



Sveučilište u Zagrebu

GRAFIČKI FAKULTET

Katarina Itrić

**PRIMJENA GRADIJENTNE METODE U  
RAZDVAJANJU KOMPONENATA  
PRIRASTA RASTERTONSKE  
VRIJEDNOSTI**

DOKTORSKI RAD

Zagreb, 2016.



Sveučilište u Zagrebu

GRAFIČKI FAKULTET

Katarina Itrić

**PRIMJENA GRADIJENTNE METODE U  
RAZDVAJANJU KOMPONENATA  
PRIRASTA RASTERTONSKE  
VRIJEDNOSTI**

DOKTORSKI RAD

Zagreb, 2016.



Sveučilište u Zagrebu

GRAFIČKI FAKULTET

Katarina Itrić

**PRIMJENA GRADIJENTNE METODE U  
RAZDVAJANJU KOMPONENATA  
PRIRASTA RASTERTONSKE  
VRIJEDNOSTI**

DOKTORSKI RAD

Mentor: doc. dr. sc. Damir Modrić

Zagreb, 2016.



Sveučilište u Zagrebu

FACULTY OF GRAPHIC ARTS

Katarina Itrić

**APPLICATION OF THE GRADIENT  
METHOD IN THE COMPONENT  
SEPARATION OF DOT GAIN**

DOCTORAL THESIS

Supervisor: ass. prof. Damir Modrić

Zagreb, 2016.

**UDK BROJ:** 655.33:655.3.021

***Povjerenstvo za ocjenu doktorske disertacije:***

1. izv. prof. dr. sc. Igor Zjakić, Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet, predsjednik,
2. prof. dr. sc. Klaudio Pap, Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet, član,
3. dr. sc. Robert Beuc, znanstveni savjetnik u trajnome zvanju, Institut za fiziku, Zagreb, vanjski član.

***Povjerenstvo za obranu doktorske disertacije:***

1. izv. prof. dr. sc. Igor Zjakić, Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet, predsjednik,
2. prof. dr. sc. Klaudio Pap, Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet, član,
3. dr. sc. Robert Beuc, znanstveni savjetnik u trajnom zvanju, Institut za fiziku, Zagreb, vanjski član,
4. izv. prof. dr. sc. Vesna Džimbeg-Malčić, Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet, zamjenska članica,
5. prof. dr. sc. Đurđica Parac-Osterman, Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, zamjenska vanjska članica.

***Datum obrane doktorske disertacije:*** 25. veljače 2016.

***Mjesto obrane doktorske disertacije:*** Sveučilište u Zagrebu, Grafički fakultet

***Povjerenstvo za obranu doktorske disertacije donijelo je sljedeću odluku:***

„Obrabila– jednoglasnom odlukom Povjerenstva“

*Nini*

## Sažetak

Odvajanje mehaničkog i optičkog prirasta rastertonske vrijednosti još uvijek nije u potpunosti postignuto, što je uvjetovano nedovoljno istraženim fizikalnim temeljima koji određuju komponente prirasta. Budući da je koegzistencija optičkog i mehaničkog prirasta neminovna, većina predloženih modela temelji se na određivanju ukupnog prirasta rastertonske vrijednosti.

U okviru disertacije predložit će se model komponenata prirasta rastertonske vrijednosti gradijentnom metodom, pri čemu će se istražiti utjecaj raznih tehnika tiska, vrste i gramature papira, i dimenzija (širine linija) otisnutih elemenata, na komponente rastertonskog prirasta. Poznavanje distribucije bojila bez utjecaja optičkog prirasta omogućit će modeliranje svih koraka proizvodnog procesa što će u konačnici voditi optimizaciji samog tiskarskog procesa.

Ključne riječi: mehanički prirast rastertonske vrijednosti, optički prirast rastertonske vrijednosti, *PSF*, Lorentzova funkcija, gradijentna metoda

## Abstract

The practical separation of mechanical and optical dot gain is still not fully achieved, which is caused by the lack of knowledge of physical foundations that govern the components of dot gain. Since the coexistence of optical and mechanical dot gain is inevitable, most of the proposed models are based on the determination of the total dot gain.

This dissertation will propose a model of separation of components of dot gain using gradient method, where the impact of various printing techniques, types and grammages of paper, and dimensions (line widths) printed on the element components of dot gain will be examined. Knowing the distribution of dyes without the effect of optical gain will enable modeling of all steps of the production process which will ultimately lead to the optimization of the printing process.

Keywords: physical dot gain, optical dot gain, *PSF*, Lorentzian function, gradient method



# Sadržaj

1. Uvod.....	1
1.1. Ciljevi i metode istraživanja .....	2
1.2. Struktura rada.....	3
2. Svojstva papira .....	4
3. Razvoj Computer to Press tehnologije .....	8
3.1. Elektrofotografija .....	10
3.1.1. Nabijanje.....	10
3.1.2. Generiranje latentne slike.....	12
3.1.2.1. Svjetlosni izvori u sustavima za osvjetljavanje.....	13
3.1.2.1.1. Svojstva lasera .....	13
3.1.2.2. Princip osvjetljavanja naelektrizirane fotoosjetljive površine .....	20
3.1.2.3. Pozitivsko i negativsko osvjetljavanje .....	22
3.1.3. Razvijanje.....	23
3.1.3.1. Toner .....	23
3.1.3.2. Kategorije sustava za razvijanje .....	26
3.1.4. Prijenos .....	28
3.1.5. Fiksiranje slike .....	28
3.2. Inkjet tehnologija otiskivanja .....	30
3.2.1. Piezoelektrični efekt .....	31
3.2.2. Piezoelektrična inkjet tehnologija.....	33
3.2.2.1. Mikropiezo tehnologija .....	35
3.2.3. Boje za inkjet tisak .....	37
3.3. Direct imaging (direktno osvjetljavanje).....	40
3.4. Papiri za CTP tisak.....	42

4. Interakcija svjetlosti i papira .....	44
4.1. Optički prirast rastertonske vrijednosti.....	48
4.1.1. Funkcija razmazivanja točke ( <i>PSF</i> ) .....	50
4.2. Mehanički prirast rastertonske vrijednosti .....	54
4.3. Koegzistencija mehaničkog i optičkog prirasta rastertonske vrijednosti .....	56
5. Detekcija ruba linijskog otiska .....	59
5.1. Funkcije gustoće vjerojatnosti .....	63
5.1.1. Gaussova raspodjela.....	65
5.1.2. Lorentzova raspodjela .....	66
6. Karakteristike papira korištenih u istraživanju.....	70
7. Određivanje optičkog dijela funkcije razmazivanja točke .....	73
7.1. Materijali i metode.....	73
7.2. Rezultati i diskusija .....	76
8. Odvajanje mehaničkog i optičkog prirasta rastertonske vrijednosti .....	80
8.1. Materijali i metode.....	80
8.2. Usporedba debljina otisnutih linija.....	86
8.3. Rezultati.....	89
8.3.1. Heidelberg quickmaster .....	89
8.3.1.1 Nominalna debljina linije 1 mm.....	89
8.3.1.2. Nominalna debljina linije 0,5 mm.....	93
8.3.1.3. Nominalna debljina linije 0,1 mm.....	97
8.3.2. Riso RZ 970 .....	101
8.3.2.1 Nominalna debljina linije 1 mm.....	101
8.3.2.2. Nominalna debljina linije 0,5 mm.....	105
8.3.2.3. Nominalna debljina linije 0,1 mm.....	109
8.3.3. Canon IR .....	113

8.3.3.1. Nominalna debljina linije 1 mm.....	113
8.3.3.2. Nominalna debljina linije 0,5 mm.....	117
8.3.3.3. Nominalna debljina linije 0,1 mm.....	121
8.3.4. Xerox DC 250 .....	125
8.3.4.1. Nominalna debljina linije 1 mm.....	125
8.3.4.2. Nominalna debljina linije 0,5 mm.....	129
8.3.4.3. Nominalna debljina linije 0,1 mm.....	133
8.3.5. Xerox DT 6135 .....	137
8.3.5.1. Nominalna debljina linije 1 mm.....	137
8.3.5.2. Nominalna debljina linije 0,5 mm.....	141
8.3.5.3. Nominalna debljina linije 0,1 mm.....	145
8.3.6. HP 9050 Laser Jet .....	149
8.3.6.1. Nominalna debljina linije 1 mm.....	149
8.3.6.2. Nominalna debljina linije 0,5 mm.....	153
8.3.6.3. Nominalna debljina linije 0,1 mm.....	157
8.3.7. Océ2110 Vario .....	161
8.3.7.1. Nominalna debljina linije 1 mm.....	161
8.3.7.2. Nominalna debljina linije 0,5 mm.....	165
8.3.7.3. Nominalna debljina linije 0,1 mm.....	169
8.3.8. Indigo Turbo Stream .....	173
8.3.8.1. Nominalna debljina linije 1 mm.....	173
8.3.8.2. Nominalna debljina linije 0,5 mm.....	177
8.3.8.3. Nominalna debljina linije 0,1 mm.....	181
8.3.9. Epson Stylus Pro 7000 .....	185
8.3.9.1. Nominalna debljina linije 1 mm.....	185
8.3.9.2. Nominalna debljina linije 0,5 mm.....	189

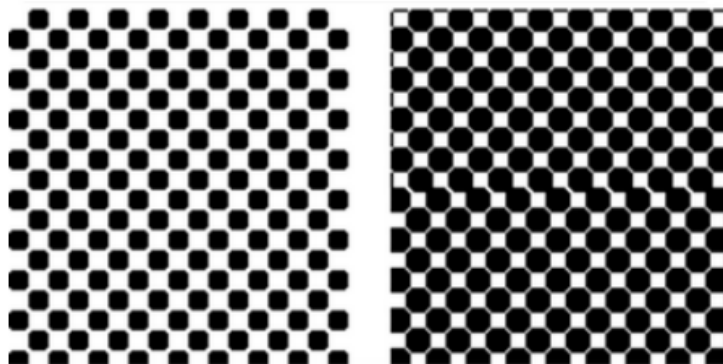
8.3.9.3. Nominalna debljina linije 0,1 mm.....	193
8.3.10. Epson Stylus Photo 2400 .....	197
8.3.10.1. Nominalna debljina linije 1 mm.....	197
8.3.10.2. Nominalna debljina linije 0,5 mm.....	201
8.3.10.3. Nominalna debljina linije 0,1 mm.....	205
8.4. Diskusija .....	209
8.4.1. Analiza opravdanosti izbora Lorentzove funkcije za opisivanje optičke komponente prirasta.....	209
8.4.2. Analiza mogućnosti modeliranja mehaničkog prirasta Gaussovom funkcijom ...	212
8.4.3. Utjecaj širine otisnutih linija na oblik i veličinu komponenata prirasta .....	215
8.4.4. Utjecaj vrste papira na oblik i veličinu komponenata prirasta.....	217
8.4.5. Utjecaj elektrofotografskog uređaja na oblik i veličinu komponenata prirasta ....	219
9. Zaključak.....	221
Životopis.....	224
Popis radova .....	225
Popis slika .....	226
Popis tablica .....	231
Literatura .....	232

# 1. Uvod

Tehnološki napretci kontinuirano unaprjeđuju kvalitetu našeg života, čineći ga dinamičnijim, kvalitetnijim i ispunjenijim. U skladu s tim i zahtjevi na grafičku tehnologiju su postali sve veći, te je postalo nužno riješiti problem brze, jednostavne i kvalitetne reprodukcije, koja bi zadovoljila suvremenog čovjeka.

Grafička industrija je spremno prihvatila izazov lansiranjem cijelog niza uređaja koji su prije svega prihvatljivom cijenom, a potom i zadovoljavajućom kvalitetom mogli ispuniti ovu ulogu. Kvaliteta je uz ekonomsku isplativost najbitnija stavka svakog procesa tiska. Svaka slijedeća generacija uređaja pokušava podići razinu kvalitete otiska, što je moguće postići samo adekvatnim razumijevanjem uzroka svih nedostataka koji se mogu javiti tijekom procesa tiska.

S tim u vezi uobičajeno je kvalitetu otiska odrediti na temelju prirasta rastertonske vrijednosti, tj. povećanja otisnutog rasterskog elementa u odnosu na digitalni original, koje se manifestira promjenom oštine i tona otiska. Prirast rastertonske vrijednosti se sastoji od dviju komponenti, mehaničkog prirasta koji je direktna posljedica tehnike tiska, u superpoziciji s kemijskim i fizikalnim svojstvima bojila i podloge, i optičkog prirasta, tzv. Yule-Nielsenovog efekta, koji je uzrokovan lateralnim raspršenjem svjetlosti u podlozi.



Slika 1. Ilustracija prirasta rastertonske vrijednosti

Jasno je da eliminacija prirasta rastertonske vrijednosti nije moguća, ali njegova minimizacija i kontroliranje su ostvarivi uz pouzdanu identifikaciju i karakterizaciju njegovih komponenti.

## 1.1. Ciljevi i metode istraživanja

Primarni cilj doktorske disertacije je odvajanje optičke i mehaničke komponente prirasta rastertonske vrijednosti gradijentnom metodom iz mjerenih reflektancijskih profila linija.

U tu svrhu izradit će se i analizirati monokromatski linijski testni uzorci različitih debljina linija (0,1 mm, 0,5 mm, 1 mm) na tri tipa nepremazanih papira različitih gramatura (bezdrveni ofset 120 g/m<sup>2</sup>, fotokopirni 80 g/m<sup>2</sup>, superglatki za elektrofotografiju 115 g/m<sup>2</sup>). Testne forme će se otisnuti na deset uređaja od kojih se osam temelji na Computer to Print tehnologiji (šest elektrofotografskih uređaja i dva ink jet uređaja) dok preostala dva zastupaju Direct Imaging tehnologiju.

Za analizu reprodukcije linijskih elemenata koristit će se uređaj za slikovnu analizu (Personal IAS) s integriranim digitalnim mikroskopom i CCD kamerom, koji omogućava određivanje karakteristika kvalitete otisnute linije (ISO-13660 standard), od kojih su nama trenutačno najvažniji širina linije i hrapavost ruba, te dijagrame reflektancije otisnute površine. Iz izmjerenih reflektancijskih profila odrediti će se funkcije razmazivanja linije (*LSF*) gradijentnom metodom. Budući da reflektancijski profil uvijek sadrži određenu količinu šuma koji prilikom deriviranja generira još veći šum, nužno je prije same derivacije primijeniti adekvatnu funkciju zaglađivanja koja će usrednjavanjem u smjeru okomitom na derivaciju izgladiti rezultat.

Samo istraživanje biti će provedeno u tri faze u okviru kojih će se pokušati analizirati utjecaj određenih parametara na oblik i veličine komponenata prirasta, u prvoj će se analizirati utjecaj širine otisnutih linija, druga će istraživati ovisnost o vrsti i gramaturi papira, dok će treća faza ispitivati utjecaj tehnike tiska.

