_b + (1 - F_b)]^2 \Rightarrow R_{\lambda t} = [F_b \cdot \sqrt{R_b} + (1 - F_b) \cdot \sqrt{R_p}]^2 \quad (7)$$

$$\text{uz } T_p=1 \quad \text{i} \quad R_b=R_p T_b^2 \quad (8)$$

Da poboljšaju slaganje teorijskih vrijednosti refleksija s eksperimentalnim rezultatima Yule i Nielsen pišu svoju jednadžbu u općenitijem obliku, uvodeći promjenljivi parametar  $n$ , zvan *n-vrijednost*, kao eksponent u jednadžbu:

$$R_{\lambda t} = [F_b \cdot \sqrt[n]{R_b} + (1 - F_b) \cdot \sqrt[n]{R_p}]^n \quad (9)$$

S fizikalne točke gledišta, ako za *n-vrijednost* pretpostavimo interval  $1 \leq n \leq 2$ , znači da jednađžba vrijedi u rasponu kada uopće nema raspršenja ( $n=1$ , Murrav-Davies) do potpunog raspršenja svjetlosti ( $n=2$ ) u podlozi. Ipak, eksperimentalni rezultati pokazuju bolja slaganja između mjerenih i teorijskih vrijednosti za *n-vrijednost* veću od 2, što predstavlja dodatnu korekciju za popratne pojave koje nisu bile uzete u obzir u jednađžbi gore, kao što su promjena u gustoći elementa ili unutarnje refleksije.

Slika dobivena na tiskovnoj podlozi procesom rastriranja je naročito pod utjecajem raspršenja svjetlosti. Svjetlost koja dolazi na neotisnuto područje između otisnutih točaka raspršuje se unutar podloge i pojavljuje se ispod obojenog dijela i obratno. To stvara efekt koji se zove optički prirast elementa. Posljedica tog efekta je svjetlija obojenost elementa, dok se bijela okolina podloge oko elementa doimlje tamnijom (slika 9). Budući da se u modernim pisačima visoke rezolucije veličina točaka sve više smanjuje, taj efekt postaje sve značajniji.

Slijedeći faktor koji djeluje na kvalitetu tiska je promjena u veličini i obliku tiskanih točaka. Porastom rezolucije mogućnost pisača da pouzdano reproduciraju izolirane rasterske elemente je ograničena, tako da njihovo iskrivljenje tijekom tiska ima važan utjecaj na dobivenu sliku. Ta promjena oblika zove se fizikalni prirast elementa.



*Slika 9 - Optički prirast rasterske vrijednosti uslijed bočnog raspršenja [5].*

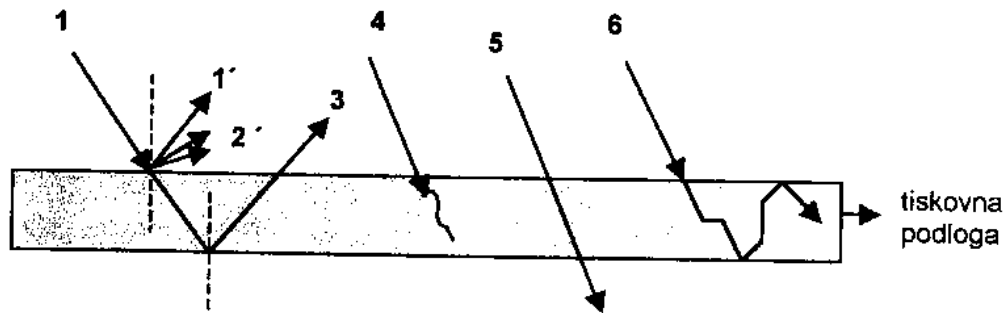
Zanimljivo svojstvo Yule - Nielsenove jednačbe je da veza između gustoće obojenja,  $D = -\log R$ , i  $F$  postaje linearna kako  $n$  teži beskonačnosti, tj. ona prelazi u Beer-Lambertov zakon. Iz toga možemo zaključiti, da Yule - Nielsenova jednačba, koja je dobivena empirijski, ipak odražava neka fundamentalna ponašanja sustava papir-bojilo. Ipak, dvije pojave idu u prilog stava da taj izraz nije fundamentalno točan teorijski izraz.

#### Prva pojava

Eksperimentalno je dobro poznata činjenica je da je nelinearnost između ukupne refleksije rasterske slike  $R$  i rasterske vrijednosti  $F$  uzrokovana raspršenjem svjetlosti (slika 11) unutar rasterske slike.  $n$ -faktor je funkcija frekvencije rastera i raznih optičkih svojstava sustava bojilo-papir. Iako su bili učinjeni mnogi pokušaji da se Yule-Nielsenova jednačba izvede iz osnovnih fizikalnih principa, to nije bilo moguće bez uvođenja specijalnih pretpostavki.

#### Druga pojava

Murray-Daviesova jednačba je u biti zakon očuvanja energije, u ovom slučaju zakon očuvanja energije fotona. Vrijednosti refleksija su linearno povezane s tokom fotona s podloge slike i očekujemo da će se refleksije zbrojiti. Yule-Nielsenova jednačba zbraja refleksije i tok fotona na neku potenciju što je u suprotnosti sa zakonom očuvanja. Da bi se sačuvala linearnost zbrajanja refleksija, ali da bi se uzele u obzir i eksperimentalne činjenice, pretpostavlja se da  $R_b$  i  $R_p$  nisu konstante već da su neke funkcije od  $F$ .



Slika 10–Moguće putanje fotona u zamućenom sredstvu (papiru)

Interakcija svjetlosti i tiskovne podloge (papira): 1 - upadna zraka svjetlosti, površinska refleksija 1'- zrcalna refleksija, 2'- difuzna refleksija, 3 i 6 – unutrašnja refleksija, raspršenje (zraka 6 ne izlazi iz podloge tiskovne podloge), 4- svjetlost je apsorbirana, 5- transmitirana svjetlost

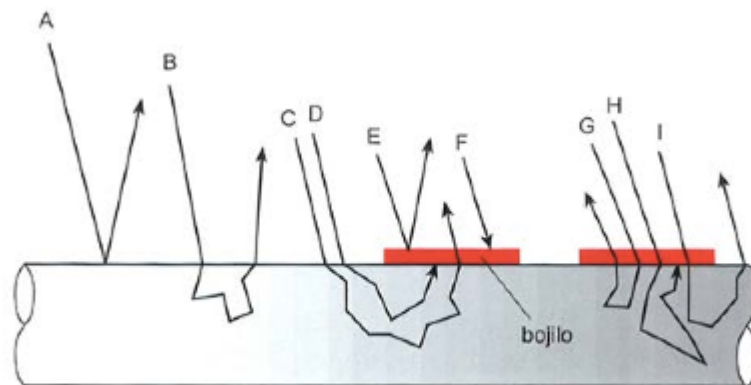
Svjetlost koja ulazi u papir između rasterskih točaka može se bočno raspršiti i pojaviti se ispod elementa (slika 11). Isto tako svjetlost koja ulazi kroz element može se raspršiti i izaći kroz papir između točaka. Posljedica takvih pojava je da  $R_b$  ima veću vrijednost od uočene za  $F_b=1$ , dok je vrijednost od  $R_p$  niža od uočene za papir za  $F_b=0$ . Utjecaj tih raspršenih fotona je daje ukupna refleksija rasterskih točaka i papira između njih funkcija relativne veličine točaka, pa prema tome  $R_b$  i  $R_p$  nisu konstante već su funkcije od  $F_b$ . Označit ćemo tu ovisnost kao  $R_b(F_b)$  i  $R_p(F_b)$  da naglasimo razliku između pretpostavljenih konstantnih vrijednosti u Murrav-Davies i Yule-Nielsenovoj jednadžbi :

$$R_b(F_b) = R_g [1 - (1 - T_b)F_b^w] \cdot [1 - (1 - T_b)F_b^v] \quad (10)$$

$$R_p(F_p) = R_g [1 - (1 - T_b)(1 - F_p^w)] \cdot [1 - (1 - T_b)(1 - F_p^v)] \quad (11)$$

Ovakav oblik Murrav-Daveisovog izraza je složeniji za račun, ali daje točniju fizikalnu sliku, jer ostaje linearan odnos između refleksija. Kao i u Yule-Nielsenovom modelu  $w$  i  $v$  su proizvoljne konstante odabrane da osiguraju najbliže vrijednosti eksperimentalnim podacima .

Refleksija rasterske slike dana je izrazom:



*Slika 11 - Moguće putanje fotona u papiru otisnutom rasterskim elementima:*

*A – refleksiji s površine tiskovne podloge; B – debljini, gustoći i strukturi tiskovne podloge; C – propusnosti sloja bojila povratne svjetlosti (Optičko povećanje rasterskog elementa); D – apsorpciji sloja bojila povratne svjetlosti; E – refleksiji sloja bojila; F – apsorpciji svjetlosti na sloju bo jila; G – propusnosti upadne i povratne svjetlosti; H – apsorpciji upadne i povratne svjetlosti; I – refleksiji djelomično apsorbirane svjetlosti kroz sloj bojila i tiskovnog materijala.*

*[2]*

## EKSPERIMENTALNI DIO

### KORISTENE METODE

Mjerenja su se radila denzitometrom te se mjerila gustoća zacrnjenja  $D$ . Izmjereno je šest gustoća zacrnjenja  $D$  za šest rastertonskih vrijednosti (RTV). Rastertonske vrijednosti su mjerene od 0% RTV-a pa za svakih 20% više, znači od 0% RTV-a, pa sve do RTV-a punog tona (100% RTV).

Mjerenja su se provela na amplitudno modeliranom (AM) i frekventno modeliranom (FM) rasteru. Dok su obje vrste rastera bile otisnute na tri vrste papira. Korišteni su voluminozni, bezdrvni nepremazani i bezdrvni premazani papir.

Izmjereni rezultati su izračunati dvijema jednadžbama. Prvo s Murray-Daviesovom jednadžbom kojom se dobila rastertonska vrijednost po tom modelu i ona glasi:

$$F_{bt} = \frac{1-10^{-D}}{1-10^{-D_b}} \quad (12)$$

Zatim s Yule-Nilesonomom jednadžbom kojom se isto tako dobila rastertonska vrijednost po tom modelu, a ona glasi:

$$F_{bt} = \frac{1-10^{\frac{-D}{n}}}{1-10^{\frac{-D_b}{n}}} \quad (13)$$

Objema jednadžbama su dobivene teoretske rastertonske vrijednosti  $F_{bt}$ . Dok je  $D_b$  gustoća zacrnjenja monokromatskog bojila otisnutog tako da pokriva cijelu podlogu (puni ton), a  $D$  gustoća zacrnjenja rastertonske vrijednosti mjernog stripa. Dok je  $n$ , pretpostavljeni faktor koji u Yule-Nilesonovoj jednadžbi iznosi 2.

Murray-Daviesova jednadžba je zapravo Yule-Nilesonova jednadžba s  $n$ -



parametrom (Yule-Nilesanova korekcija) koji iznosi 1 te se zbog toga ne piše. On objašnjava rastertonsku vrijednost uz pretpostavku totalne refleksije, što s papira, što s bojila otisnutog na njemu.

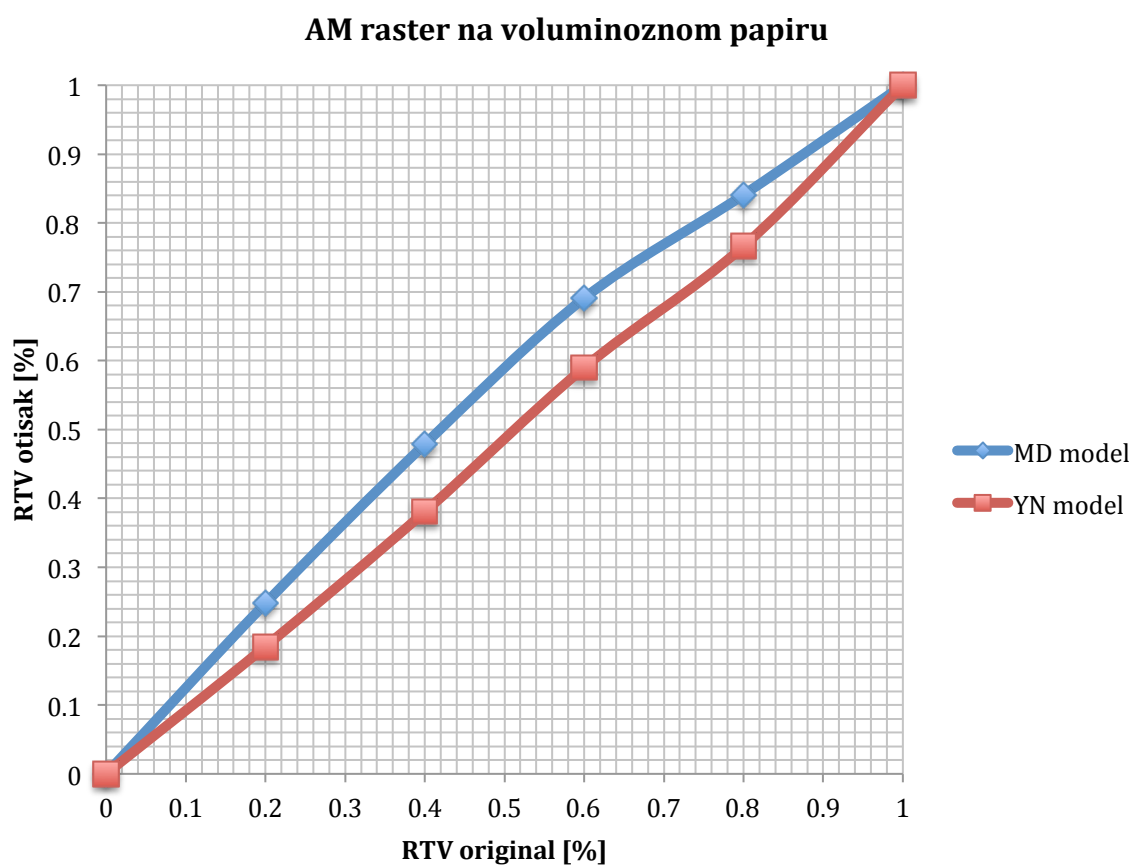
Dok kod Yule-Nilesove jednadžbe (drugog mjerenja)  $n$  iznosi pretpostavljenih 2 te objašnjava totalno raspršenje svjetlosti pri upadu na/u papir i bojilo koje je otisnuto na njemu.

## REZULTATI I RASPRAVA

### AM raster na voluminoznom papiru

AM raster na voluminoznom papiru			
D: gustoća zacrnljenja	RTV original	F <sub>b</sub> : MD model	F <sub>b</sub> : YN model
0	0	0	0
0,10	0,2	0,2477	0,185
0,22	0,4	0,4787	0,3806
0,37	0,6	0,6907	0,59
0,52	0,8	0,8408	0,7662
0,77	1	1	1

Tablica 1 - AM raster na voluminoznom papiru.



Grafikon 1 - AM raster na voluminoznom papiru.