S obzirom na glavni cilj istraživanja postavljene su slijedeće hipoteze:

- Moguće je detektirati stvarni rub otisnutog elementa gradijentnom metodom
- Vrh funkcije razmazivanja linije može se tretirati kao rub elementa dok krila opisuju optički i mehanički prirast
- Optička komponenta prirasta rastertonske vrijednosti opisana je Lorentzovom funkcijom
- Rubni efekti neotisnutog uzorka mogu se predvidjeti uspostavljanjem korelacije između tehnike tiska i odgovarajućeg mehaničkog prirasta

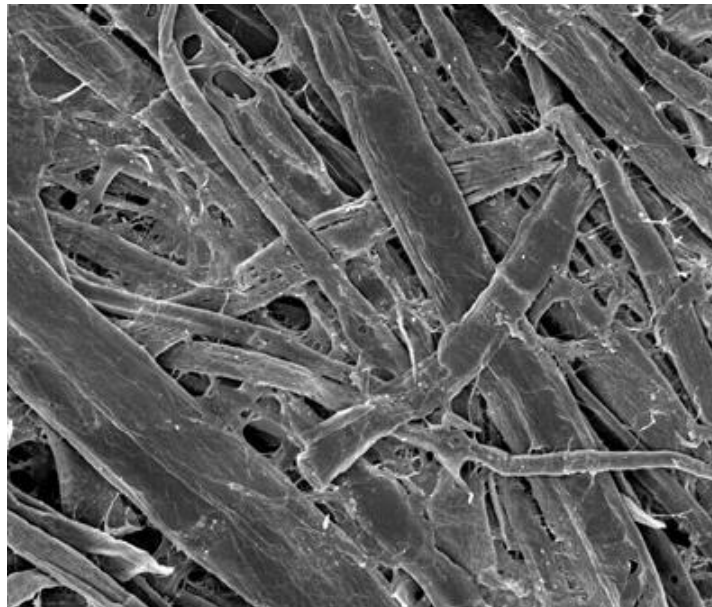
## *1.2. Struktura rada*

Ostatak doktorske disertacije organiziran je kako slijedi. Drugo poglavlje je posvećeno općim svojstvima i karakteristikama papira kao najčešće tiskovne podloge s naglaskom na generalna obilježja nepremazanih papira. U trećem poglavlju je na sažet način predstavljen razvoj digitalnih tehnika tiska koje će biti zastupljene u ovoj disertaciji pri čemu su posebno razrađeni fizikalni principi na kojima se temelje ove tehnike tiska, kao i njihov povijesni razvoj. Također izložene su i karakteristike bojila i papirnih supstrata optimalnih za pojedinu tehniku tiska. Četvrto poglavlje daje detaljan pregled objavljenih istraživanja iz područja interakcije svjetlosti i papira, te iznosi problematiku određivanja mehaničkog i optičkog prirasta rastertonske vrijednosti i njihovog razdvajanja. Peto poglavlje predstavlja mogućnosti detekcije ruba i daje obilježja najčešće korištenih funkcija raspodjele vjerojatnosti u karakterizaciji funkcija razmazivanja točke i linije. Eksperimentalni dio započinje određivanjem svojstava papira korištenih u istraživanju koji su prezentirani u šestom poglavlju, te se nastavlja određivanje optičkog dijela funkcije razmazivanja točke mjerenjem interakcije kolimiranog laserskog snopa i neotisnute papirne podloge koje je izneseno u sedmom poglavlju. Osmo poglavlje, ujedno i najopširnije, se bavi određivanjem mehaničkog i optičkog prirasta rastertonske vrijednosti generiranih otisaka. Zaključci istraživanja predstavljeni su u posljednjem, devetom poglavlju.

## 2. Svojstva papira

Unatoč iznimnom tehnološkom napretku u razvoju novih materijala papir je i dalje najčešće korištena tiskovna podloga, te će zasigurno to mjesto zadržati i u budućnosti. To je jedan od glavnih razloga zašto je industrija papira u stalnoj potrazi za novim tehnološkim rješenjima. Kako bi se nadvladali ovi izazovi, ključan je multidisciplinarni pristup koji će uključivati prije svega temeljne znanosti, fiziku i kemiju, s naglaskom na svojstva materijala i strukturu konačnog proizvoda. Poznavanje svojstava papira važno je dijelom zbog toga što je podloga vidljiva između otisnutih područja, a dijelom zbog toga što ona definira pozadinsko raspršenje otiska.

Papir je složeni vlaknasti materijal (slika 2.) čija proizvodnja uključuje znatne količine prirodnih i industrijskih resursa, zbog čega se sve više pribjegava računalnim simulacijama pri razvijanju novih tipova papira i usavršavanja postojećih, što smanjuje troškove proizvodnje i daje pouzdani uvid u konačni rezultat.

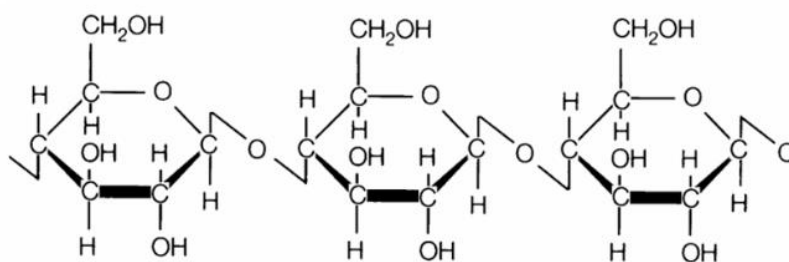


Slika 2. Slika površine papira snimljene elektronskim mikroskopom (SEM) <sup>[1]</sup>

Primarni sastojci papira su celulozna vlakanca, punila, keljiva (prirodne ili umjetne smole koje kontroliraju hidrofobnost papira smanjujući njegovu poroznost i upojnost) i dodaci (optička bjelila, koloranti, voskovi).



Čista celuloza se sastoji od dugih, vrpčastih molekula koje sačinjavaju manje gradbene jedinice - molekule glukoze. Molekule celuloze su međusobno vezane vodikovim vezama tvoreći dugačke ravne lance (dužina lanca ovisi o broju glukoznih jedinice) koji paralelno naliježu jedan na drugoga i tvore tzv. mikrofibrile koji se grupiraju u snopove formirajući papirno vlakno <sup>[2]</sup>.



Slika 3. Struktura celuloze<sup>[2]</sup>

Keljiva su prirodne ili umjetne smole koje se dodaju u papir s ciljem održavanja konzistentnosti pojedinačnih vlakana i kontroliranja hidrofobnosti papira, smanjujući njegovu poroznost i upojnost.

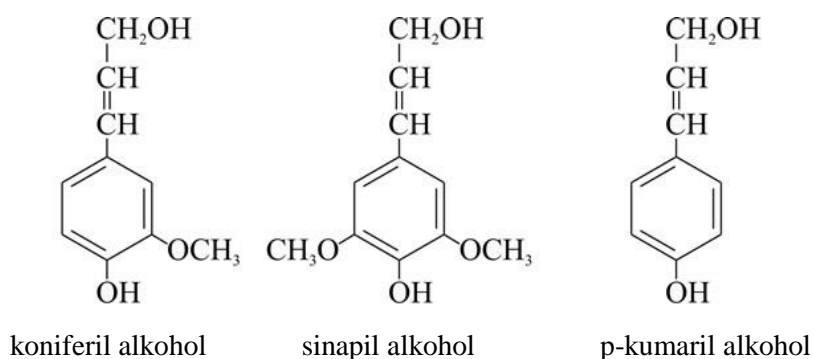
Punila su uglavnom anorganski pigmenti koji popunjavaju međuprostore u vlaknastoj strukturi, čime se povećava glatkoća papira, a ujedno se koriste za povećanje gramature zbog niske proizvodne cijene. Dodavanje punila ima svoje pozitivne i negativne strane, punilima se povećava opacitet, tj. bjelina papira, dok se istovremeno smanjuje čvrstoća papira kao i stupanj keljenja. Najčešće korištena punila su kaolin, talk, kreda, gips i titan oksid. Što su zrnca punila manja, bolje popunjavaju praznine <sup>[3]</sup>.

Biljna vlakna od kojih se proizvode celuloza i vlaknasta celuloza sadrže i hemicelulozu i lignin, uz dodatak raznih drugih komponenata koje je potrebno izdvojiti jer se svojim svojstvima bitno razlikuju od celuloze. Razdvajanjem celulozних vlakana iz drva, kemijskim ili mehaničkim putem, te njihovom disperzijom u vodi s dodacima u točno definiranom omjeru dobije se pulpa - vlaknasti lignocelulozni materijal koji je baza za proizvodnju papira na papir-stroju. Izdvajanje hemiceluloze je poprilično uspješno zbog njene lake topljivosti, dok je situacija s ligninom znatno kompleksnija, te se on ne može u potpunosti eliminirati.

S obzirom na primijenjeni način razdvajanja celulozних vlakana razlikujemo mehaničku i kemijsku pulpu.

Mehanička pulpa se dobiva mehaničkim razvlaknjivanjem drva, a karakterizira je značajan zaostatak lignina u vlaknima zbog čega su papiri proizvedeni od mehaničke pulpe slabijih mehaničkih svojstava i žućkasto smeđeg tona, uz nešto viši opacitet. Od nama svakodnevno dostupnih papira s velikim udjelom mehaničke pulpe izdvajaju se tiskovine bez trajne vrijednosti kao što su novine i uredski papir.

Kemijskom obradom vlakanaca moguće je u znatno većoj mjeri, iako ne u potpunosti, ukloniti lignin, pa se zbog toga takav papir naziva bezdrveni papir i koristi se za proizvodnju kvalitetnijih papira. Lignin je složeni aromatski polimer 4-hidroksicinamil alkohola (p-kumaril alkohola) i njegovih 3-i/ili 3,5-metoksilatnih derivata, prvenstveno koniferil i sinapil alkohola <sup>[4]</sup> a može činit i do 30% biljne mase.

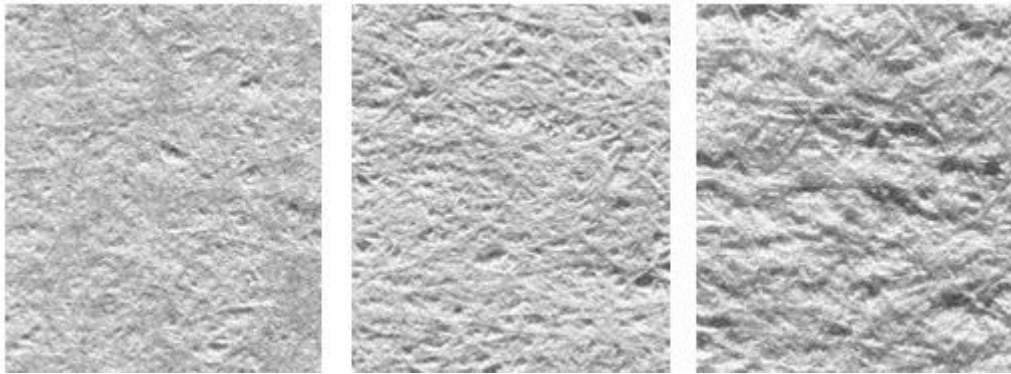


Slika 4. Osnovne monomerne jedinice u molekuli lignina <sup>[5]</sup>

S obzirom na to da su vlakna mnogo duža od debljine lista papira, papirnu mrežu možemo promatrati kao približno dvodimenzionalnu <sup>[6]</sup>. Ovisno o procesu proizvodnje, težina vlakana koja su u papiru je  $5-10 \text{ g/m}^2$ , što znači da se uobičajeni papir za otiskivanje i pisanje sastoji od 5 do 20 slojeva vlakana <sup>[7]</sup>. Proizvodni proces generira razlike u površinskim karakteristikama dviju strane, sitovne strane i gornje strane. Dvostranost može biti izražena u bjelini, glatkoći i upojnosti papira. Sitovna strana tj. hrapava strana ima veću upojnost, što prilikom tiska može dovesti do slabljenja tonskih vrijednosti, te se za tisak obično bira gornja strana. Gornja strana je bogatija punilima što rezultira ravnomjernijom distribucijom boje po cijelom presjeku papira.

Vlakanca koja potječu od drva imaju prirodno žutu nijansu zbog velike apsorpcije svjetlosti u plavom dijelu spektra zbog čega se u većinu papira dodaju optička bjelila kako bi kompenzirala gubitak refleksije i povećala bjelinu papira.

Površina papira se dodatno oplemenjuje raznim doradnim procesima kao što su premazivanje, impregniranje, pergamentiranje, laminiranje, itd. Najčešći postupak dorade papira je premazivanje, pa tako papire dijelimo na premazane i nepremazane. Nepremazane papire s obzirom na namjenu možemo klasificirati na ofsetne, elektrofotografske, knjižne, listovne. Premazivanje se može provesti na razne načine, špricanjem, nanošenjem premaza rakelom, četkama ili valjcima, u više slojeva, jednostrano ili obostrano. Premazi se sastoje od mješavine pigmenata, veziva i optičkih dodataka.

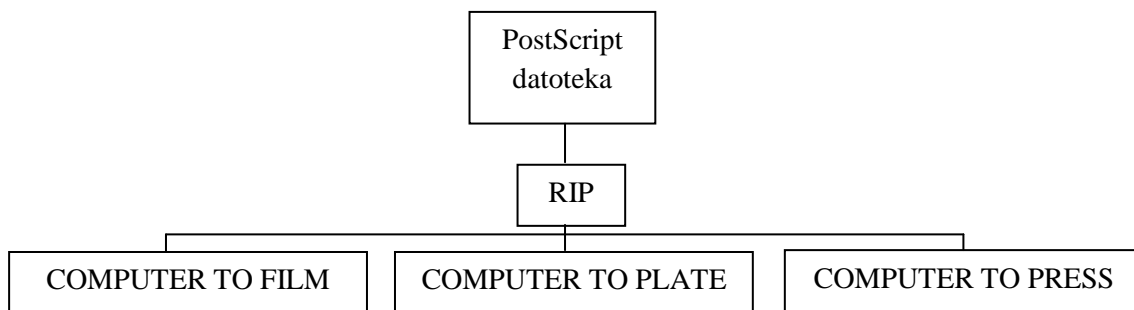


Slika 5. Površina nepremazanih papira različite hrapavosti <sup>[8]</sup>

Primarni cilj proizvođača papira je produkcija papira čija svojstva ispunjavaju zahtjeve tehnike tiska kojoj su namijenjeni. Kako bi se ovaj zahtjev ispunio, potrebno je prilagoditi cijeli niz svojstava od hrapavosti, površinske energije, električnih svojstava, poroznosti do svjetline i opaciteta.

### 3. Razvoj Computer to Press tehnologije

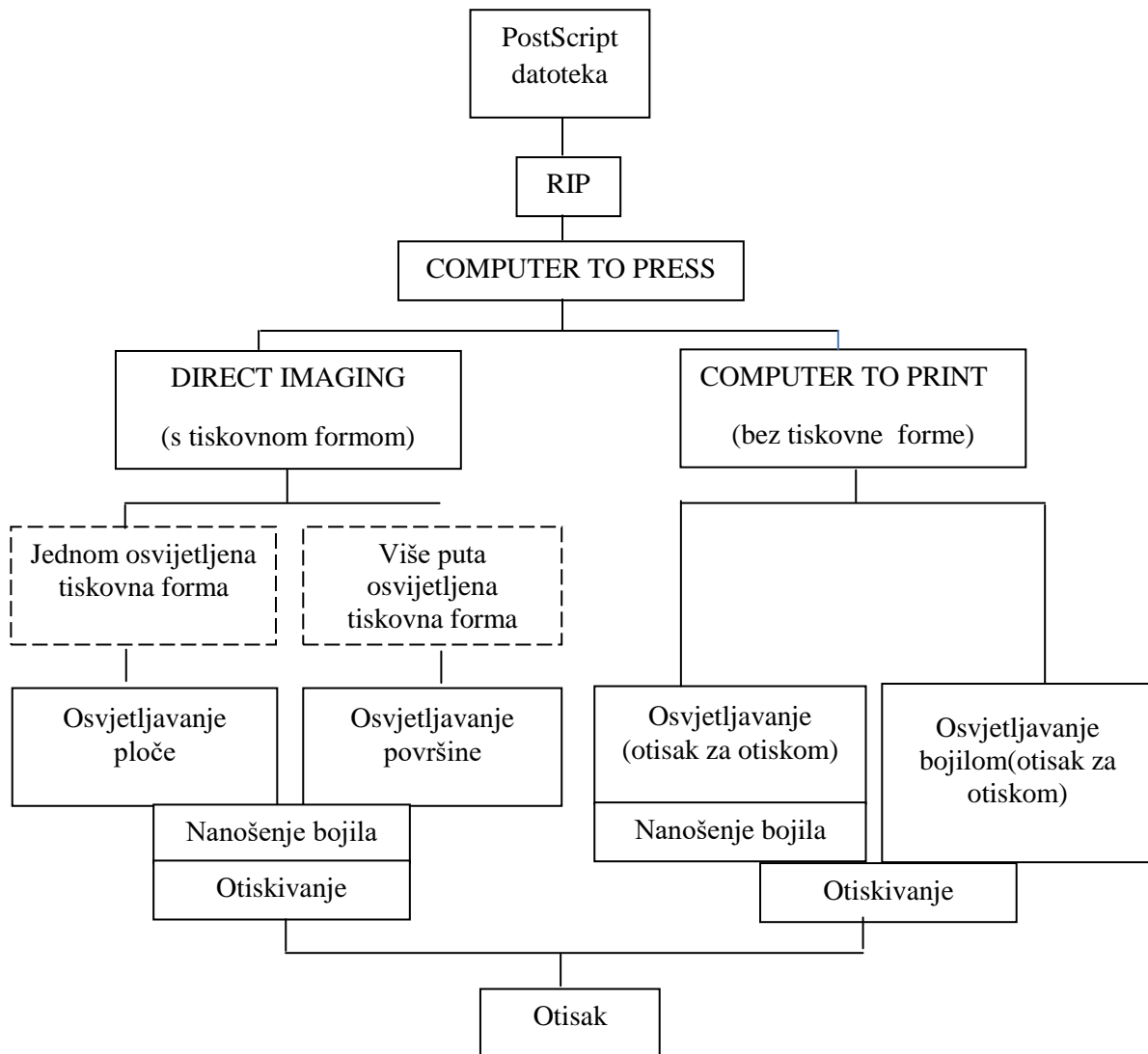
Početakom 90-ih godina prošlog stoljeća računala postaju ključni dio grafičkog proizvodnog procesa, pri čemu se materijali pripremljeni standardnim grafičkim aplikacijama najprije prevode u digitalni oblik (Post Script datoteka) koji se u RIP uređaju pretvaraju u rastriranu površinu koja se primjenjuje u jednoj od tri tehnologije otiskivanja - Computer to Film, Computer to Plate i Computer to Press (slika 6). Rastriranje je postupak pretvaranja višetonske slike u jednostonsku. Karakterizirano je linijaturom (brojem linija po centimetru), oblikom rasterskog elementa (kružni, eliptični, linijski) i kutom rastriranja.