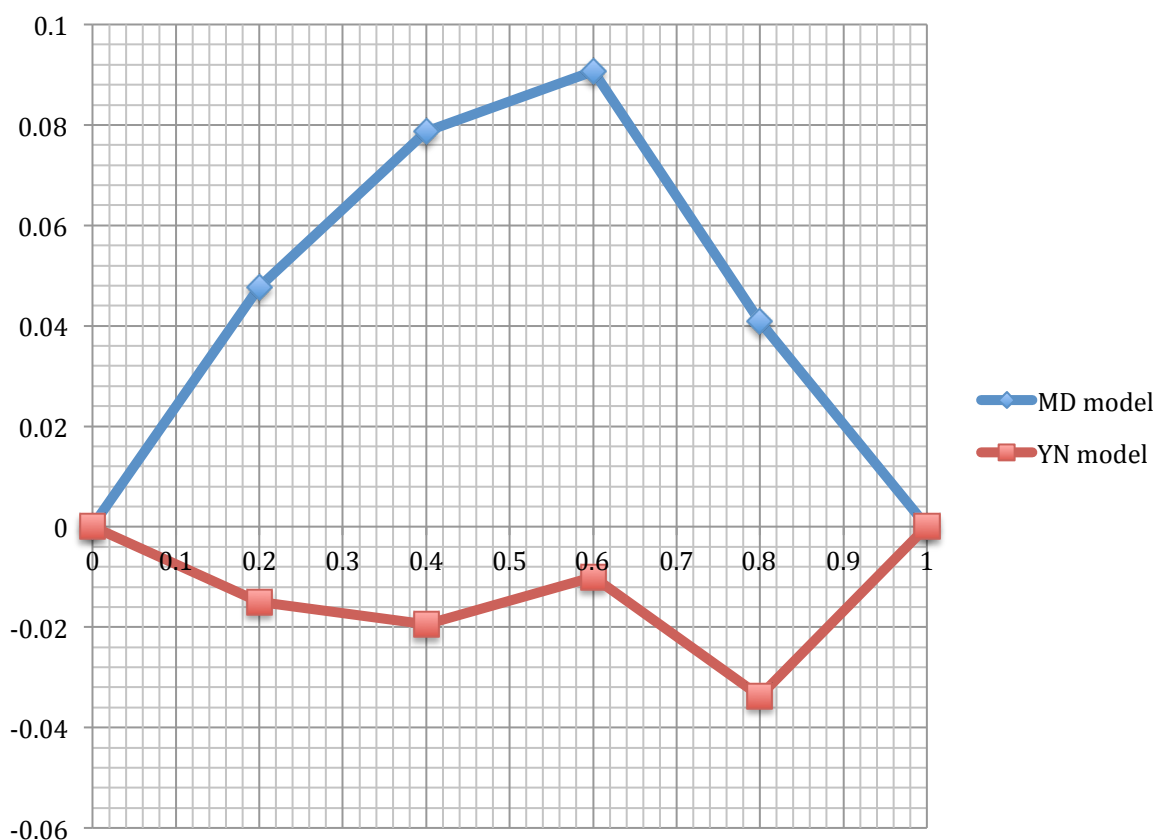
Iz plave krivulje (Murray-Daviesov model) se vidi da rastertonske vrijednosti za 40% i 60% RTV-a imaju najveća odstupanja od nominalne vrijednosti (rastertonska vrijednost originala). Dok crvena krivulja (Yule-Nielsonov model)

ima manja odstupanja. Što znači da Yule-Nielsonom model daje bolju pridikciju rastertonskih vrijednosti kod amplitudno moduliranog rastera otisnutog na voluminozni papir.

AM raster na voluminoznom papiru		
RTV	MD model	YN model
0	0	0
0,2	0,0477	-0,015
0,4	0,0787	-0,0194
0,6	0,0907	-0,01
0,8	0,0408	-0,0338
1	0	0

Tablica 2 - AM raster na voluminoznom papiru.

### AM raster na voluminoznom papiru



Grafikon 2 - AM raster na voluminoznom papiru.

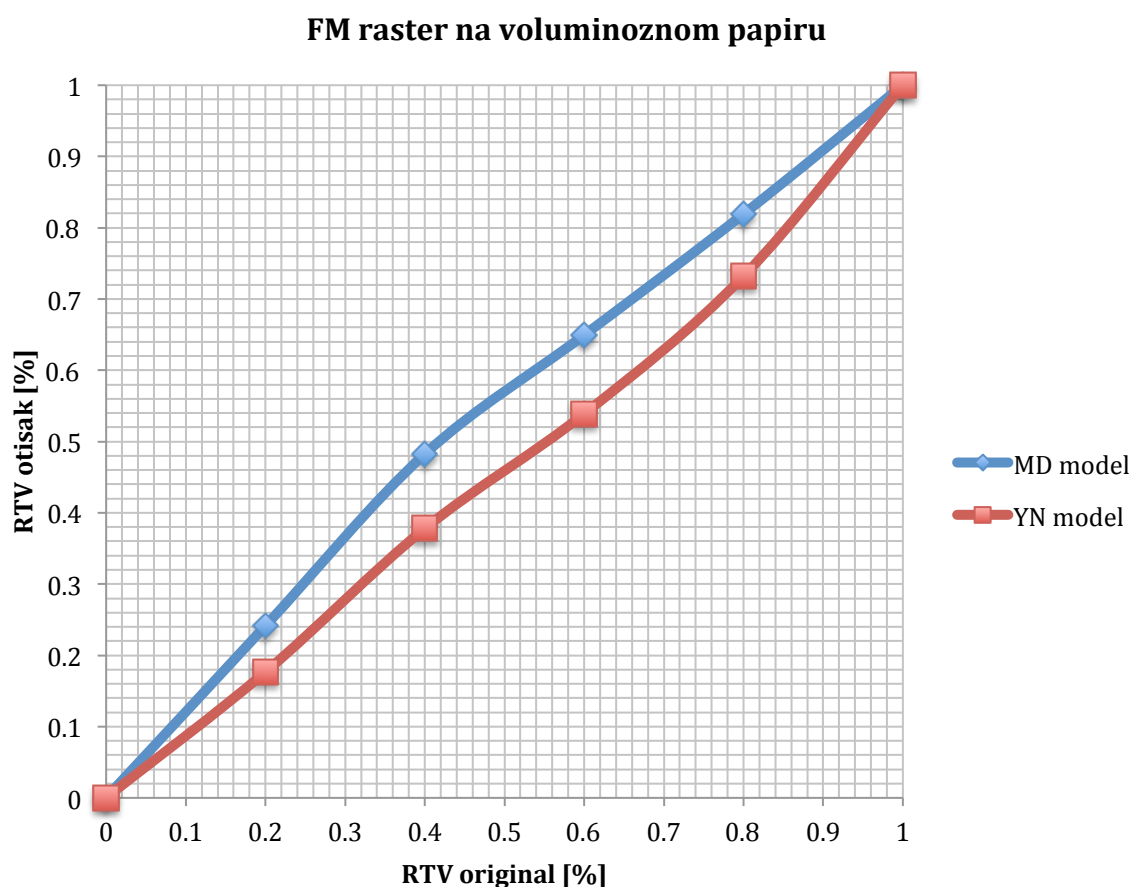
Na krivulji prirasta rastertonskih vrijednosti se može bolje uočiti veći prirast rastertonske vrijednosti za Murray-Daviesov model. Dok Yule-Nilesonov model ima manje priraste za mjerene vrijednosti (prirast RTV-a za 60% ima približno istu vrijednost nominalnoj). Što znači da amplitudno modulirani raster otisnut na

voluminoznom papiru ima veće raspršenje svjetlosti nego refleksiju.

### FM raster na voluminoznom papiru

FM raster na voluminoznom papiru			
D: gustoća zacrnljenja	RTV original	F <sub>b</sub> : MD model	F <sub>b</sub> : YN model
0	0	0	0
0,10	0,2	0,2414	0,1767
0,23	0,4	0,4825	0,378
0,35	0,6	0,6494	0,5389
0,52	0,8	0,8192	0,732
0,83	1	1	1

Tablica 3 - FM raster na voluminoznom papiru.



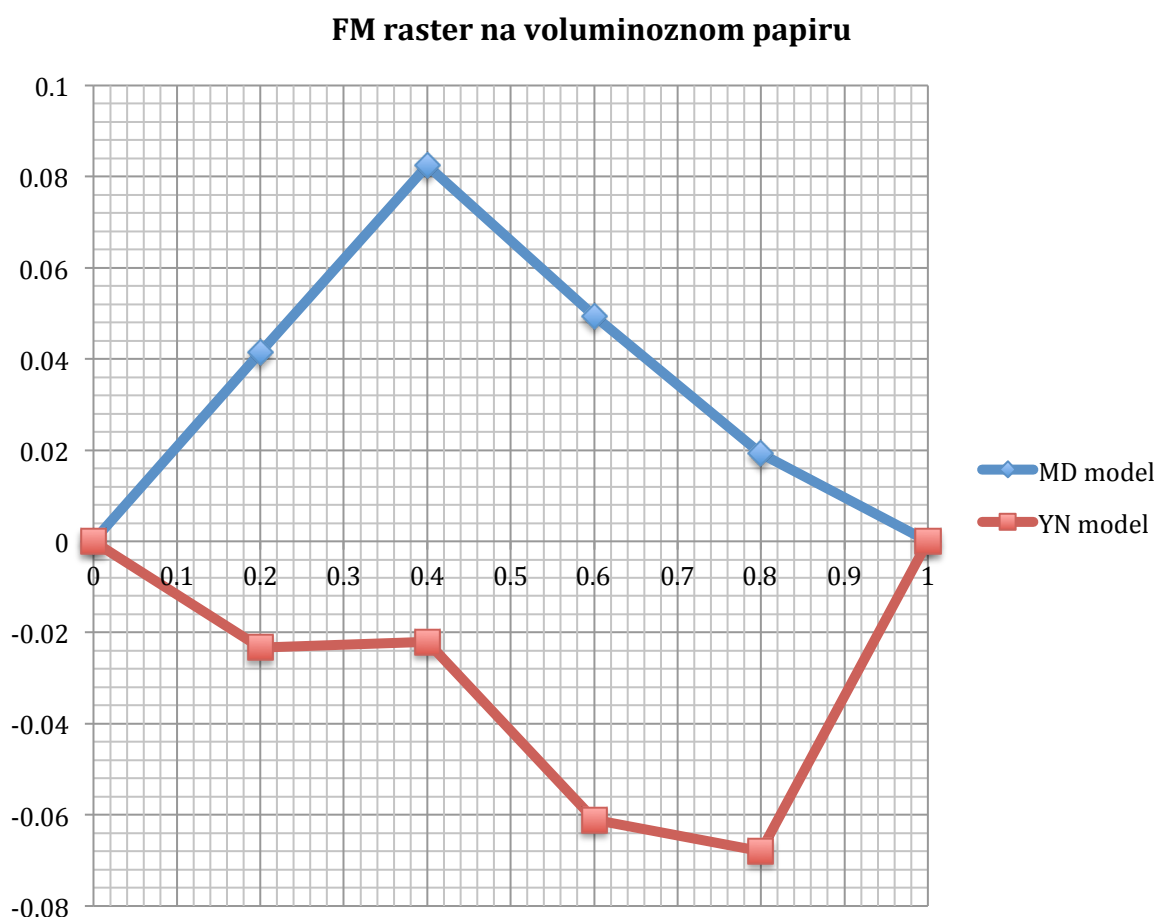
Grafikon 3 - FM raster na voluminoznom papiru.

Iz plave krivulje (Murray-Daviesov model) se vidi da rastertonska vrijednost za 40% RTV-a ima najveće odstupanja od nominalne vrijednosti (rastertonska vrijednost originala). Dok crvena krivulja (Yule-Nielsonov model) ima manja

odstupanja za 20% i 40 % RTV-a no veća odstupanja (od plave krivulje) za 60% i 80% RTV-a.

FM raster na voluminoznom papiru		
RTV	MD model	YN model
0	0	0
0,2	0,0414	-0,0233
0,4	0,0825	-0,022
0,6	0,0494	-0,0611
0,8	0,0192	-0,068
1	0	0

Tablica 4 - FM raster na voluminoznom papiru.



Tablica 4 - FM raster na voluminoznom papiru.

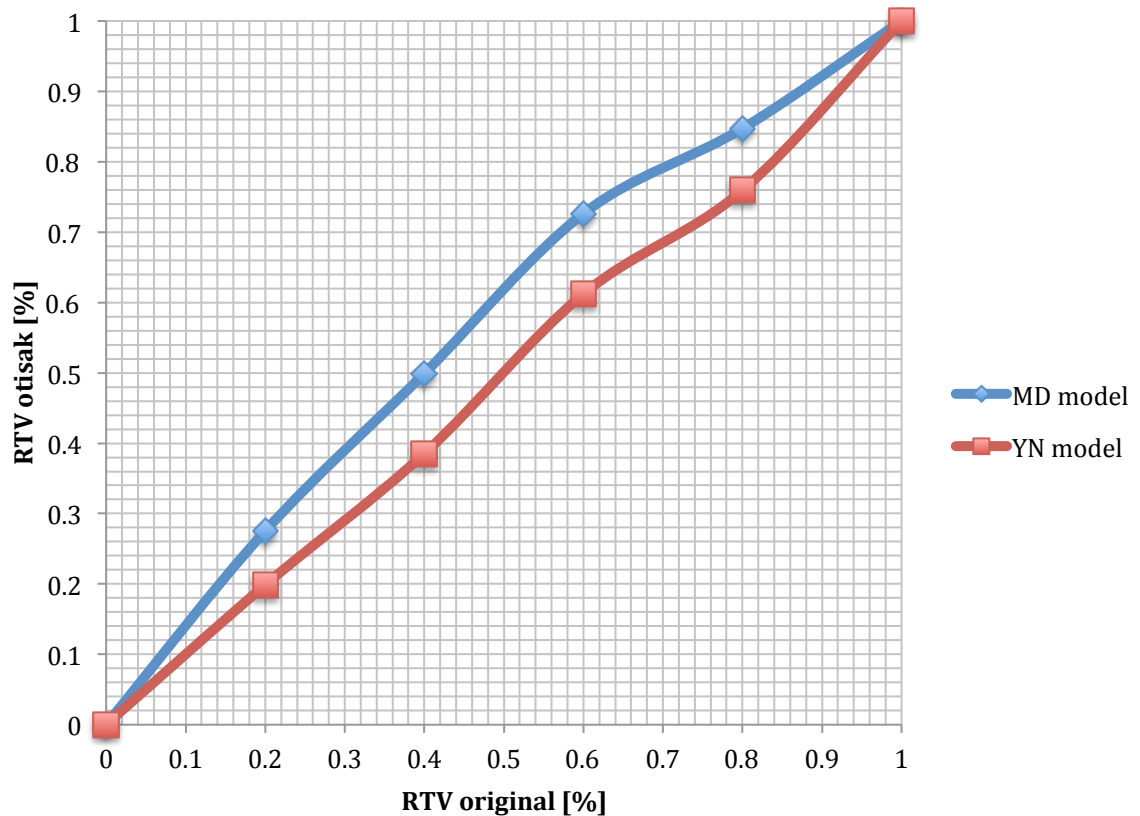
Iz krivulja prirasta rastertonske vrijednosti se ta činjenica bolje vidi. Što znači da frekventno moduliran raster otisnut na voluminoznom papiru ima veće raspršenje svjetlosti pri rastertonskim vrijednostima do nekih 50%, a veću refleksiju pri rastertonskim vrijednostima većim od 50% RTV-a.

## AM raster na bezdrvnom nepremazanom papiru

AM raster na bezdrvnom nepremazanom papiru			
D: gustoća zacrnljenja	RTV original	F <sub>b</sub> : MD model	F <sub>b</sub> : YN model
0	0	0	0
0,12	0,2	0,2753	0,1987
0,25	0,4	0,4991	0,3852
0,44	0,6	0,7263	0,6122
0,59	0,8	0,8472	0,7594
0,91	1	1	1

Tablica 5 - AM raster na bezdrvnom nepremazanom papiru.