Slika 6. Computer to tehnologije <sup>[9]</sup>

Computer to Plate tehnologija omogućila je direktnu izradu tiskovne forme iz računala, pri čemu je izbjegnuto postupak izrade filmova što znatno smanjuje gubitak informacija i ubrzava izradu tiskovne forme.

Computer to Press tehnologija (slika 7.) se dalje dijeli na Direct Imaging tehnologiju u kojoj se osvjetljavanje tiskovne forme događa u samom stroju nakon čega se sam proces otiskivanja provodi na sličan način kako i kod klasičnih tehnika tiska i Computer to Print tehnologiju kod koje ne postoji realna tiskovna forma. Ink jet i elektrofotografski uređaji najzastupljeniji su predstavnici Computer to Print tehnologije.

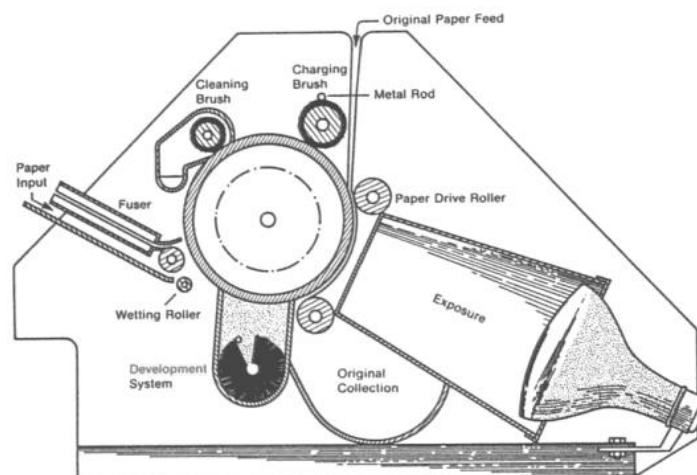


Slika 7. Usporedba Computer to print i direct imaging tehnologije <sup>[9]</sup>

Sveobuhvatan opis svih tehnika tiska je izvan granica ove disertacije, te će se u narednim poglavljima, ovisno o njihovoj zastupljenosti u eksperimentalnom dijelu, nešto detaljnije predočiti prije svega elektrofotografija, potom piezoelektrični inkjet, dok će tehnike direktnog osvjetljavanja biti objašnjene samo na fenomenološkom nivou.

### 3.1. Elektrofotografija

Razvoj elektrofotografije je neraskidivo vezan uz lik i djelo Chestera Carlsona koji je tijekom tridesetih godina prošlog stoljeća počeo istraživati mogućnosti formiranja elektrostatske latentne slike foto vodljivim selektivnim izbijanjem površine nabijenog izolatora, popraćeno razvijanjem latentne slike metodom oprašivanja nabijenim praškastim tonerom <sup>[10]</sup>. Kako je Carlson došao na ovu ideju nije poznato, ali mu je radno mjesto u uredu za patente omogućavalo uvid u dotadašnja istraživanja od kojih su se posebno izdvajale Lichtenbergova<sup>[11]</sup> i Selenyjeva<sup>[12]</sup> saznanja o stvaranju slike na izolatorima. Carlsonu se u međuvremenu pridružio Otto Kornei uz čiju je pomoć proveo prve eksperimente i prijavio patent 1939. godine <sup>[13]</sup>. Prvi automatizirani kopirni uređaj (slika 8) ugledao je svjetlo dana 1944, a popraćen je s naredna dva patenta <sup>[14,15]</sup>.



Slika 8. Prvi automatizirani kopirni uređaj <sup>[16]</sup>

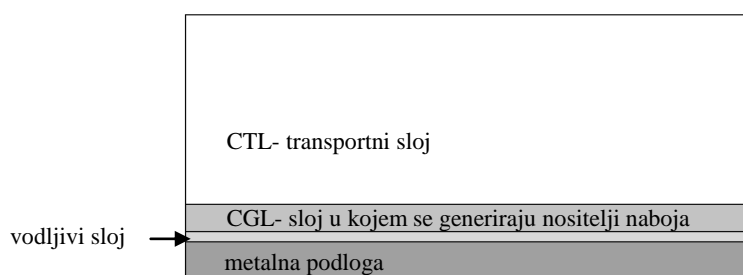
Unatoč golemom tehnološkom napretku današnjih uređaja u usporedbi s prvim prototipom osnovni koraci elektrofotografije su i dan danas identični Carlsonovim, a uključuju nabijanje fotoosjetljive površine, generiranje latentne slike laserom ili LED diodom, nabijanje i razvijanje tonera na foto vodljivoj površini, prijenos razvijene slike (tonera) na papir, brisanje zaostalog tonera i fiksiranje slike.

#### 3.1.1. Nabijanje

Prva faza elektrofotografskog procesa podrazumijeva generiranje uniformnog sloja naboja na fotoosjetljivoj površini. Fotoosjetljiva površina kao cjelina ima karakteristike izolatora dok

nije izložena vanjskom djelovanju svjetlosti, a prilikom osvjetljavanja ima karakteristike vodiča, samim time jasno je da mora zadovoljavati određene uvjete vezane uz količinu naboja koju mora primiti i zadržati, pri čemu je nužna njena uniformna raspodjela, te sposobnost neutralizacije dijela/cijele površine u što kraćem vremenskom roku <sup>[17]</sup>.

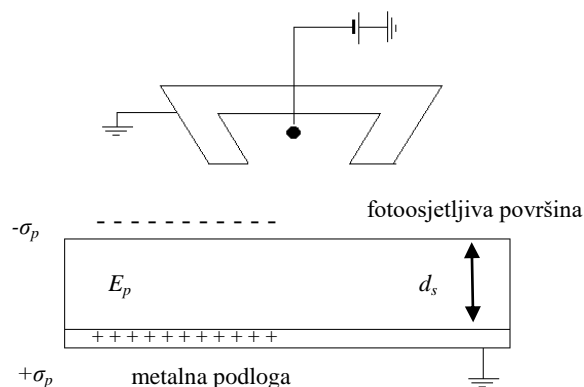
Očekivano, građa fotoosjetljive površine određuje njene karakteristike. Fotoosjetljive površine se prema svom sastavu dijele na organske i anorganske. Razvojem modernih materijala, organske fotoosjetljive površine temeljene na vodljivim polimerima su lagano preuzele primat. Daljnja klasifikacija organskih fotoosjetljivih površina uključuje jednoslojne tzv. homogene fotoosjetljive površine kod kojih šupljine i elektroni prenose naboj kroz sloj polimernog veziva, i višeslojne koje su puno zastupljenije u uporabi, a sastoje se od, temeljne podloge, vodljivog sloja, sloja u kojem se stvara (inducira) naboj, i sloja u kojem se naboj prenosi.



Slika 9. Poprečni presjek organske fotoosjetljive površine

Gornji sloj je najdeblji, zbog najveće podložnosti degradaciji prilikom razvijanja i čišćenja, te sa stanjuje za  $1\mu\text{m}$  svakih 100000 otisaka <sup>[18]</sup>.

Nabijanje fotoosjetljive površine odvija se pomoću korotrona (slika 10.) pri čemu koronsko pražnjenje (izboj) uniformno nabija fotoosjetljivu površinu. Korotron je visokonaponski izvor koji pri dovoljno visokom naponu stvara intenzivno električno polje oko elektrode (žičica) koja se nalazi u uzemljenom kućištu. Gradijent električnog polja uzrokuje ionizaciju zraka u neposrednoj blizini sudarima slobodnih elektrona sa molekulama zraka. Nastali ioni se zbog djelovanja elektrostatskih sila gibaju prema fotoosjetljivoj površini. Napon potreban za ionizaciju ovisi o električnom polju nužnom za ubrzavanje elektrona do kritične brzine ionizacije molekula zraka i o udaljenosti elektrode od fotoosjetljive površine.



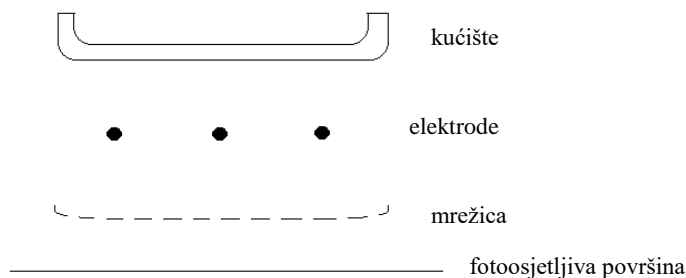
Slika 10. Shematski prikaz korotrona <sup>[18]</sup>

Iz Gaussovog zakona može se odrediti ovisnost potencijala o plošnoj raspodjeli naboja

$$U = E_p d_s = \frac{\sigma_p d_s}{\epsilon_0 \epsilon_s} \quad (1)$$

gdje je  $E_p$  unutarnje električno polje između fotoosjetljive podloge i temeljne površine,  $d_s$  debljina fotoosjetljive površine,  $\epsilon_s$  dielektrična konstanta površine,  $\epsilon_0$  permitivnost vakuumu,  $\sigma_p$  naboj po jedinici površine.

Druga metoda nabijanja fotoosjetljive površine je putem skorotrona (slika 11.) koji je konstrukcijski jednak korotronu uz dodatak skorotronske mrežice koja regulira nabijanje podloge, naime negativni ioni su ubrzani razlikom potencijala između mrežice i površine. Izjednačavanjem potencijala mrežice i površine zaustavlja daljnje nabijanje površine.



Slika 11. Shematski prikaz skorotrona

### 3.1.2. Generiranje latentne slike

Generiranje latentne slike je proces u kojem se računalno obrađeni dokument putem sustava za osvjetljavanje projicira na nabijenu fotoosjetljivu površinu i neutralizira je na osvjetljenim mjestima. Nužna je komplementarnost upotrijebljene svjetlosti, tj. njene energije i



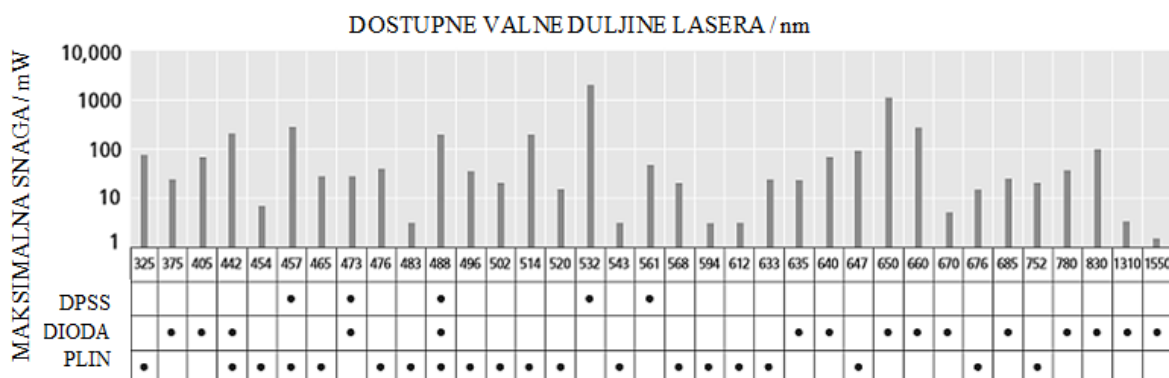
fotoosjetljivosti površine. Budući da se kod suvremenih fotoosjetljivih površina ide ka sve većem skraćivanju intervala osvjetljavanja, karakteristike površina se modificiraju kako bi se postigla odgovarajuća mobilnost elektrona.

### 3.1.2.1. Svjetlosni izvori u sustavima za osvjetljavanje

Svi trenutno dostupni sustavi za osvjetljavanje koriste lasere ili nizove LED-ica. Razvojem laserske tehnologije, evoluirali su i sustavi za osvjetljavanje, tako su u počecima korišteni plinski laseri čije su mjesto postupno preuzeli poluvodički laseri.

#### 3.1.2.1.1. Svojstva lasera

Prednost lasera leži u njegovim svojstvima, koherentnosti, monokromatičnosti i usmjerenosti, tj. kolimiranosti svjetlosti koja omogućuje korištenje komplementarnih sustava izvora svjetlosti i organske polimerne površine.



Slika 12. Komercijalno dostupne valne duljine i snage lasera s obzirom na vrstu lasera (DPSS-diodni laser sa čvrstom jezgrom, DIODA-diodni poluvodički laser, PLIN-plinski laser) <sup>[19]</sup>

Kvaliteta definiranja latentne slike ovisi o karakteristikama laserskog snopa zbog čega će se u narednim retcima dati kratak pregled osnovnih svojstava lasera.

Unatoč visokoj kolimiranosti laserske svjetlosti ipak dolazi do neznatnog širenja snopa uvjetovanog optičkim karakteristikama lasera i medijem kojim se svjetlost širi. Svojstva laserskog snopa su definirana polumjerom zakrivljenosti

$$R(z) = z \left[ 1 + \left( \frac{\pi w_0^2}{\lambda z} \right)^2 \right] \quad (2)$$

i širinom snopa u ovisnosti o udaljenosti od izlaza laserske zrake

$$w(z) = w_0 \left[ 1 + \left( \frac{\lambda z}{\pi w_0^2} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (3)$$

gdje je  $z$  udaljenost od ravnine gdje je valna fronta ravna,  $\lambda$  valna duljina svjetlosti,  $w_0$  označava polumjer laserskog snopa na njegovom najužem dijelu ( $z=0$ ).

Raspodjela zračenja Gaussove TEM<sub>00</sub> zrake jednaka je duž cijelog presjeka zrake

$$I(r) = I_0 e^{-2r^2/w^2} = \frac{2P}{\pi w^2} e^{-2r^2/w^2} \quad (4)$$

gdje je  $P$  je ukupna snaga zrake.

Kako se  $R(z)$  asimptotski približava  $z$  za velike vrijednosti  $z$ ,  $w(z)$  se istovremeno asimptotski približava vrijednosti

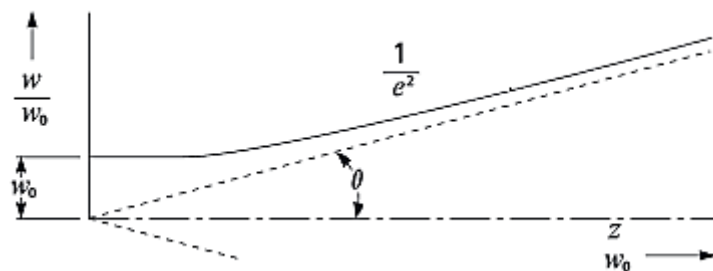
$$w(z) = \frac{\lambda z}{\pi w_0} \quad (5)$$

pri čemu vrijedi pretpostavka da je  $z$  puno veći od  $\pi w_0^2/\lambda$  tako da se može definirati polovica kuta divergencije snopa

$$\theta = \frac{w(z)}{z} = \frac{\lambda}{\pi w_0} \quad (6)$$

što je ujedno i kutni polumjer daleke točke Gaussove TEM<sub>00</sub> zrake. Tjeme konusa leži u centru zrake (slika 13).