### AM raster na bezdrvnom nepremazanom papiru



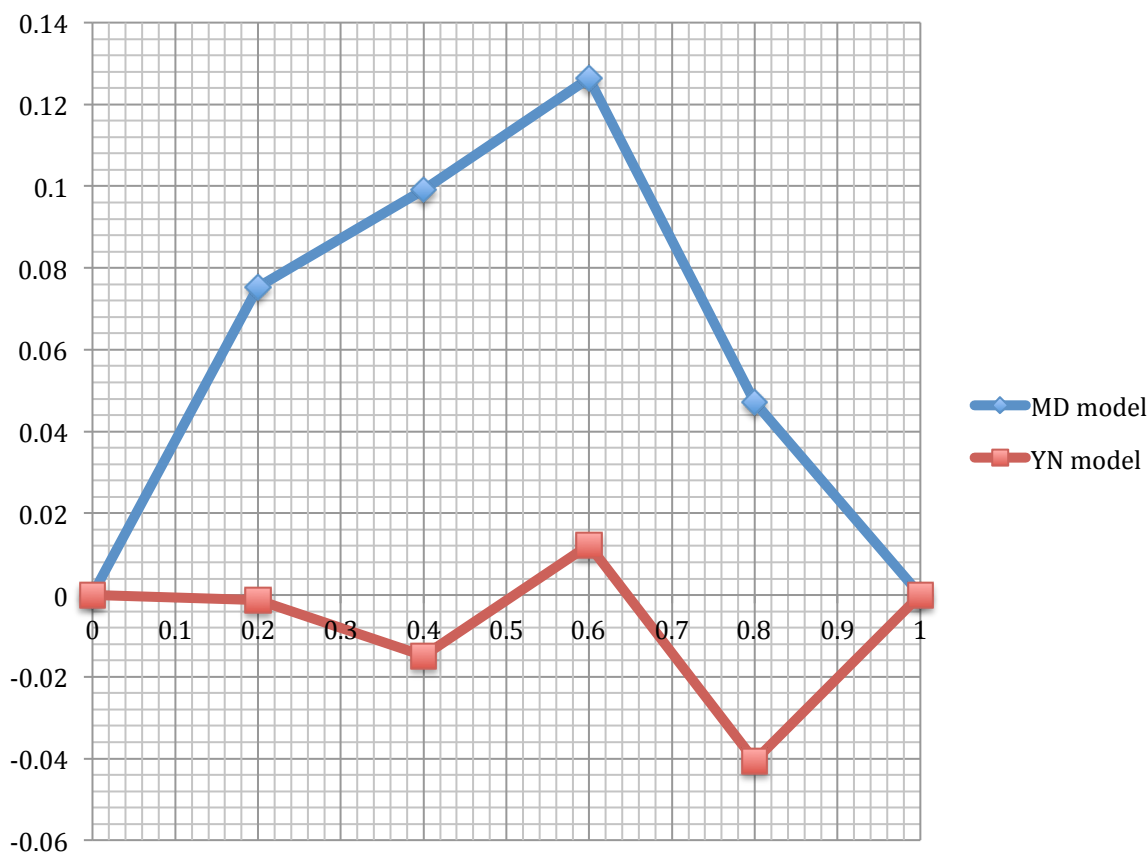
Grafikon 5 - AM raster na bezdrvnom nepremazanom papiru.

Iz plave krivulje (Murray-Daviesov model) se vidi da rastertonska vrijednost za 40% i 60% RTV-a imaju najveća odstupanja od nominalne vrijednosti (rastertonska vrijednost originala). Dok crvena krivulja (Yule-Nielsonov model) ima značajno manja odstupanja.

AM raster na bezdrvnom nepremazanom papiru		
RTV	MD model	YN model
0	0	0
0,2	0,0753	-0,0013
0,4	0,0991	-0,0148
0,6	0,1263	0,0122
0,8	0,0472	-0,0406
1	0	0

Tablica 6 - AM raster na bezdrvnom nepremazanom papiru.

### AM raster na bezdrvnom nepremazanom papiru



Grafikon 6 - AM raster na bezdrvnom nepremazanom papiru.

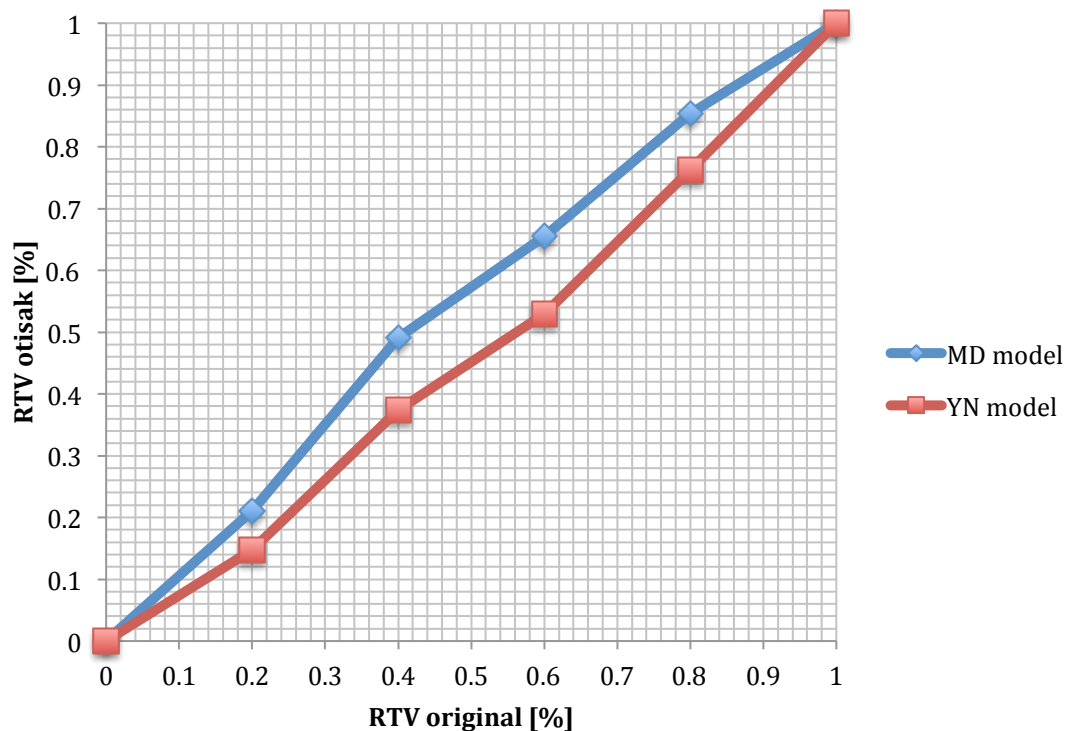
Na grafu prirasta rastertonske vrijednosti se bolje može primjetiti da je crvena krivulja aproksimativno paralelna nominalnoj vrijednosti, odnosno zadanoj rastertonskoj vrijednosti elementa. Što znači da amplitudno moduliran raster otisnut na bezdrvnom nepremazanom papiru ima veće raspršenje svjetlosti nego refleksiju.

## FM raster na bezdrvnom nepremazanom papiru

FM raster na bezdrvnom nepremazanom papiru			
D: gustoća zacrtnjenja	RTV original	F <sub>b</sub> : MD model	F <sub>b</sub> : YN model
0	0	0	0
0,09	0,2	0,2102	0,1472
0,25	0,4	0,4916	0,3739
0,38	0,6	0,6549	0,5298
0,62	0,8	0,8537	0,7628
0,96	1	1	1

Tablica 7 - FM raster na bezdrvnom nepremazanom papiru.

## FM raster na bezdrvnom nepremazanom papiru



Grafikon 7 - FM raster na bezdrvnom nepremazanom papiru.

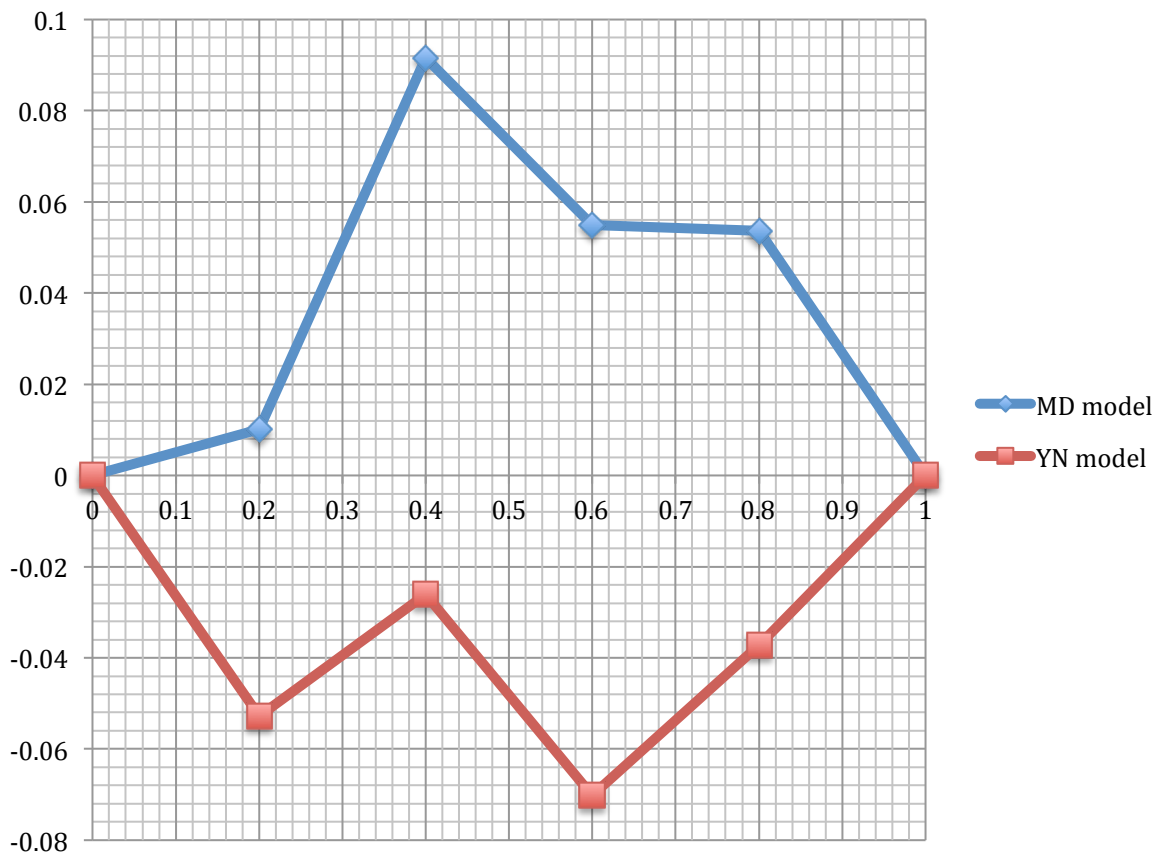
Iz plave krivulje (Murray-Daviesov model) se vidi da rastertonska vrijednost za 40% RTV-a ima najveće odstupanja od nominalne vrijednosti (RTV originala). Dok crvena krivulja (Yule-Nielsonov model) ima manja odstupanja.



FM raster na bezdrvnom nepremazanom papiru		
RTV	MD model	YN model
0	0	0
0,2	0,0102	-0,0528
0,4	0,0916	-0,0261
0,6	0,0549	-0,0702
0,8	0,0537	-0,0372
1	0	0

Tablica 8 - FM raster na bezdrvnom nepremazanom papiru.

FM raster na bezdrvnom nepremazanom papiru



Grafikon 8 - FM raster na bezdrvnom nepremazanom papiru.

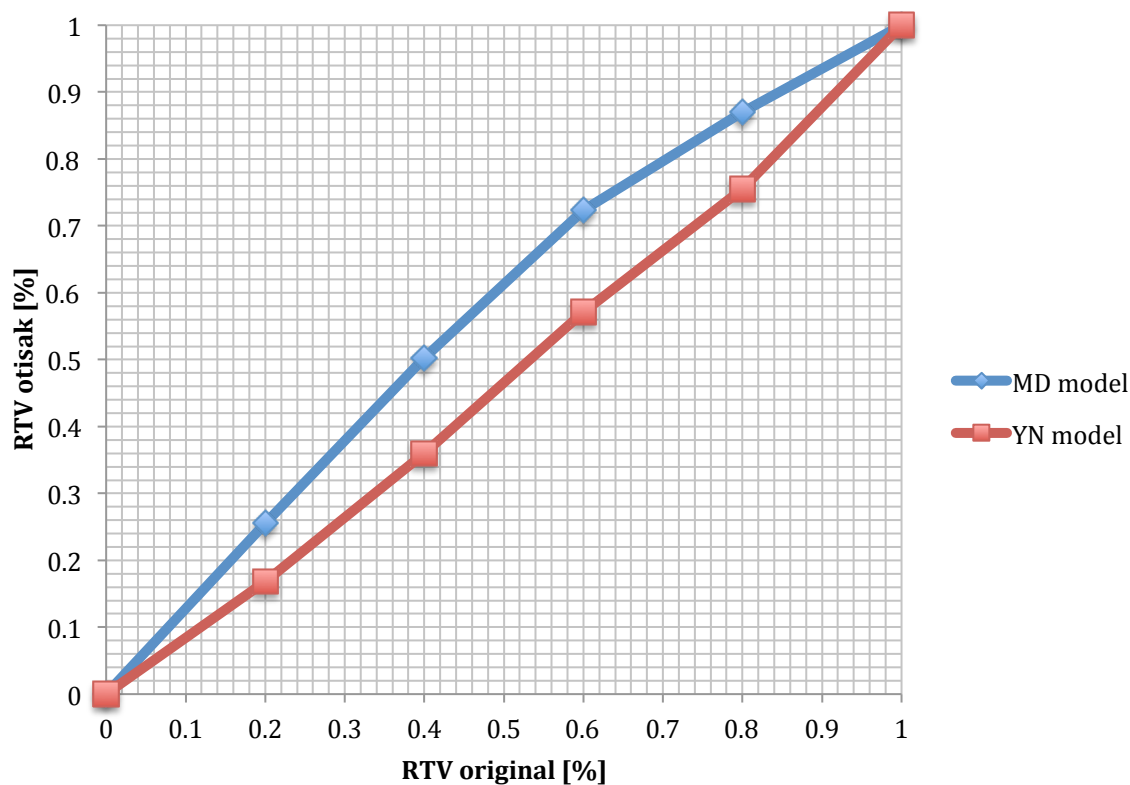
Na grafu prirasta rastertonske vrijednosti se bolje može primjetiti da je crvena krivulja nešto malo bliža nominalnoj vrijednosti, a iz toga se može zaključiti da frekventno moduliran raster otisnut na bezdrvnom nepremazanom papiru ima nešto malo veće raspršenje svjetlosti nego refleksiju.

## AM raster na bezdrvnom premazanom papiru

AM raster na bezdrvnom premazanom papiru			
D: gustoća zacrnljenja	RTV original	F <sub>b</sub> : MD model	F <sub>b</sub> : YN model
0	0	0	0
0,12	0,2	0,2555	0,1685
0,28	0,4	0,5028	0,3599
0,50	0,6	0,7235	0,5717
0,75	0,8	0,87	0,7554
1,26	1	1	1

Tablica 9 - AM raster na bezdrvnom premazanom papiru.