Za razliku od konvencionalnih svjetlosnih zraka, Gaussove zrake ne divergiraju linearno (slika 13.). Blizu izlaza laserske zrake kut divergencije je zanemariv, dok se udaljavanjem kut divergencije povećava i približava asimptoti.



Slika 13. Rast promjera laserskog snopa kao funkcija udaljenosti od izlaza zrake

Rayleighov raspon definiran je kao udaljenost na kojoj se polumjer proširio za  $\sqrt{2}$

$$z_R = \frac{\pi w_0^2}{\lambda} \quad (7)$$

a predstavlja granicu između bliske i divergencije srednjeg raspona.

Divergencija daleke točke koja je obično navedene u specifikacijama pojedinog uređaja obično se mjeri u točki  $10z_R$ . Ovisno o upotrebljenom laseru ove točke mogu biti na udaljenosti od nekoliko milimetara do nekoliko metara <sup>[20]</sup>.

Povećanjem snage i kompleksnosti mehanizma pobuđivanja, laserske zrake sve više odstupaju od idealne Gaussove.

Izrazi za širenje snopa miješanih modova analogne izrazima (2) i (3) su

$$W(z) = W_0 \left[ 1 + \left( \frac{zM^2\lambda}{\pi W_0^2} \right)^2 \right]^{1/2} = W_0 \left[ 1 + \left( \frac{z}{z_R} \right)^2 \right] \quad (8)$$

$$R(z) = z \left[ 1 + \left( \frac{\pi W_0^2}{zM^2\lambda} \right)^2 \right] = z \left[ 1 + \left( \frac{z_R}{z} \right)^2 \right] \quad (9)$$

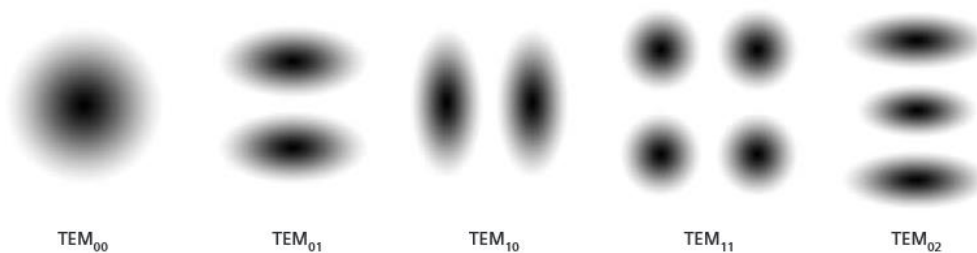
dok Rayleighov raspon ostaje isti

$$Z_R = \frac{\pi W_0^2}{M^2\lambda} = \frac{\pi w_0^2}{\lambda} = z_R \quad (10).$$

Kao što je već spomenuto  $TEM_{00}$  je samo jedan od mnogih transverzalnih modova. Raspodjela modova ovisi o obliku zrcala u rezonatorima. Općenito se modovi rada lasera označavaju  $TEM_{pq}$ , gdje indeksi  $p$  i  $q$  odgovaraju broju čvorova u  $x$  i  $y$  smjeru. Niži mod implicira užu zraku, manju divergenciju daleke točke, te nižu  $M^2$  vrijednost <sup>[19]</sup>.

Za rezonatore s kvadratičnim zrcalima viši TEM modovi opisani su Hermite-Gaussovima funkcijama (slika 14).

Adekvatnim dizajnom geometrije rezonatora (manipulacijom presjeka i duljine) i dodavanjem aperture može se postići propuštanje jednog moda uz istovremeno blokiranje drugog moda.



Slika 14. Primjeri Hermite- Gaussovih modova nižeg reda

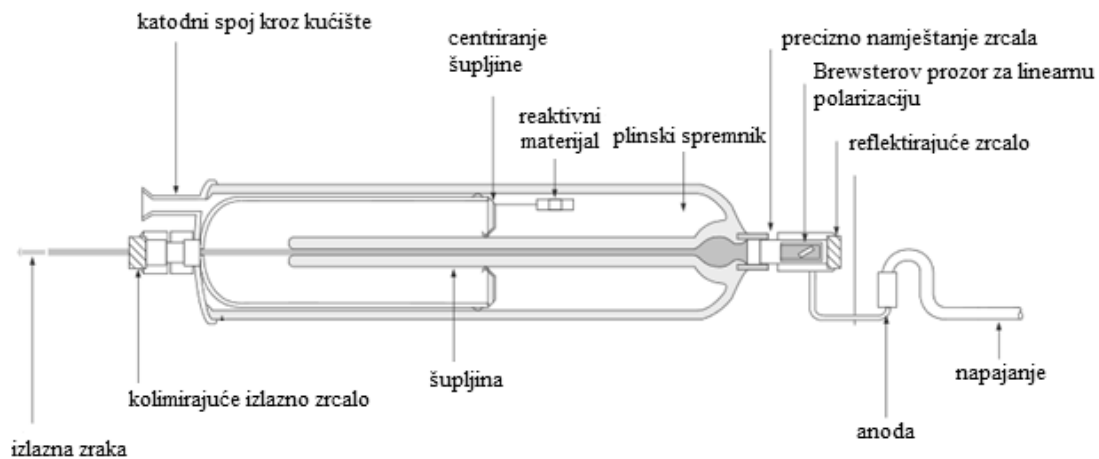
## Laseri s kontinuiranim izlazom

Kod lasera s kontinuiranim izlazom optičko pojačalo se nalazi između dva paralelno postavljena zrcala (rezonator). Jedno od dva zrcala se obično napravi tako da nije 100% reflektirajuće već propušta neku količinu svjetla (obično manje od 1%). Snop se unutar rezonatora reflektira, raste gustoća energije zračenja i nakon postizanja uvjeta za lasersku akciju snop izlazi iz laserske šupljine kroz zrcalo koje je djelomično propusno.

U širem smislu laseri se mogu podijeliti u četiri skupine: plinski, poluvodički diodni, optički pumpani i ostali (kemijski,...).

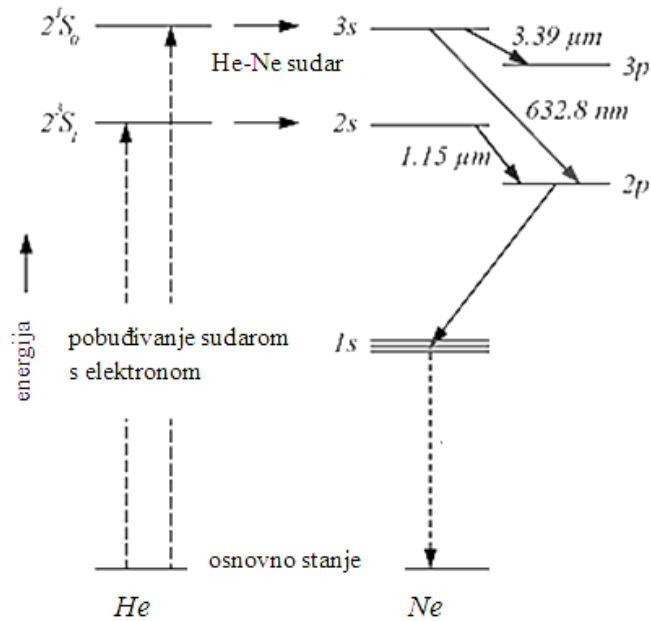
### Helij neonski laser

Standardni se helij neonski laser (slika 15.) sastoji od šuplje cijevi napunjene smjesom helija i neona u točno određenom omjeru.



Slika 15. Konstrukcija He-Ne lasera

Atomi helija pobuđeni su visoko naponskim izvorom nakon čega neelastičnim sudarima predaju energiju atomima neona koji prelaze u pobuđena stanja. Kada dovoljan broj atoma neona primi energiju spomenutim mehanizmom, ostvarila se znatna inverzija naseljenosti u odnosu prema nižim stanjima. Pobuđeni atom neona se vraća u osnovno stanje prilikom čega se spontano emitira foton (slika 16).



Slika 16. Energijske razine u He-Ne laseru

Stavljanjem cijevi između dva zrcala dobiva se optički rezonator. Emitirana svjetlost iz ovakvog rezonatora nije polarizirana. Da bi dobili polariziranu svjetlost na krajeve cijevi postavljaju se prozori pod tzv. Brewsterovim kutom. Polarizacija refleksijom je jedan od mogućih načina polarizacije elektromagnetskih valova. Val koji upada na granicu dvaju sredstava se djelomično lomi, a djelomično reflektira, pri čemu vrijedi Snellov zakon loma

$$n = \frac{\sin\alpha}{\sin\beta} \quad (11)$$

gdje je  $\alpha$  upadni kut, a  $\beta$  kut loma.

Ako val upada pod određenim kutom  $\alpha_B$  vrijedi

$$\alpha_B + \beta = \pi/2 \quad (12)$$

iz čega slijedi Brewsterov zakon

$$\operatorname{tg}\alpha_B = n \quad (13).$$

Intenzitet reflektirane i prolazne svjetlosti ovisi o upadnom kutu i o polarizaciji upadne svjetlosti.

Koeficijenti refleksije dani su izrazima:

$$R_p = \frac{I_{Rp}}{I_{0p}} = \left[ \frac{\operatorname{tg}(\alpha - \beta)}{\operatorname{tg}(\alpha + \beta)} \right]^2 \quad (14)$$

$$R_n = \frac{I_{Rn}}{I_{0n}} = \left[ \frac{\sin(\alpha - \beta)}{\sin(\alpha + \beta)} \right]^2 \quad (15)$$

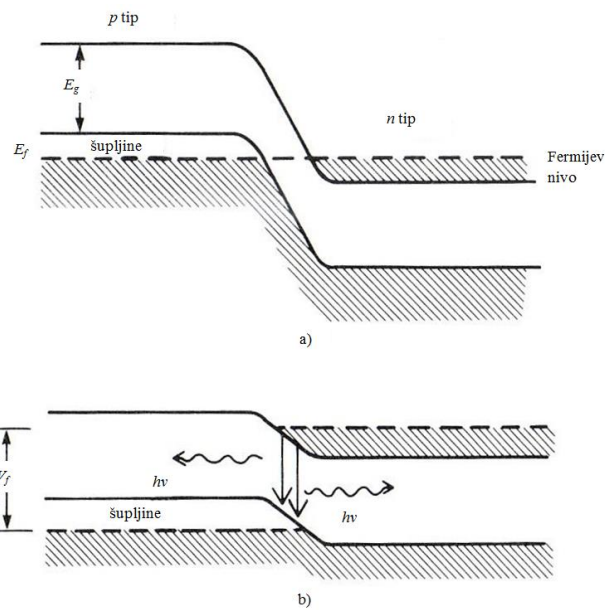
gdje indeksi  $p$  i  $n$  označavaju paralelnu i okomitu polarizaciju, a  $I_0$  intenzitet upadne svjetlosti.

Vidimo da je za upadnu svjetlost koja je paralelno polarizirana koeficijent refleksije 0 i ona direktno prolazi iz čega proizlazi da Brewsterovi prozori postavljeni na cijev lasera okomito polariziranu svjetlost zadržavaju unutar rezonatora, a paralelno polariziranu propuštaju. Najčešća izlazna valna duljina je  $633nm$  koja nastaje prijelazom iz  $3s$  u  $2p$  stanje, ali dostupni su i helij neonski laseri s valnim duljinama od  $543$ ,  $594$ ,  $612$  i  $1523nm$ . Nedostatak helij neonskog lasera je njegova niska izlazna snaga  $<10mW$ , ali gotovo isključivo radi u  $TEM_{00}$  što ga čini pogodim za razne eksperimentalne uporabe.

### Poluvodički diodni laser

Laserske diode su preuzele ulogu najšire zastupljenih opto-elektroničkih uređaja jer omogućuju direktnu transformaciju električne struje u koherentnu i monokromatsku svjetlost.

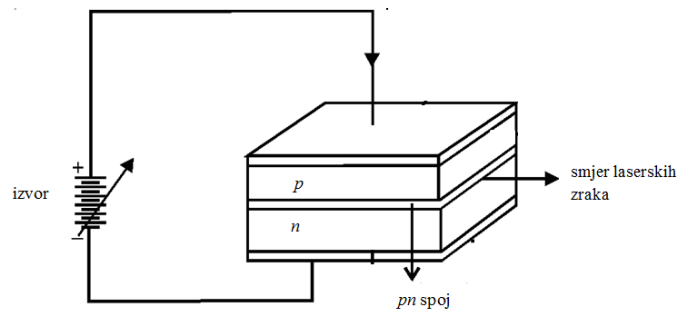
Poluvodički kristali sastoje se od velikog broja periodično smještenih atoma, čiji se energetske nivoi, tzv. vrpce odijeljene energetskim procjepima popunjavaju prema Paulijevom principu isključivanja od osnovnog stanja počinjući od najniže energije. Poluvodiče i izolatore karakterizira potpuno popunjena valentna vrpca, i ne naseljena vodljiva vrpca. Zbog znatno nižeg energetskog procjeka između valentne i vodljive vrpce kod poluvodiča nego kod izolatora, potrebna je bitno niža energija za pobuđivanje elektrona i njihov prijelaz u vodljivu vrpcu. Kad se nađu u vodljivoj vrpci elektroni se mogu slobodno gibati, pa je poluvodič tada sličan metalu. Raspodjela elektrona po energetskim vrpcama određena je Fermi Diracovom raspodjelom pritom se može definirati Fermijev nivo kao energetska razina ispod koje su na apsolutnoj nuli elektronska stanja popunjena, kod metala on se nalazi u valentnom pojasu, a kod poluvodiča u energijskom procjepu. Kod intrinzičnih poluvodiča (poluvodiča čija se kristalna rešetka sastoji od atoma samo jednog elementa) Fermijev nivo nalazi se na polovici energijskog procjeka. Intrinzična vodljivost poluvodiča može se pojačati dodavanjem određenih atoma nečistoća. Poluvodiči s viškom elektrona su tzv.  $n$ -tipa, i njihov Fermijev nivo se nalazi bliže bliže vodljivoj vrpci, a oni s manjkom elektrona (viškom šupljina) su poluvodiči  $p$ -tipa, te se njihov Fermijev nivo se nalazi bliže valentnoj vrpci <sup>[21]</sup>. Ako se u kontakt dovedu  $p$ -tip i  $n$ -tip poluvodiča stvara se vrlo tanki  $pn$ -spoj s jedinstvenim Fermijevim nivoom u kojem elektroni migriraju u energetski povoljnije konfiguracije, a koji posjeduje lokalno pomaknute energetske vrpce.



Slika 17. a) degenerirano onečišćenje, b) inverzija naseljenosti <sup>[21]</sup>

Kako bi  $pn$  spoj služio kao laser potrebno je dovoljno onečišćenja (degenerirano onečišćenje) da bi Fermijev nivo prolazio kroz vodljivu i valentnu vrpcu (slika 17.a).

Za postizanje inverzije naseljenosti (slika 17.b), nužne za generiranje laserske svjetlosti, mora se na diodu dovesti vanjski potencijal. Ako se laserska dioda spoji na izvor napajanja tako da bude propusno polarizirana (pozitivni pol na  $p$ -sloj, a negativni na pol na  $n$ -sloj) šupljine iz  $p$ -sloja i elektroni iz  $n$ -sloja bit će injektirani u  $pn$ -spoj gdje se stvara inverzija naseljenosti. Vjerojatnost da će nadolazeći foton inducirati stimuliranu emisiju je veća od vjerojatnosti da će biti apsorbiran što će u konačnici rezultirati lavinom fotona. Rezultat će biti pojačanje svjetlosti, odnosno povećani broj fotona s energijom prijelaza. Kako bi nastale koherentne zrake nužno je na krajeve poluvodiča nepariti tanki reflektivni sloj koji osigurava postojanje rezonantne šupljine <sup>[22]</sup>.