## AM raster na bezdrvnom premazanom papiru



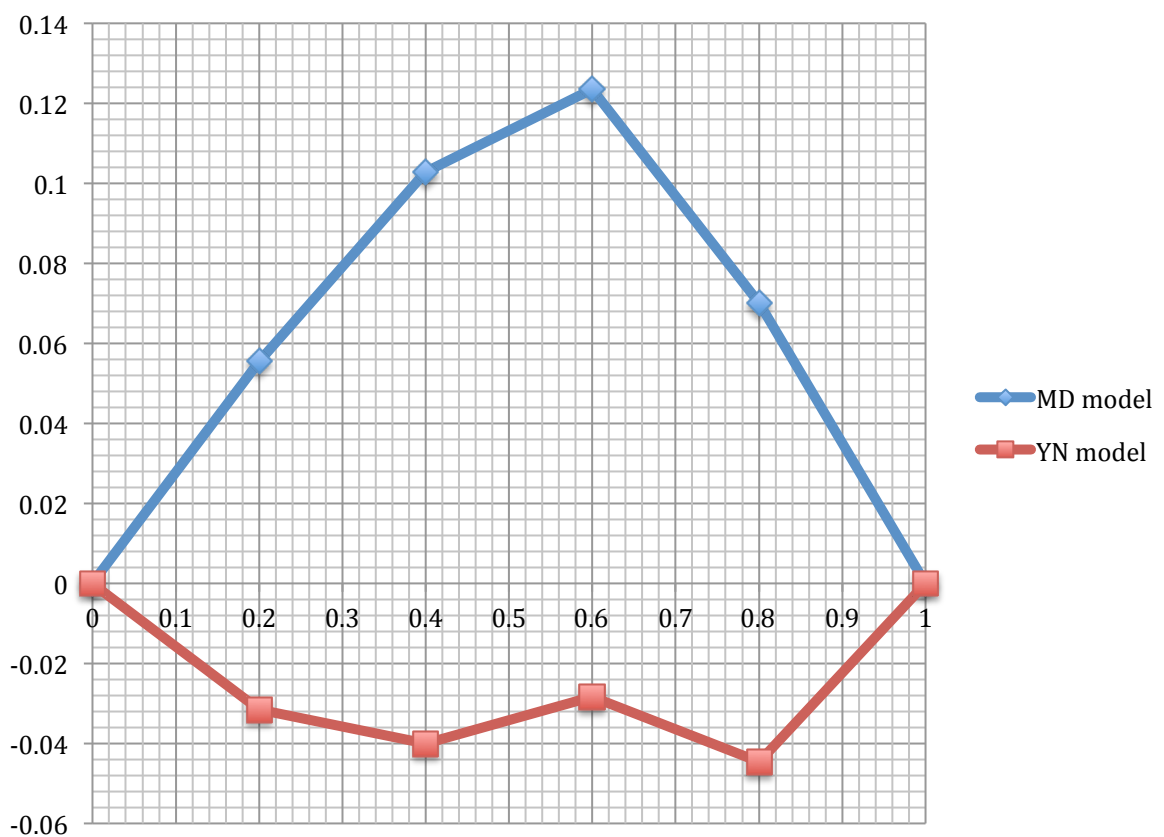
Grafikon 9 - AM raster na bezdrvnom premazanom papiru.

Iz plave krivulje (Murray-Daviesov model) se vidi da rastertonske vrijednosti za 40% i 60% RTV-a imaju najveća odstupanja od nominalne vrijednosti (rastertonska vrijednost originala). Dok crvena krivulja (Yule-Nielsonov model) ima značajno manja odstupanja.

AM raster na bezdrvnom premazanom papiru		
RTV	MD model	YN model
0	0	0
0,2	0,0555	-0,0315
0,4	0,1028	-0,0401
0,6	0,1235	-0,0283
0,8	0,07	-0,0446
1	0	0

Tablica 10 - AM raster na bezdrvnom premazanom papiru.

### AM raster na bezdrvnom premazanom papiru



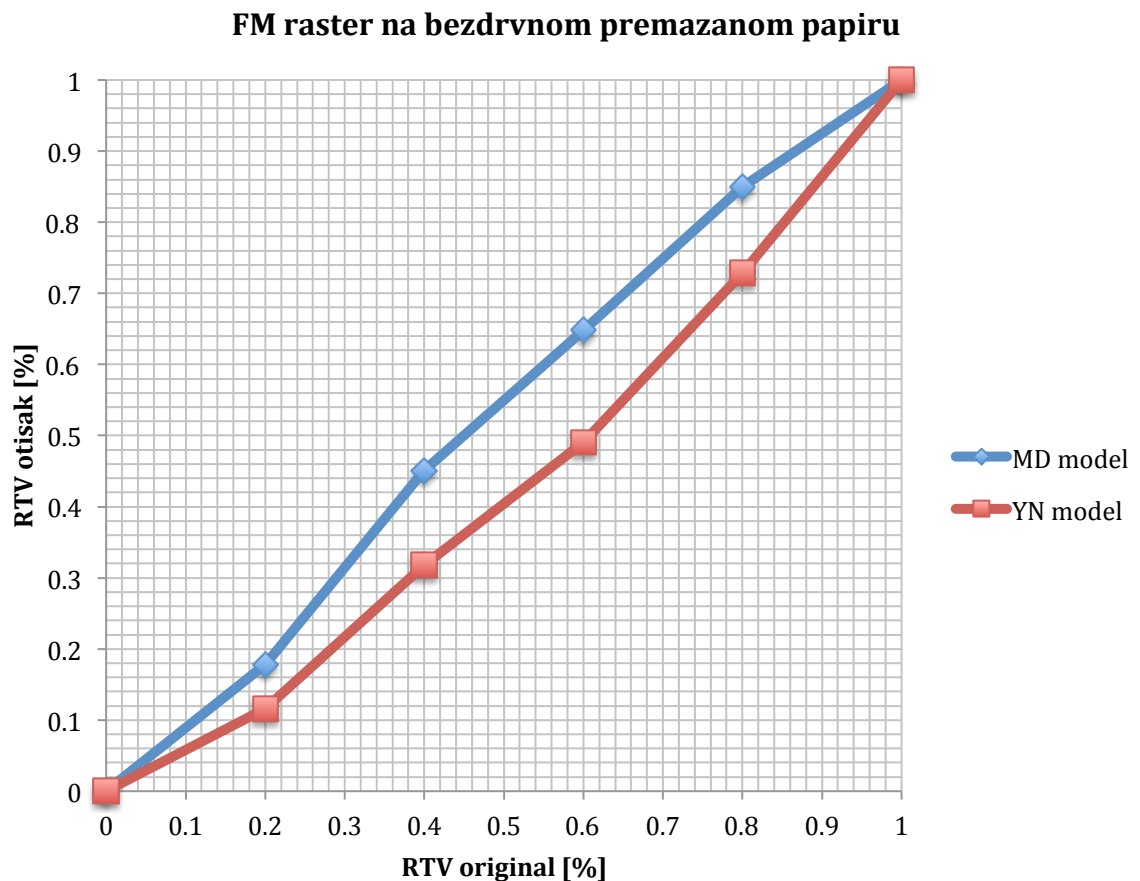
Grafikon 10 - AM raster na bezdrvnom premazanom papiru.

Na grafu prirasta rastertonske vrijednosti se bolje može vidjeti da je crvena krivulja značajno bliža nominalnoj vrijednosti (rastertonske vrijednosti originala). Što znači da amplitudno moduliran raster otisnut na bezdrvnom premazanom papiru ima veće raspršenje svjetlosti nego što ima refleksiju za sve rastertonske vrijednosti (20%, 40%, 60% i 80%).

## FM raster na bezdrvnom premazanom papiru

FM raster na bezdrvnom premazanom papiru			
D: gustoća zacrnjenja	RTV original	F <sub>b</sub> : MD model	F <sub>b</sub> : YN model
0	0	0	0
0,08	0,2	0,1785	0,1158
0,24	0,4	0,4505	0,3176
0,41	0,6	0,6483	0,4901
0,70	0,8	0,8493	0,7279
1,24	1	1	1

Tablica 11 - FM raster na bezdrvnom premazanom papiru.