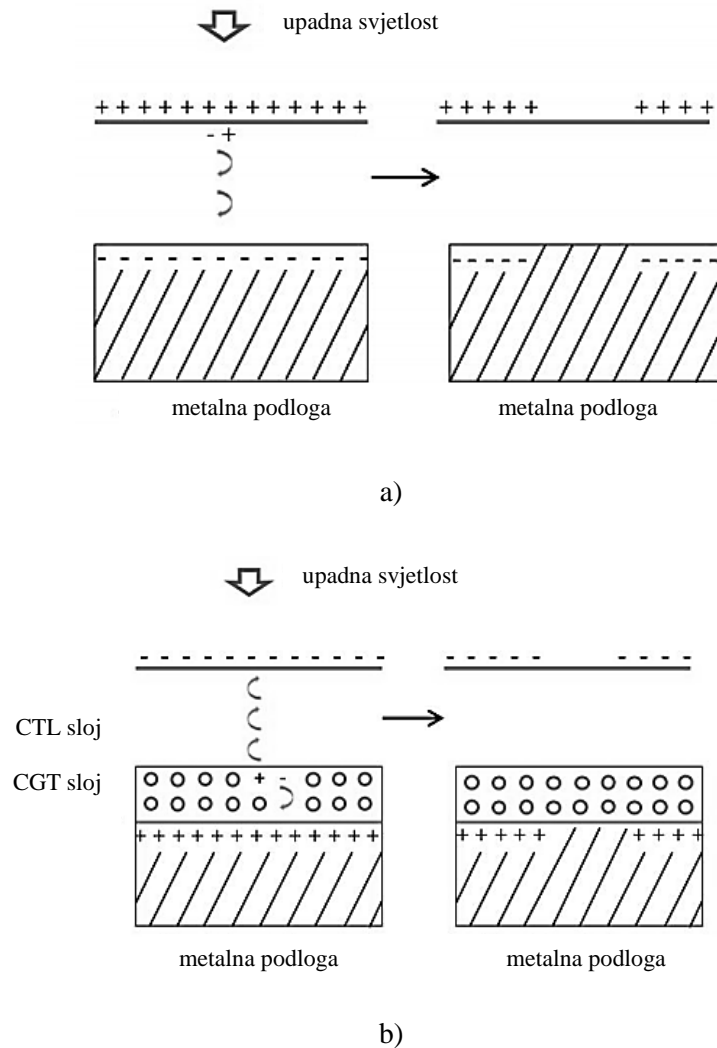
Slika 18. Ilustracija *pn* lasera <sup>[22]</sup>

Laserske diode karakterizira kompaktnost, dug životni vijek, mala potrošnja električne energije i infinitezimalna spektralna širina ( $\sim 0,0001\text{nm}$ ). Danas se proizvodi velik broj tipova dioda različitih karakteristika, oblika i dimenzija. Unatoč nabrojenim prednostima, laserske diode su daleko od idealnih. Naime, budući da je tipična izlazna apertura na poluvodičkom diodnom laser mala, divergencija zrake je značajna. Također, zraka je sama po sebi eliptična tako da je poželjna uporaba korekcijske optike <sup>[23]</sup>.

### 3.1.2.2. Princip osvjetljavanja naelektrizirane fotoosjetljive površine

Razmatranja o poluvodičima možemo iskoristiti za pojašnjenje procesa koji se događaju u slojevima fotoosjetljive podloge prilikom njenog osvjetljavanja, unatoč značajnim razlikama između standardnih poluvodiča i organskih polimera. U slučaju jednoslojne fotoosjetljive podloge generiranje foto elektrona i njihov transport se odvijaju u istom materijalu na račun upadne svjetlosti (slika 19). Kod dvoslojne površine CTL sloj je transparentan za primijenjenu svjetlost, ali zato CGL sloj apsorbira veći dio upadnog zračenja što omogućuje generiranje para šupljina – elektron. Djelovanjem električnog polja uspostavljenog tijekom elektriziranja fotoosjetljive površine dolazi do injektiranja šupljina u CTL sloj i njihovog pomicanja prema negativno nabijenoj površini uz istovremeno gibanje elektrona prema uzemljenoj metalnoj podlozi. Prijenos nosioca naboja (šupljine ili elektrona) kroz CTL sloj određena je mobilnošću,  $\mu$ , i srednjim putem koji nosilac naboja prijeđe unutar polja prije nego postane zarobljen.

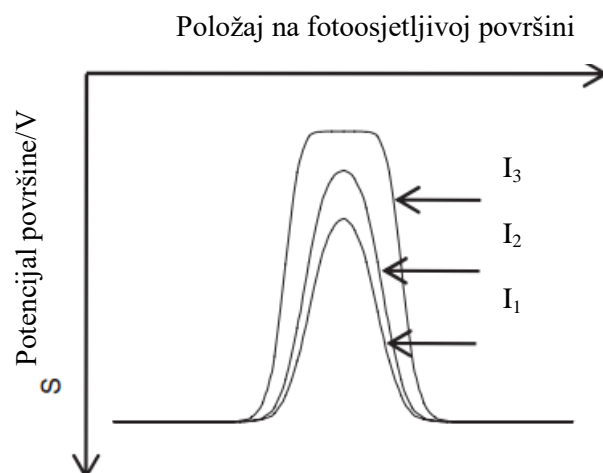




Slika 19. Osvjetljavanje a) jednoslojne b) dvoslojne fotoosjetljive površine

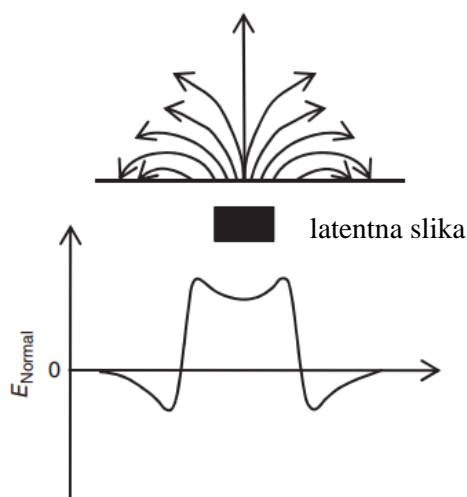
Povećanjem intenziteta upadne svjetlosti, smanjuje se konačna razlika potencijala između površine CTL sloja i metalne podloge zbog povećanog broja nosilaca naboja. Kao i kod standardnog kondenzatora, i u ovom slučaju se izbijanje površine ne događa trenutačno. Za tipičan dvoslojni sustav debljine CTL sloja  $25\mu m$  s tipičnom mobilnosti  $10^{-6} cm^2/Vs$  pri električnom polju  $10^4 V/cm$  s početnim površinskim potencijalom  $10^3 V$ ,  $0,3s$  nakon osvjetljavanja preostaje rezidualni napon od  $20V$ , koji se nakon  $1s$  smanjuje na  $7V$ . Uzimajući u obzir i zarobljene nosioce naboja, rezidualni napon se gotovo nikad ne spušta ispod  $20V$  [24].

Intenzitet upadnog zračenja značajno utječe i na promjer osvjetljene točke (slika 18). Naime, migriranjem nosioca naboja kroz CTL sloj dolazi do međusobnog odbijanja naboja zbog djelovanja Coulombove sile. Budući da veći intenzitet uzrokuje povećanje broja nosioca naboja i veličina neutralizirane površine raste [25].



Slika 20. Ovisnost potencijala površine o intenzitetu upadne svjetlosti (intenzitet upadne svjetlosti raste od  $I_1$  prema  $I_3$ )<sup>[25]</sup>

Osim toga, ne smije se zanemariti ni distribucija električnog polja iznad osvijetljenog područja. Gustoća silnica ukazuje na neravnomjernost električnog polja duž latentne slike<sup>[18]</sup>, pri čemu su maksimalne vrijednosti električnog polja na rubnim dijelovima, čime se analiza ruba otisnutog elementa nameće kao metoda određivanja kvalitete tiska.

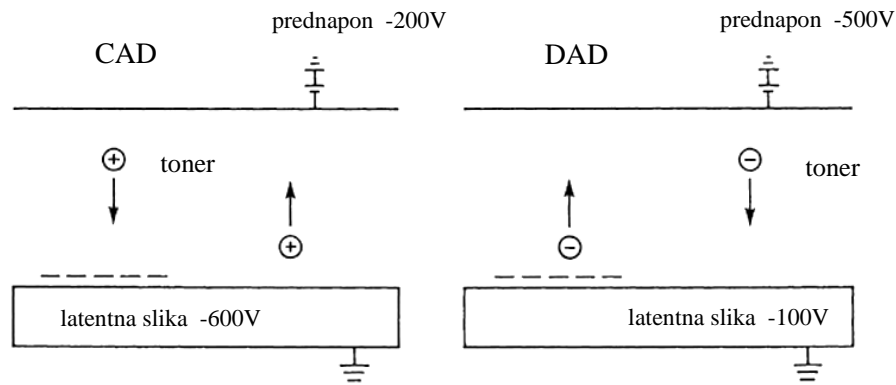


Slika 21. Električno polje iznad osvijetljenog dijela<sup>[18]</sup>

### 3.1.2.3. Pozitivsko i negativsko osvjetljavanje

Razlikujem pozitivsko (Discharged Area Development) i negativsko (Charged Area Development) osvjetljavanje (slika 22). DAD osvjetljavanje prejudicira neutralizaciju

površine na kojem će se u konačnici naći otisak, dok CAD osvjetljavanje podrazumijeva neutralizaciju svih područja na kojima se neće nanijeti toner, ostavljajući prostor na kojem će se formirati slika negativnije nabijenim od okoline. Samim time lako se može zaključiti povezanost korištenog sustava za osvjetljavanje i tonera odgovarajućeg naboja.



Slika 22. Usporedba CAD i DAD osvjetljavanja

Posljednjih godina, većina sustava je prešla na DAD osvjetljavanje.

### 3.1.3. Razvijanje

Većina elektrofotografskih sustava se pri nabijanju čestica tonera koristi tribonabijanjem. Tribonabijanje ili nabijanje dodirom je proces u kojem su materijali, u našem slučaju različiti homogeni polimeri, u kontaktu jedan s drugim, prilikom čega dolazi do prijenosa naboja s jedne površine na drugu, te njihovim odvajanjem nastaju različito naelektrizirani polimeri. Neravnoteža površinske raspodjele naboja ovisi o adheziji između površina na molekularnoj razini.

Elektrostatski nabijene čestice tonera dovode se u blizinu latentne slike što uzrokuje stvaranje električnog polja između tonera i naboja na fotoosjetljivoj površini koji uzrokuje prijanjanje tonera na latentnu sliku stvarajući realnu sliku.

#### 3.1.3.1. Toner

Važnost tonera u elektrofotografskom procesu najlakše se može ilustrirati podatkom da toner dolazi u kontakt s gotovo svim podsustavima prilikom procesa otiskivanja <sup>[26]</sup>. Toner je termoplastična smola u kombinaciji sa pigmentima, voskom, mogućim feromagnetskim materijalima. Većina tonera je obložena raznim aditivima kako bi se uspješnije kontrolirala

njegova adhezija, te poboljšao protok, ali i produžilo trajanje samog tonera. Jedna od primarnih karakteristika tonera je mogućnost apsorpcije određene količine energije bez promjene njegovih temeljnih svojstava.

Konvencionalna proizvodnja podrazumijeva obradu velikih količine smole, voska i pigmenta mehaničkim putem kako bi se dobile dovoljno sitne čestice uglavnom nepravilnog oblika i dimenzija. Za proizvodnju čestica pravilnog oblika i znatno manjih dimenzija primjenljivija je kemijska proizvodnja koja je uglavnom zastupljena procesima polimerizacije suspenzije ili emulzijske agregacije.

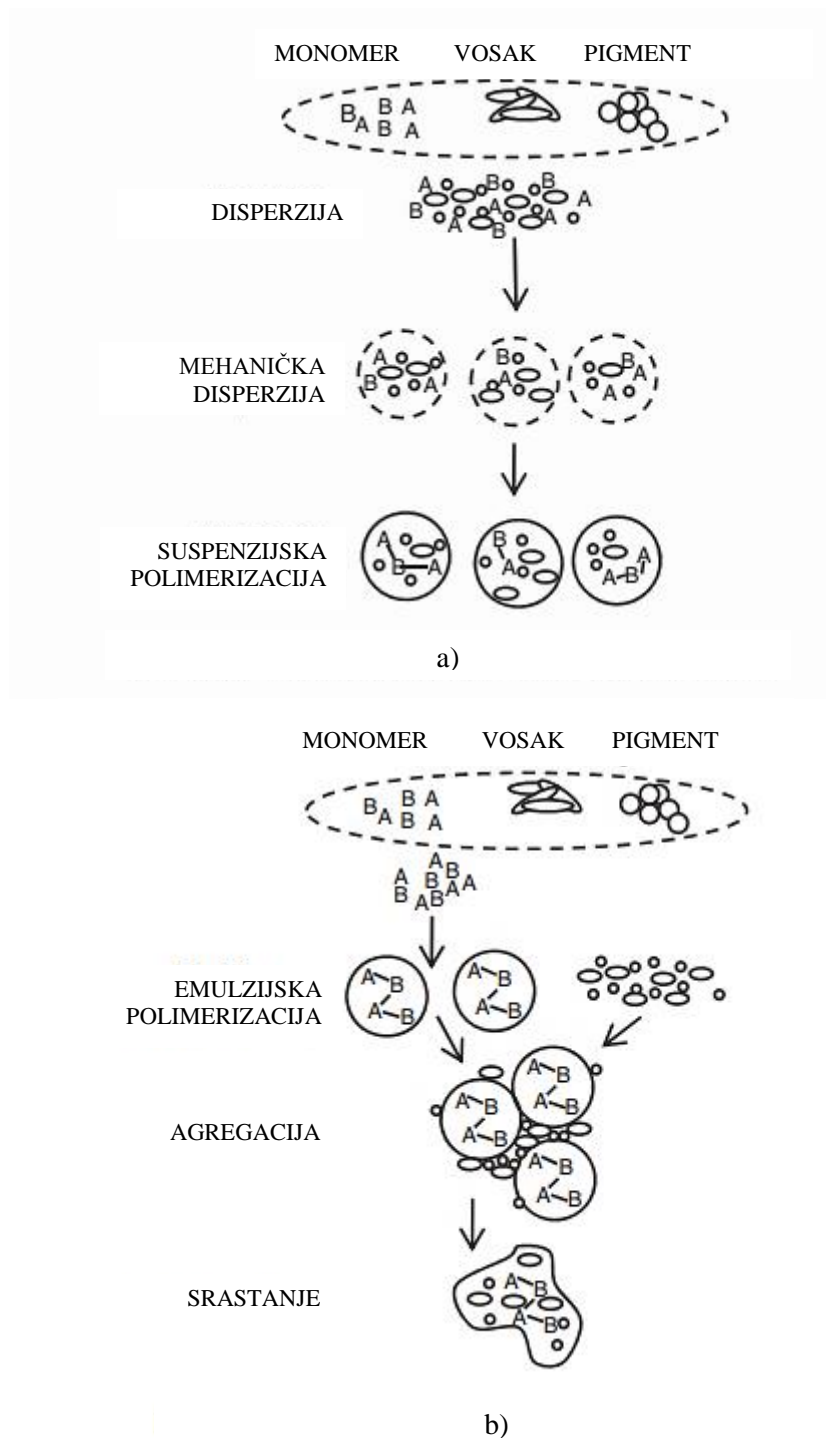
Proces polimerizacije suspenzije započinje mehaničkom disperzijom monomera, pigmenta, voska i ostalih komponenata smole, nakon čega se inicira polimerizacija suspenzije srastanjem različitih elemenata u novo nastalom polimeru (slika 23. a).

Odvojenim disperzijama emulzijski polimeriziranog polimera i ostalih sastavnih dijelova željene smole inicira se proces emulzijske agregacije (slika 23. b). Pojedinačne disperzije se podvrgavaju kontroliranoj agregaciji koja se zaustavlja u trenutku kada je postignuta odgovarajuća veličina čestica. Čestice se potom zagrijevaju kako bi se omogućilo srastanje individualnih komponenata. Većina vezivnih sredstava u toneru su termoplastični polimeri koji redom moraju zadovoljiti određene karakteristike, od uvjeta vezanih uz tribonabijanje, adheziju, osjetljivost boje i transparentnost, reoloških svojstava i karakterističnih prijelaznih temperatura. Dugogodišnja istraživanja su pokazala da ulogu veziva u elektrofotografskim tonerima najbolje ispunjavaju stiren-akrilati i poliesteri <sup>[27]</sup>.