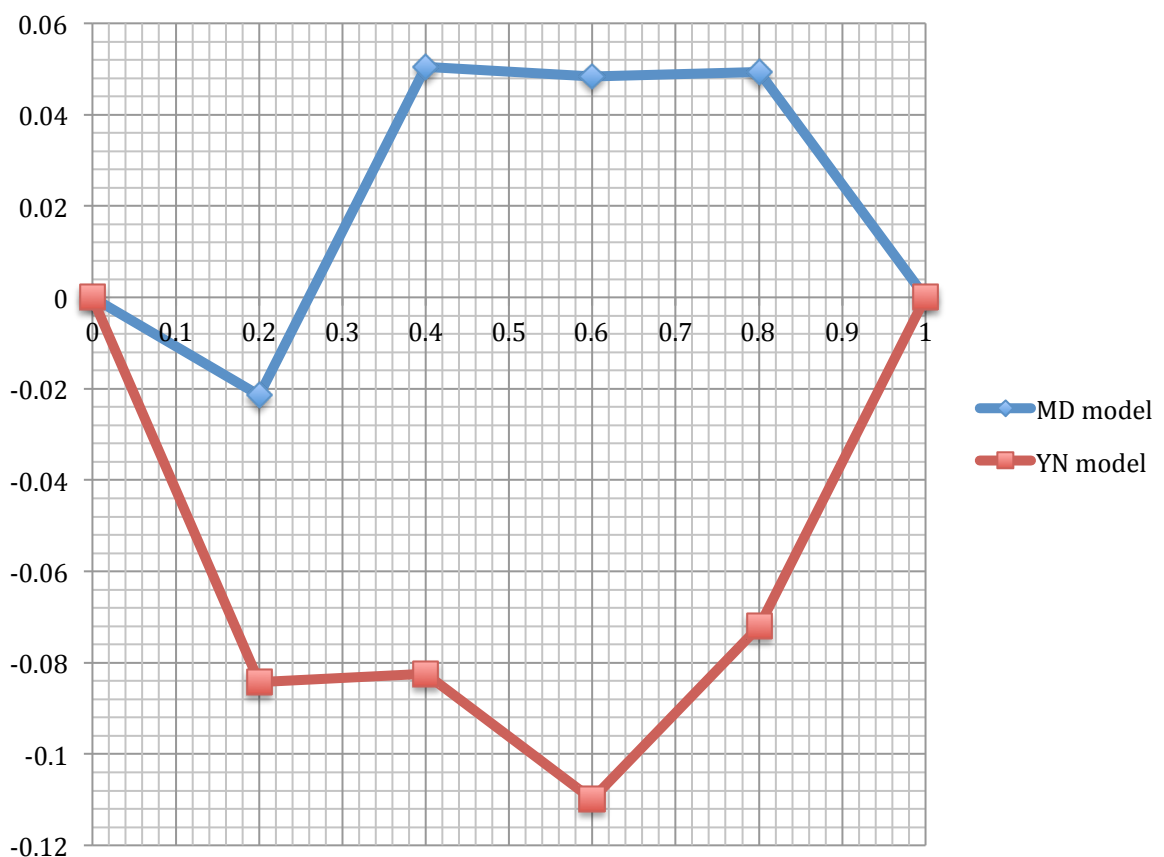
Grafikon 11 - FM raster na bezdrvnom premazanom papiru.

Iz plave krivulje (Murray-Daviesov model) se vidi da odstupanja od nominalne rastertonske vrijednosti nisu toliko velika koliko su kod crvene krivulje (Yule-Nielsonov model).

FM raster na bezdrvnom premazanom papiru		
RTV	MD model	YN model
0	0	0
0,2	-0,0215	-0,0842
0,4	0,0505	-0,0824
0,6	0,0483	-0,1099
0,8	0,0493	-0,0721
1	0	0

Tablica 12 - FM raster na bezdrvnom premazanom papiru.

### FM raster na bezdrvnom premazanom papiru



Grafikon 12 - FM raster na bezdrvnom premazanom papiru.

Na grafu prirasta rastertonskih vrijednosti se bolje može uočiti veći prirast rastertonske vrijednosti za Yule-Nielsonov model. Dok krivulja koja objašnjava Murray-Daviesov model i njegov prirast rastertonskih vrijednosti ima na 20% RTV-a prirast u minusu. Iz toga se vidi da frekventno moduliran raster otisnut na bezdrvnom premazanom papiru ima veću refleksiju svjetlosti nego što ima raspršenje.

## ZAKLJUČCI

Prirast RTV-a je dobra ili loša pojava. To je problem koji se gotovo uvijek događa u tisku i može se riješiti tako da prvo ustanovimo stvarni prirast RTV-a, a zatim se određenim metodama predvidi i smanji prije i u toku tiska [4].

Komparirajući obje vrste rastera (amplitudno modulirani i frekventno modulirani) najveći prirasti rastertonski vrijednosti se mogu primjetiti kod amplitudno modeliranog rastera. Kod amplitudno moduliranog rastera otisnutog na voluminoznom papiru su najmanje prirasti RTV-a (maksimum prirasta RTV-a 9,07%), dok su malo veće kod bezdrvnog nepremazanog i bezdrvnog premazanog papira (maksimum prirasta RTV-a 12,63% i 12,35%). Izračuni su pokazala da je kod sve tri vrste papira maksimum prirasta na 60% RTV-a.

Papiri s otisnutim frekventno moduliranim rasterom imaju manje prirasti rastertonskih vrijednosti. Kod voluminoznog papira maksimum prirasta RTV-a je na nominalnoj vrijednosti od 20% RTV-a i iznosi 8,25%. Kod bezdrvnog nepremazanog papira maksimum prirasta RTV-a je isto tako na 40% i iznosi 9,16%. Dok je kod bezdrvnog premazanog papira maksimum prirasta RTV-a 5,05% (isto na nominalnoj vrijednosti od 40% RTV-a).

Izračuni s Yule-Nielsonovom korekcijom koja iznosi dogovorenih 2 (n=2) su manji i ujednačeniji kod amplitudno modeliranih rastera sa maksimumom prirasta RTV-a koji ne prelazi veću vrijednost od 4,46% u minusu. Dok je kod frekventno modeliranih rastera na sve tri vrste papira prirast u usporedbi s AM rasterom, veći (maksimum prirasta RTV-a se kreće od 6 do 11% u minusu).

Iz toga se zaključuje da amplitudno modulirani rasteri i to na bilo kojoj vrsti papira imaju manju refleksiju svjetlosti (veće raspršenje) nego frekventno modulirani rasteri.

## LITERATURA

1. Vesna Džimbeg-Malčić, *Primjena Kubelka-Munk teorije i Yule-Nielsenovog efekta na tiskovnim podlogama*, Doktorska disertacija, Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Mentor: Stanislav Bolanča, Godina 2007.
2. Igor Zjakić, *Upravljanje kvalitetom ofsetnog tiska*, ISBN: 9789531691451, Izdavač: Hrvatska sveučilišna naklada, Godina: 2007.
3. <http://www.grafx.ba/>, Članci: *Raster kao osnova grafičke reprodukcije I-dio*, *Raster II-dio: Deformacija rasterskih elemenata*
4. Valdec D., Zjakić I., Klopotan I., *utjecaj linijature rastera na prirast rastertonskih vrijednosti u fleksotisku*, Veleučilište u Varaždinu, Hrvatska Grafički fakultet, Finesa d.o.o.
5. Dr. sc. Igor Zjakić, Doc. dr. sc. Diana Milčić, prof. dr. sc. Stanislav Bolanča, *utjecaj suvremenih materijala u tiskarskom stroju na kvalitetu otiska*, Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
6. [www.iproofsystems.com/screenprint\\_gallery/](http://www.iproofsystems.com/screenprint_gallery/)
7. Roberto Pašić, Silvana Angelovska, Cvete Dimitrieska, *Kvalitativna analiza amplitudno i frekventno moduliranih rastera u višebojnoj ofset štampi*, Tehnički Fakultet, Bitola, Makedonija, Stručni rad.