U proizvodnji tonera se kao koloranti (obojivači) mogu koristiti pigmenti ili bojila. Bojilo ima kemijsku strukturu koja mu omogućuje otapanje u smoli tonera, ali je njegova aplikacija upitna zbog izrazite svjetlo osjetljivosti, i tendencije ka električnoj pozitivnosti što ga izuzima iz izbora kao adekvatnog koloranta za potrebe stvaranja negativno nabijenog tonera.

U usporedbi s bojilima, pigmenti imaju stabilnu kemijsku strukturu, ne topivi su u vezivnoj smoli, tako da je nužnu usitnjavanje do poželjne veličine čestice, kao i uniformna distribucija pigmenta u toneru kako bi se postigao odgovarajući ton. Kemijska struktura pigmenta ima važnu ulogu pri elektriziranju tonera zbog različitih triboelektričnih svojstava koje posjeduju <sup>[28]</sup>.

Optimalna koncentracija pigmenta u toneru ovisi o željenoj veličini tonera, smanjivanjem čestica tonera mora se povećati koncentracija pigmenta kako bi se zadržala zadovoljavajuća gustoća obojenja.

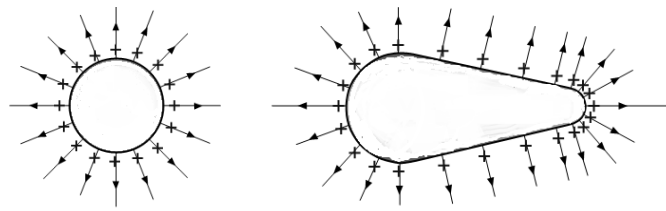


Slika 23. Proces nastajanja tonera a) suspenzijskom polimerizacijom b) emulzijskom agregacijom <sup>[29]</sup>

Što se tiče komercijalne zastupljenosti ovih proizvodnih procesa, Canon, Xerox i Kodak u proizvodnji tonera koriste suspenzijsku emulziju dok Konica i Xerox za dio svojih tonera koriste emulzijsku agregaciju.

Sredstva za kontroliranje naboja modificiraju triboelektrična svojstva nabijanja tonera. Zbog svoje polarne prirode omogućuju pozitivni ili negativni naboj tonera, ali sam način nabijanja još uvijek nije posve razjašnjen <sup>[28]</sup>. Maseni udio sredstva je između 0,1 i 4% ukupne mase vezivne smole.

Poznato je da na raspodjelu naboja na površini tonera, kao i na raspodjelu naboja na bilo kojoj površini, jako utječe oblik čestice tonera, te se na šiljcima, a ujedno i na nepravilnim dijelovima tonera nakupljaju veće količine naboja (slika 24) zbog kojih čestice tonera ne možemo smatrati uniformno nabijenima.

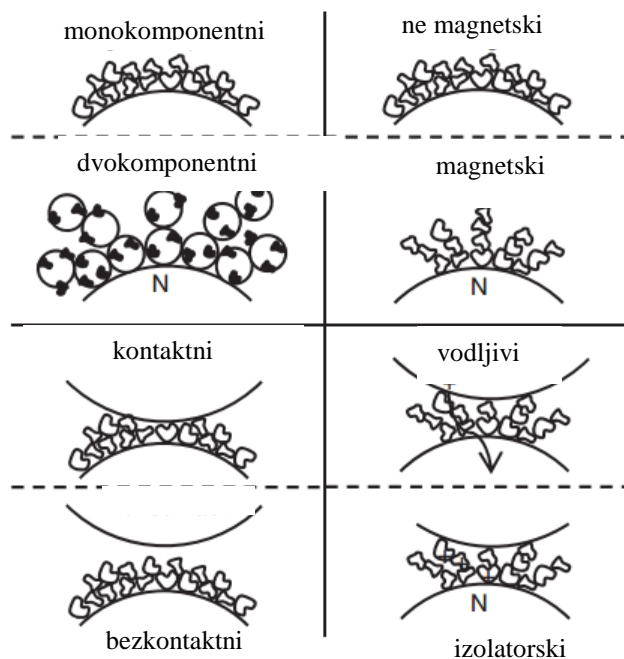


Slika 24. Distribucija naboja na a) sferi b) tijelu nepravilnog oblika

Osim na raspodjelu naboja, oblik tonera utječe i na udio površine koja je u kontaktu s podlogom, nepravilnije čestice tonera imaju veće van der Waalove sile što smanjuje efikasnost prijenosa čestica s bubnja na latentnu sliku i kasnije s latentne slike na tiskovnu površinu, o čemu ovisi kasnija adhezija tonera na tiskovnu površinu <sup>[29]</sup>.

### 3.1.3.2. Kategorije sustava za razvijanje

Sustavi za razvijanje se općenito mogu razvrstati u četiri kategorije, monokomponentni / dvokomponentni, kontakti / bezkontakti, magnetski / nemagnetski, vodljivi / izolatorski (slika 25).



Slika 25. Kategorije razvijaača <sup>[29]</sup>

Jednokomponentno odnosno dvokomponentno razvijanje se odnosi na prisustvo magnetskih nosioca koji se koriste prilikom nabijanja i prijenosa čestica tonera, odnosno nedostatak istih. Jednokomponentno razvijanje primjenjuje se kod elektrofotografskih uređaja s negativno nabijenom fotoosjetljivom površinom, pri čemu se koristi praškasti toner veličine čestica 10-30 $\mu$ m čija je baza magnetizirajući željezni pigment pomiješan sa poliesterskom stiren-akrilnom smolom u jednakim omjerima. Vodljivi valjak prekriven nabijenim česticama tonera se dovede u neposrednu blizinu foto vodljive površine, te pod utjecajem električnog polja koje nastaje zbog razlike potencijala valjka i fotoosjetljive površine čestice tonera su privučene na osvijetljenu površinu. Ako česticu tonera aproksimiramo točkastim nabojem, pri čemu podrazumijevamo uniforman nanos tonera na valjku u jednom sloju, sila koja privlači česticu tonera prema latentnoj slici,  $F_t$ , zadana kao  $E \cdot Q_t$  gdje je  $Q_t$  naboj čestice tonera, a E jakost narinutog električnog polja, jednaka je adhezijskim silama koje drže česticu tonera na razvijaačkom valjku a koje su jednake sumi elektrostatske sile  $F_c$  i tzv. sile mehaničke adhezije,  $F_{ne}$  koja je funkcija udjela kontaktne površine čestice tonera i podloge. U ravnoteži vrijedi <sup>[30]</sup>

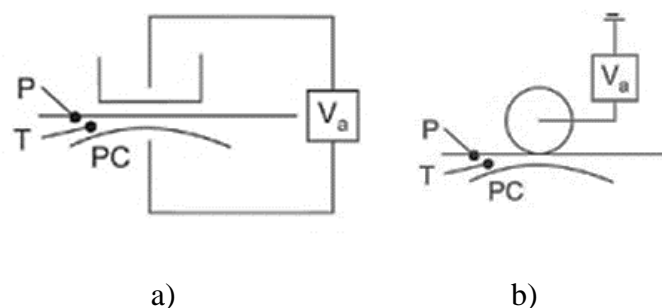
$$E \cdot Q_t = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q^2}{4r^2} + F_{ne} \quad (16)$$

Naravno, ovo pojednostavljenje nije najidealnije budući da se na valjku uvijek nalaze približno dva sloja tonera, ali je zadovoljavajuće za naše razmatranje. Proces razvijanja se završava zasićenjem (neutralizacijom, iščezavanjem) električnog polja.

Dvokomponentno razvijanje primjenjuje se kod elektrofotografskih uređaja s pozitivno nabijenom fotoosjetljivom površinom kod kojeg se koristi razvijlač, tj. magnetizirajući nosač koji prenosi toner kroz elektrofotografski sustav. U dvokomponentnom razvijanju ne magnetizirane čestice tonera su zastupljene sa 0,5-4% udjela, s veličinom čestica 5-15  $\mu\text{m}$ <sup>[31]</sup>. Prilikom razvijanja se generiraju električna polja na takav način da razdvoje čestice tonera od razvijlača. Tonerske čestice koje nisu iskorištene uklanjaju se vakuumskom pumpom<sup>[32]</sup>.

### 3.1.4. Prijenos

Sve tehnologije prijenosa tonera uključuju stvaranje dovoljno jakog električnog polja duž površine papira koje bi priviklo i prenijelo nabijene čestice tonera razvijene slike sa fotoosjetljive površine na papirnatu podlogu. Postoje dva načina stvaranja električnog polja, jedan je emisijom iona iz korone direktno na površinu papira (slika 26. a), dok je drugi dovođenje istosmjernog napona preko prijenosnog bubnja na papir (slika 26. b)<sup>[33,34]</sup>.



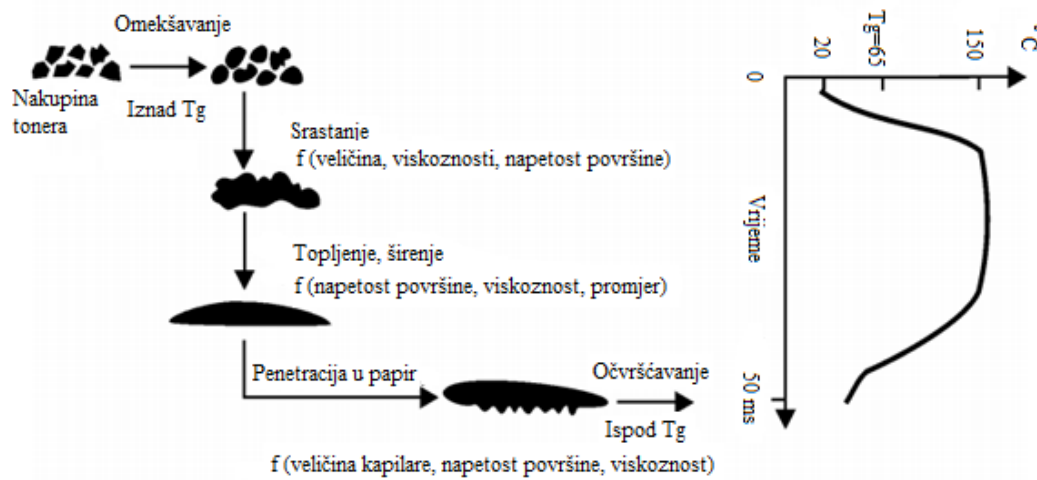
Slika 26. Prijenos tonera sa fotoosjetljive površine na papir<sup>[33]</sup> (P-papir, T-toner, PC-fotoosjetljiva površina)

### 3.1.5. Fiksiranje slike

Nakon prijenosa, čestice tonera nisu čvrsto vezane za podlogu te ih je potrebno fiksirati primjenom topline i/ili odgovarajućeg tlaka (pritiska)<sup>[35]</sup>. Fiksiranje je posljednji dio elektrofotografskog procesa te ima presudnu ulogu u kvaliteti konačnog proizvoda. Energija potrebna za fiksiranje mora biti kompatibilna sa termoplastičnim materijalima tonera kako bi



se omekšavanje, sinteriranje, širenje i penetracija tonera u samu podlogu <sup>[35, 36, 37]</sup> ostvarili prije očvršćivanja <sup>[38, 39]</sup> otiska. Faze fiksiranja prikazane su na slici 27.

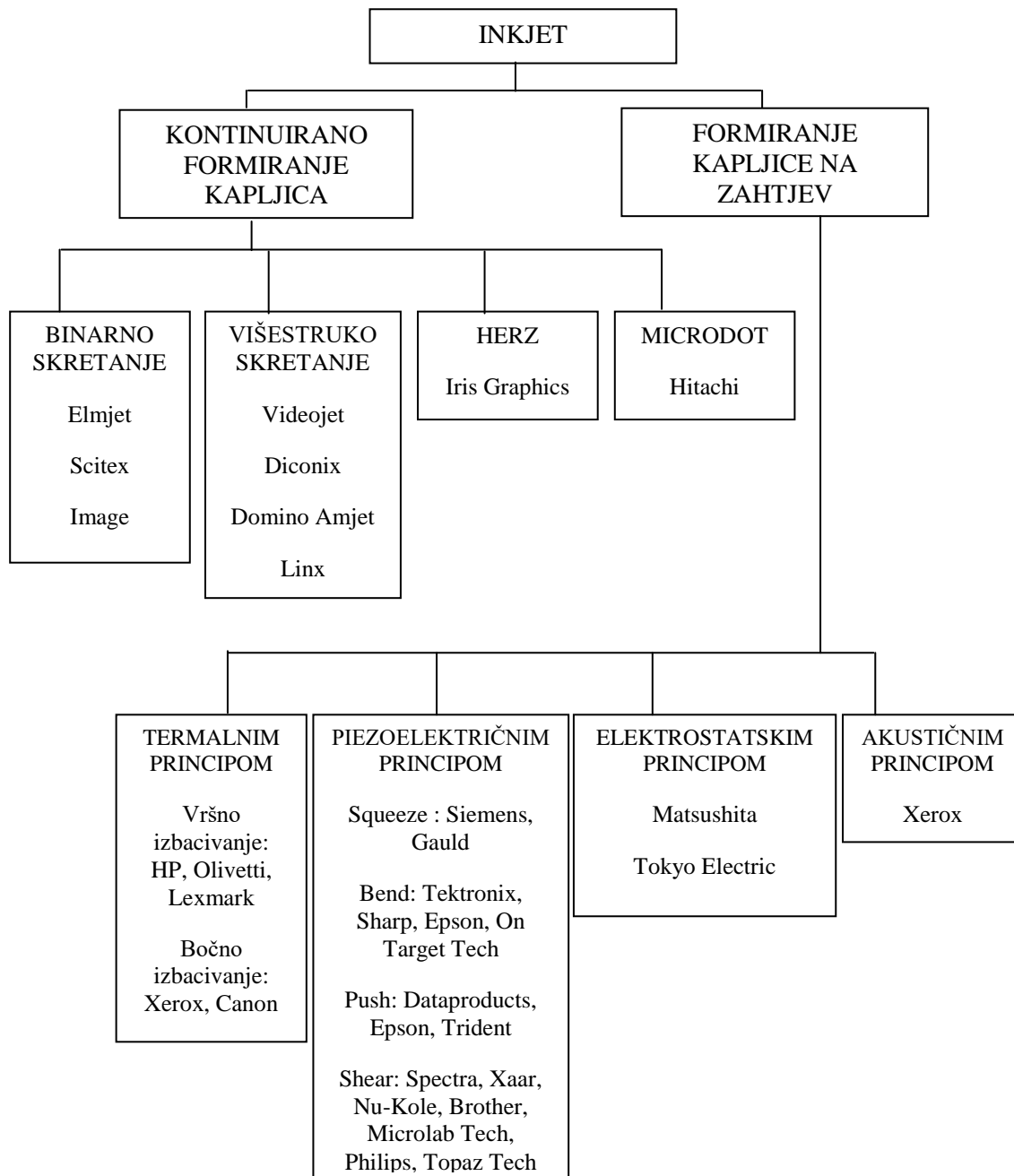


Slika 27. Faze fiksiranja tonera <sup>[39]</sup>

Kvaliteta fiksirane slike ovisi ponajviše o reološkim svojstvima tonera <sup>[40]</sup>, ali naravno ne mogu se zanemariti ni svojstva upotrebljenog papira. Povećanjem gramature papira pri istoj količini vlage papir apsorbira veću količinu topline, čime se smanjuje količina toplinske energije dostupne za konačno fiksiranje slike što može prouzrokovati neadekvatan konačni proizvod.

### 3.2. Inkjet tehnologija otiskivanja

Inkjet tehnologija otiskivanja spada u skupinu bezkontaktnih tehnika tiska. Kvaliteta otiska je uvjetovana načinom formiranja kapljice i njenim svojstvima, te interakcijom između tinte i podloge.



Slika 28. Kategorizacija Inkjet tiska <sup>[9]</sup>

Moderna inkjet tehnologija (slika 28.) temelji se na istraživanjima dvojice fizičara, Belgijanca Plateua i Engleza Lorda Rayleigha. Plateau je 1865. pronašao odnos između promjera mlaznice i veličine kapljice <sup>[41]</sup>, dok je Lord Rayleigh 1878. objasnio mehanizam nastajanja kapljica<sup>[42]</sup> temeljen na ranijim saznanjima Savarta <sup>[43]</sup>, Younga <sup>[44]</sup> i Laplacea <sup>[45]</sup>. Unatoč tome, čekalo se do sredine 20-og stoljeća za prvu komercijalnu primjenu fizikalnih principa formiranja kapljice u komercijalnim uređajima. 1948. godine Elmqvist iz kompanije Siemens-Elma patentirao je prvi kontinuirani inkjet uređaj <sup>[46]</sup>.

Daljnji napredak je postignut ranih šezdesetih godina prošlog stoljeća kada je Sweet <sup>[47]</sup> demonstrirao mogućnost razbijanja kontinuiranog mlaza na kapljice uniformne veličine i konstantnog razmaka, primjenom periodičnih poremećaja tlaka unutar mlaznice (spremnika s tintom). Nakon odvajanja, naelektrizirane kapljice se nakon prolaska kroz električno polje zakreću u žlijeb i ponovno vraćaju u sustav, dok preostale ne nabijene kapljice padaju direktno na podlogu i tvore sliku. Ubrzanom razvoju kontinuiranog inkjeta krajem sedamdesetih uvelike su pridonijela istraživanja brojnih kompanija (IBM-a <sup>[48]</sup>, Sharpa i Applicona), te Sveučilišta Lund u Švedskoj <sup>[49]</sup>.

Kraj sedamdesetih i početak osamdesetih obilježen je i pojavom prvih metoda inkjet tiska na zahtjev (Drop on Demand) kojeg karakterizira stvaranje kapljica po potrebi dok je sami način nastanka kapljice varijabilan (termalnim principom, piezoelektričnim, elektrostaičkim, akustičnim).

S obzirom da je naglasak u ovoj disertaciji stavljen na piezoelektričnu inkjet tehnologiju, nužno je razumjeti pojavu piezoelektriciteta.

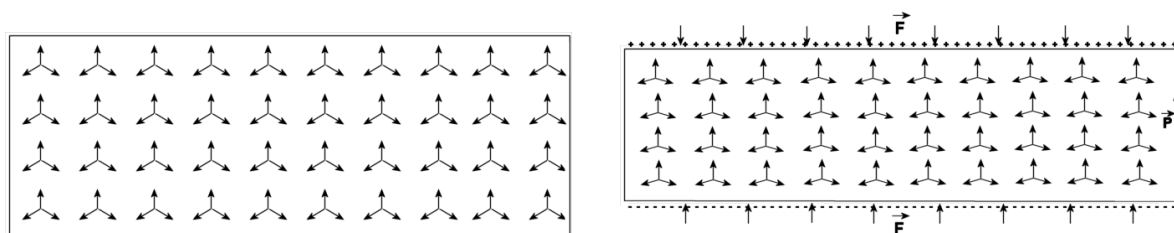
### *3.2.1. Piezoelektrični efekt*

Piezoelektrični efekt (kako ga je nazvao Hankel 1881. godine) definiran je kao pojava stvaranja vezanih električnih naboja na površini nekih čvrstih tvari prilikom njihove mehaničke deformacije. Pretpostavke o postojanju ove pojave iznesene su šezdesetak godina prije nego što su je braća Pierre i Jacques Curie 1880. godine eksperimentalno potvrdili. Godinu dana kasnije Lippmann je iznio pretpostavku o postojanju suprotnog efekta, tzv. inverznog piezoelektričnog efekta koja podrazumijeva mehaničku deformaciju kristala ako mu se na suprotne krajeve dovedu raznoimeni električni naboji, koju su također eksperimentalno potvrdila braća Curie. Teorijsku osnovu za razumijevanje piezoelektričnog

efekta postavio je 1893. godine Lord Kelvin, a izraze koji opisuju vezu između deformacije i električnog polja kod piezoelektričnih kristala razradio je Voight 1894.<sup>[50,51,52]</sup>

Kako bi se piezoelektrični efekt mogao opaziti presudno je da se piezoelektrični materijal ponaša kao dielektrik, odnosno izolator. U prisustvu električnog polja u dielektriku se induciraju dipoli orijentirani suprotno smjeru silnica električnog polja. Svi pojedinačni inducirani dipolni momenti u dielektriku su usmjereni u istom smjeru, pa se može promatrati ukupan vektor polarizacije dielektrika. Električno polje i potencijal unutar i izvan takvog dielektrika ekvivalentni su onima koji bi bili izazvani postojanjem samo površinskog naboja na dielektriku. Takav površinski naboj naziva se "vezani naboj"<sup>[53]</sup>. Ukratko, inducirani dipoli u dielektriku manifestiraju se kao površinski naboj.

U odsutnosti mehaničke deformacije kristal dielektrika je nepolaran (slika 29. a), tj. simetrična orijentacija grupe iona uzrokuje iščezavanje ukupnog dipolnog momenta<sup>[54]</sup>. U slučaju djelovanja vanjske sile na kristal suma dipolnih momenata neće iščezavati, već će preostati dio vertikalne komponente koja će kao u slučaju kada je električno polje djelovalo na nepolarni dielektrik uzrokovati pojavu površinskog naboja na kristalu. Spajanjem elektroda na obje strane takvog kristala i odvođenjem naboja sa površine dielektrika, unutar kristala nastaje nova ravnoteža, tj. ponovno iščezava ukupni dipolni moment što jasno pokazuje da stalna sila na piezoelektrik neće proizvoditi stalnu struju.



Slika 29. a) nedeformirani kristalni piezoelektrik      b) deformirani kristalni piezoelektrik

Inverzni piezoelektrični efekt, tj. mehanička deformacija kristala ako se na njegove površine dovede naboj, objašnjava se na isti način. Električno polje inducira dodatni dipolni moment suprotno smjeru silnica električnog polja. Budući da sustav iona teži ravnoteži, tj. poništavanju ukupnog dipolnog momenta, dolazi do širenja ili stezanja elementarnih ćelija kristala, što rezultira mehaničkom deformacijom, čiji rad je obavljen na račun energije električnog polja koje potječe od dovedenih naboja<sup>[55]</sup>.

Analogna razmatranja mogu se provesti i za polarnu tvar. Tada se na ukupan vektor polarizacije polarne tvari dodaje vektor polarizacije uzrokovan piezoelektričnim efektom, a ostatak mehanizma je jednak.

Jednadžbe koje opisuju deformaciju piezoelektrika primjenom sile su linearne za infinitezimalnu promjenu volumena što je posljedica superpozicije Coulombskih međudjelovanja u kristalnoj rešetci, te je zadana sa <sup>[54]</sup>:

$$e = Zs + Ed \quad (17)$$

$$P = Zd + E\chi\varepsilon_0 \quad (18)$$

gdje je  $P$  iznos vektora polarizacije,  $Z$  tlak,  $d$  piezoelektrična konstanta,  $E$  vanjsko električno polje,  $\chi$  dielektrična susceptibilnost tvari,  $e$  elastična deformacija, a  $s$  konstanta elastične suglasnosti (mjera mekoće – odnos deformacije i tlaka). Okvirno govoreći, komercijalni piezoaktuatori uz dovedeni napon od nekoliko stotina volti mogu se deformirati maksimalno za stotinjak mikrometara. Uz poseban dizajn, mogući su i aktuatori sa mnogo većom deformacijom za posebne potrebe.

Empirijska jednadžba koja povezuje stvoreni naboj na površini piezoelektrika pod utjecajem neke sile je:

$$Q = d \cdot F \quad (19)$$

gdje je  $d$  piezoelektrična konstanta (izražena u C/N).

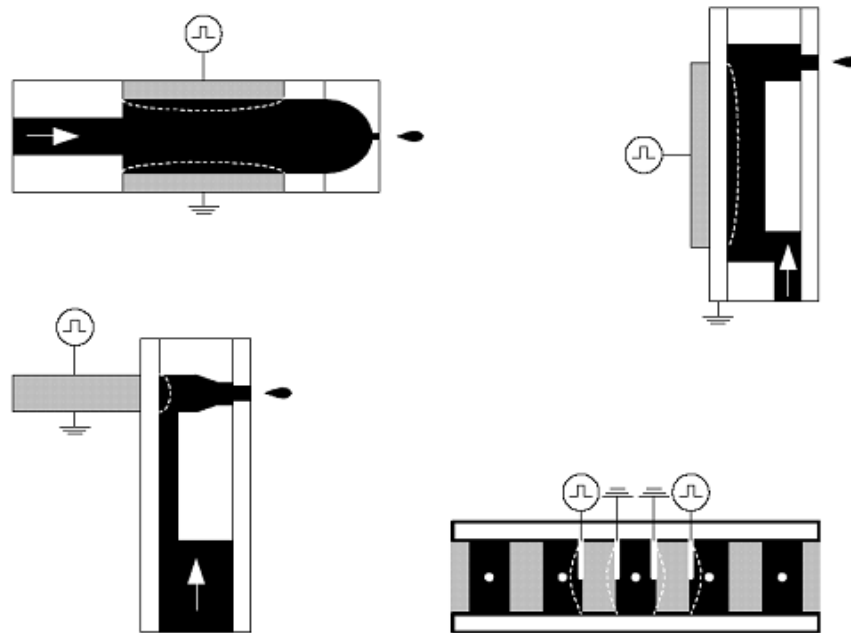
### 3.2.2. Piezoelektrična inkjet tehnologija

Piezoelektrična inkjet tehnologija za stvaranje točkice bojila na podlozi koristi piezoelektrik kroz kojega je probušena kapilara u kojoj se nalazi bojilo. Kada se dovede napon na piezoelektrik, kristal se sažme, pa se automatski smanjuje volumen kapilare, raste tlak bojila unutar nje i iz glave pisača izlijeće kapljica bojila, koja završava na papiru.

Piezoelektrična tehnologija se obzirom na način deformacije kristala dijeli na četiri tipa <sup>[56]</sup>:

1. Deformacija nastaje stiskanjem (*squeeze*)
2. Deformacija nastaje savijanjem (*bend*)
3. Deformacija nastaje guranjem (*push*)
4. Deformacija nastaje smicanjem (*shear*)

Prvi od triju patenata koji su utrli put daljnjem razvoju piezoelektrične tehnologije otiskivanja objavio je Zoltan 1972. godine <sup>[57]</sup>. U njemu predlaže *squeeze* model koji sadrži šuplji piezoelektrični materijal napunjen bojilom, priključivanjem krajeva na izvor napona šuplji prostor napunjen bojilom se tlači što rezultira istiskivanjem kapljice iz mlaznice. Prvi komercijalni piezoelektrični pisač koji se pojavio na tržištu 1977. godine radio je na ovom principu.



Slika 30. Načini deformacije kristala u piezoinkjetu a) squeeze b) bend c) push d) shear <sup>[56]</sup>

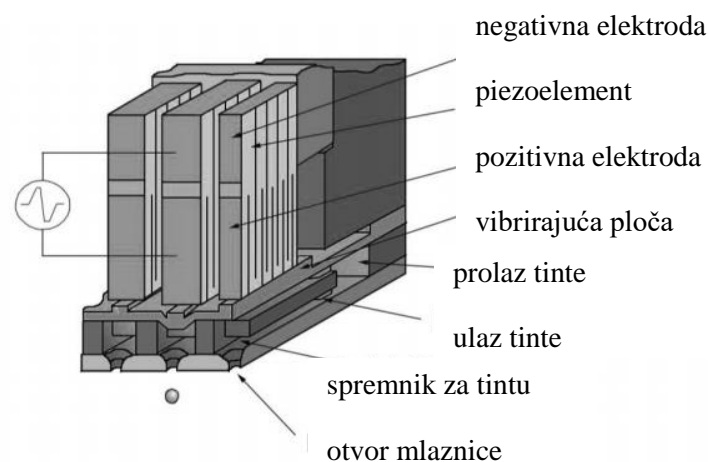
Drugi patent nastao kao rezultat istraživanja Stemma sa Sveučilišta u Chalmersu koristi *bend* model u kojem zbog savijanja zida komore ispunjene bojilom dolazi do izbacivanja kapljice bojila <sup>[58]</sup>. Treći patent kojeg su objavili Kyser i Sears <sup>[59]</sup> također koristi *bend* model, ali za razliku Stemmovog koji koristi ravni disk piezoelektričnog materijala, za deformaciju stražnjeg zida komore napunjene bojilom, Kyserov i Searsov patent primjenjuje pravokutnu ploču za mehaničku deformaciju vrha komore. Veličina same kapljice ovisi o naponu dovedenom (primijenjenom) na piezokeramiku, trajanju samog pulsa i promjeru otvora. Tvrtka Silonics lansirala je 1978. drugi komercijalno dostupan pisač Quietype temeljen na bend modelu. Sredinom osamdesetih objavljena su dva nova patenta koja su temelj push <sup>[60]</sup> i shear <sup>[61]</sup> načina nastajanja deformacije u cilju formiranja kapljice. Howkins predlaže induciranje deformacije komore ispunjene bojilom guranjem piezoelektričnog elementa na

stjenku komore tzv. push model, dok Fischbeck i Wright sugeriraju nastajanje deformacije jakim smicanjem piezoelektričnog materijala.

Paralelno razvoju piezoelektrične tehnologije otiskivanja počela se razvijati termalna inkjet tehnologija koja je u jednom periodu, najviše zahvaljujući nižim troškovima izrade, usporila napredak piezoelektrične inkjet tehnologije. Unatoč prvotnim dobrim rezultatima termalnog inkjeta mnogobrojni nedostaci su isplivali na površinu koji su opet aktualizirali daljnji razvoj piezoinkjeta.

### 3.2.2.1. Mikropiezo tehnologija

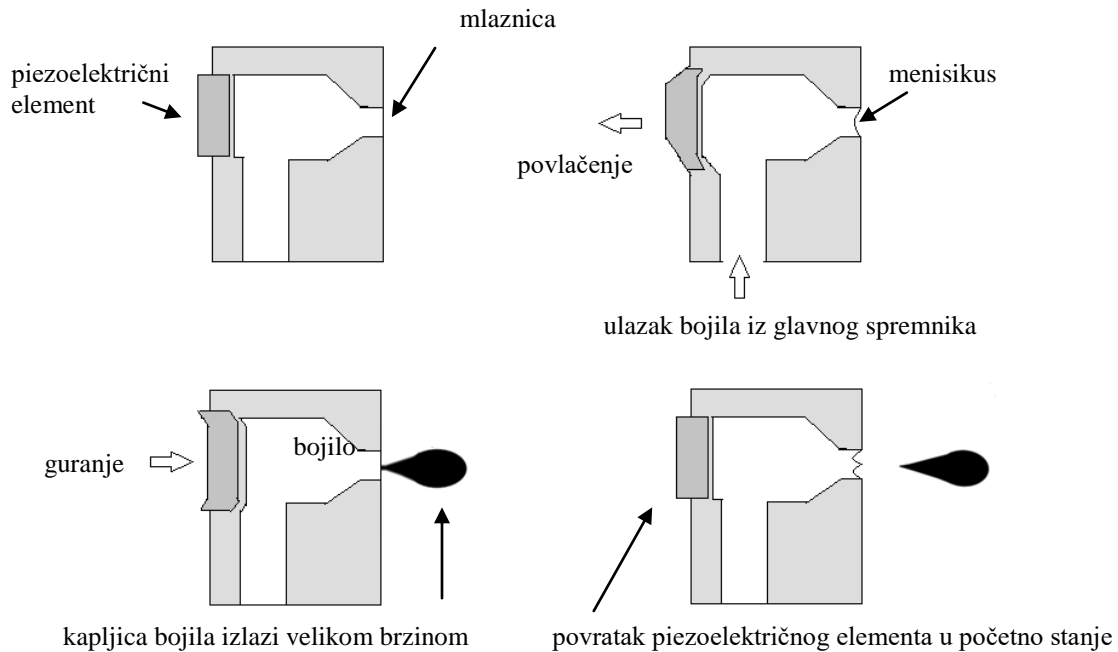
Epson je početkom devedesetih godina prošlog stoljeća okupio tim od dvadesetak inženjera s ciljem stvaranja superiornijih ispisnih glava. Rezultat je stigao već početkom 1993 u obliku Micro Piezo ispisne glave koja je bila temelj Epson Stylus 800 uređaja, a baza joj je višeslojna piezoelektrična ispisna glava (Multi Layer Piezo)<sup>[62]</sup>.



Slika 31. Struktura MLP ispisne glave <sup>[62]</sup>

Dovođenjem naboja na mikro piezoelektričnu keramiku smještenu iza ispisnih mlaznica dolazi do izvijanja piezoelektričnog materijala prema natrag pri čemu dolazi do povlačenja precizne količine bojila iz komore napunjene bojom u udarnu komoru. Uslijed promjene električnog pulsa, piezoelektrični element se naglo savija u suprotnom smjeru pri čemu iz mlaznica izbacuje bojilo (slika 32.). Kontroliranjem dovedenog naboja na piezoelektrični element kontrolira se njegovo savijanje, a samim time i volumen bojila koji napušta mlaznicu. Nove piezoelektrične glave uz znatno manji dovedeni napon rezultiraju puno većim pomakom piezo keramike što je omogućilo preciznije nanošenje bojila.

Trenutak odvajanja kapljice od mlaznice ovisi o reološkim svojstvima tinte, površinskoj napetosti,  $\gamma$ , gustoći,  $\rho$ , i viskoznosti,  $\eta$ . Oblik repa kapljice je najviše uvjetovan viskoznošću tinte, stoga tinte izrazito visoke viskoznosti imaju duge simetrične repove s minimalnom širinom u sredini repa. Smanjenjem viskoznosti smanjuje se duljina repa kapljice. Ono što uzrokuje dodatne probleme je stvaranje sekundarnih kapljica (slika 33.).



Slika 32. Princip rada Epsonove Micro Piezo ispisne glave



Slika 33. S lijeva na desno: formiranje kapljice, odvajanje od mlaznice, stvaranje satelitskih kapljica <sup>[63]</sup>



### 3.2.3. Boje za inkjet tisak

Budući da svojstva tinte diktiraju kvalitetu otiska i pouzdanost uređaja, nužno je pobliže proučiti glavne komponente tinte, bazu, kolorante i aditive, i njihove karakteristike <sup>[64]</sup>. Bazu čine različite tekućine izrazito niske viskoznosti koje osiguravaju formiranje kapljica tinte, i omogućavaju dobro prihvaćanje tinte na tiskovnu podlogu. Mehanizmi sušenja tinte su vezani uz primijenjenu bazu, tako se tinte kojima je baza voda suše penetracijom, tinte s lako hlapljivom bazom se suše isparavanjem, taljive boje se suše promjenom baze iz tekućeg u kruto stanje, dok se UV boje suše primjenom UV svjetlosti.

Ulogu koloranta mogu imati pigmenti ili bojila. Bojila su topiva i postoje kao individualne molekule u tinti, dok su pigmenti netopivi i imaju tendenciju gomilanja u grozdove što utječe na protok i opskrbu sustava tintom, te u ekstremnim slučajevima uzrokuje začepljenje mlaznica. Minimiziranje ovih utjecaja se provodi dodavanjem aditiva koji stabiliziraju i prilagođavaju tintu uvjetima otiskivanja i skladištenja. Glavni tipovi aditiva uključuju surfaktante (tvari koje kontroliraju napetost površine), modifikatore viskoznosti, disperzante, humektante (tvari koje reguliraju vlažnost), biocide i helirajuće agense (tvari koji inhibiraju oksidaciju)

<sup>[65]</sup>.Viskoznost tinte i površinska napetost su temeljni reološki parametri za postizanje kvalitetnog otiska <sup>[66,67]</sup>. Tinte niske viskoznosti brzo dispergiraju u podlogu rezultirajući otiskom slabije kvalitete. Dok visoka napetost površine može prouzrokovati začepljenje mlaznice, niska napetost površine se manifestira nekonzistentnim volumenom kapljica. Općenito, tinte na bazi pigmenta su manje osjetljive na utjecaj svjetlosti i promjene u relativnoj vlazi.

Tablica 1. Svojstva tinti za piezoinkjet <sup>[68]</sup>

tip tinte	viskoznost	debljina otisnutog sloja tinte/ $\mu\text{m}$	volumen kapljice/pL	način sušenja
na bazi vode, ulja i otapala	5-20	<0,5	4-30	apsorpcija, isparavanje
Taljive	10-30	12-18	2-30	očvršćivanje hlađenjem
UV boje	15-30	10-20	10-30	UV zračenjem

Formulacija tinte uključuje kombiniranje kompatibilnih sastojaka koji su u skladu s ispisnim reološkim svojstvima uređaja, prikladna za odabranu ispisnu glavu, što vodi formiranju stabilnih kapljica koje neće uzrokovati začepljenje mlaznica.

Ispisna svojstva uređaja se mogu procijeniti pomoću odgovarajućih bezdimenzijskih veličina, Reynoldsovog broja, Weberovog broja i Ohnesorgeovog broja, te parametra  $Z$  (recipročna vrijednost Ohnesorgeovog broja) <sup>[64]</sup>.

Reynoldsov broj je definiran je kao omjer inercijske sile koja uzrokuje gibanje i viskoznih sila

$$Re = \frac{\rho Lv}{\eta} \quad (20)$$

Weberov broj predstavlja omjer unutrašnjih i površinskih naprezanja

$$We = \frac{\rho dv^2}{\gamma} \quad (21)$$

Ohnesorgeov broj, koji predstavlja karakteristike tekuće faze, omjer je viskoznih, inercijskih i površinskih naprezanja

$$Oh = \frac{\sqrt{We}}{Re} = \frac{\eta}{\sqrt{\gamma \rho L}} \quad (22)$$

gdje su  $\rho$  gustoća tinte,  $v$  brzina,  $L$  karakteristična duljina (put koji prijeđe fluid),  $\eta$  dinamički koeficijent viskoznosti tinte,  $\gamma$  napetost površine. Tablica 2. prikazuje standardne parametre tinte za piezoelektrični i termalni inkjet.

Tablica 2. Standardni parametri tinte za piezoelektrični i termalni inkjet<sup>[63]</sup>

Bezdimenzijska veličina	Raspon
Re	50-500
We	20-300
Z	1-10

Uporaba ispisne glave u kombinaciji s neadekvatnom tintom može uzrokovati nepreciznost generiranja kapljica, kao i pojavu prekobrojnih satelitskih kapljica. Općenito se količina satelitskih kapljica kontrolira dodavanjem polimera u tintu jer polimeri ostaju vezani u kapljici <sup>[69]</sup>. Također, niža vrijednost napetosti površine tinte može uzrokovati razlijevanje

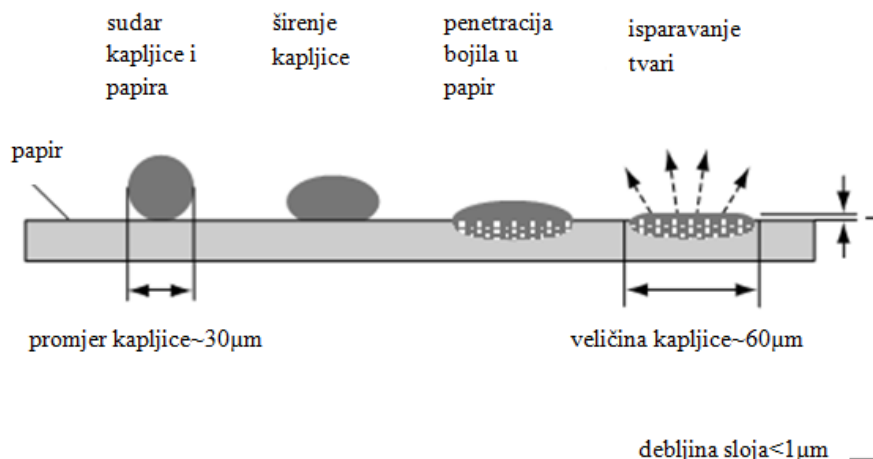
tinte po mlaznici što nakon isparavanja rezultira skrućivanjem tinte na rubovima mlaznice <sup>[70]</sup>, te modificiranjem putanje narednih kapljica.

Do začepjenja mlaznica može doći i uslijed vremenskog perioda u kojem se pisac nije koristio, prilikom čega dolazi do isparavanja i lokalne promjene u sastavu i reološkim svojstvima tinte <sup>[71]</sup>. Prvi problem se može držati pod kontrolom uporabom tinte s višom površinskom napetosti, dok se drugi problem može ublažiti dodavanjem tinti manje topljivih otapala.

Promjer mlaznice, frekvencija emitiranja kapljica, udaljenost između mlaznica i podloge, te relativna vlaga utječu na formiranje satelitskih kapljica, te na preciznost i rezoluciju otiska <sup>[72]</sup>. Adekvatna relativna vlaga je nužna za stabilnost i aktivnost molekula od kojih je tinta građena i pouzdan proces tiska <sup>[73]</sup>.

Budući da mikro piezo tehnologija radi na nižim temperaturama moguća je uporaba raznih boja, uključujući i one na bazi bojila i na bazi pigmenata, ali istovremeno i UV bojila.

Prihvatanje bojila uključuje adsorpciju pigmenta ili bojila u površinu papira. Tinta se širi po površini papira zbog površinske napetosti kapljica tinte i površinske energije papira, uz istovremenu vertikalnu apsorpciju unutar papira vođenu kapilarnom silom porozne papirne strukture (slika 34.). Nakon otiskivanja potrebno je u što kraćem roku osušiti isti.

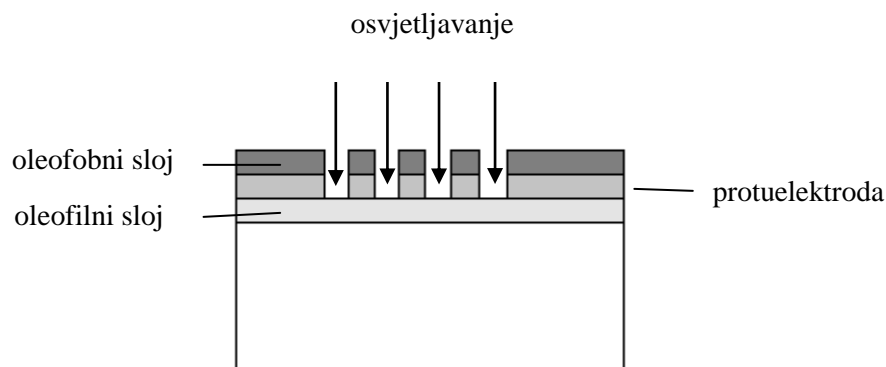


Slika 34. Formiranje točkice na podlozi <sup>[9]</sup>

### 3.3. Direct imaging (direktno osvjetljavanje)

Tehnologija direktnog osvjetljavanja razvila se u Heidelbergu s ciljem stvaranja uređaja koji bi tiskovnu formu osvjetljavao i razvijaju izravno u samom uređaju. Sama tehnologija popunjava prazninu između konvencionalnih ofsetnih uređaja i uređaja koji tiskaju bez uporabe tiskovne forme.

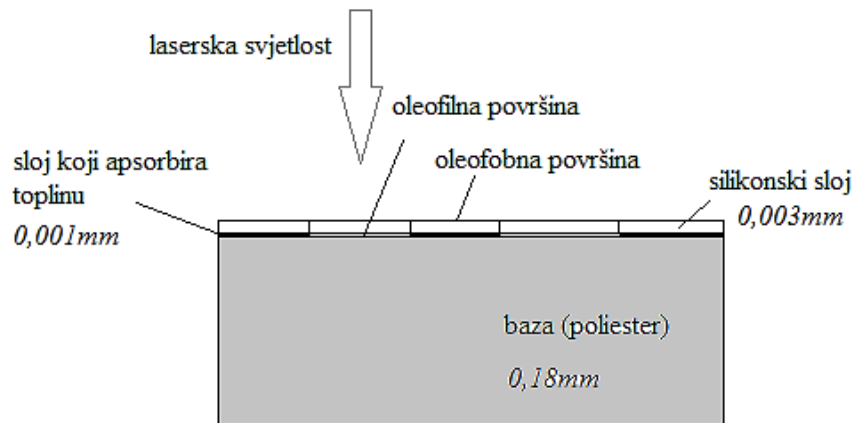
Prvi uređaj za direktno osvjetljavanje predstavljan je 1991. godine na izložbama u Tokiju i Chicagu. Heidelberg je pri tome implementirao opremu za direktno osvjetljavanje u četverbojni ofsetni tiskarski uređaj GTO na mjesto uređaja za vlaženje. Prve tiskovne forme su bile troslojne, a sačinjavali su ih nosivi oleofilni poliesterski sloj, sloj aluminijske folije i vanjski silikonski oleofobni sloj dok se uređaj za osvjetljavanje sastojao visokonaponskog dijela u kojem dolazi do transformacije digitalnog signala slikovnih elemenata u visokonaponske impulse koji se raspoređuju na 16 elektroda (slika 35) Aluminijska folija djeluje kao protuelektroda u postupku stvaranja slike. Prijenosom naboja sa elektroda se uklanja površinski silikonski sloj te dolazi do razaranja aluminijske folije na tom mjestu, te preostaje oleofilni sloj <sup>[74]</sup>.



Slika 35. Princip generiranja tiskovne forme prve generacije uređaja za direktno osvjetljavanje <sup>[9]</sup>

Budući da sam proces osvjetljavanja nije producirao pravilne rasterske elemente slijedeća generacija uređaja implementirala je osvjetljavanje laserom što je rezultiralo većom rezolucijom i kvalitetnijim rasterskim elementima. Koristi se višeslojna tiskovna forma koja se ispisuje osvjetljavanjem IR laserskim diodama pri čemu dolazi do ablacije (slika 36). Laserska ablacija je proces izbacivanja materijala s površine čvrste mete pod utjecajem

laserskog zračenja. Budući da tijekom ablacije na zraku ili vakuumu dolazi do akumulacije topline [75,76] oko zone mete te može doći do formiranja hrapavih površinskih struktura i stvaranja ne oštih rubova, tiskovna forma je premazana posebnim slojem koji apsorbira višak topline.



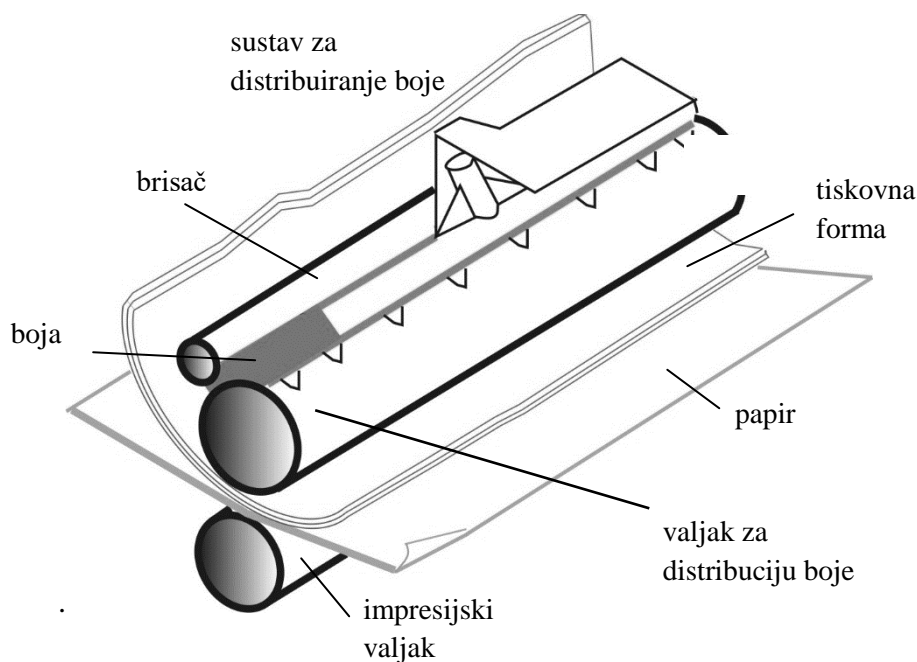
Slika 36. Princip generiranja tiskovne forme laserskom ablacijom

Sama tiskovna forma sadrži se četiri različita sloja, temeljni poliesterski sloj, sloj za prihvaćanje bojila (oleofilni sloj), sloj za stvaranje slike i sloj za odbijanje boje (oleofobni sloj). Prijenosom bojila na tiskovnu podlogu generira se otisak.

1995. predstavljena je treća generacija uređaja za direktno osvjetljavanje Quickmaster DI koji je zadržao način obrade tiskovne forme ablacijom, ali je za razliku od svojih prethodnika sadržava namotaj materijala za tiskovnu formu koji se automatski odmotava i učvršćava na temeljni cilindar. Bojila koje se koriste karakterizira dinamički koeficijent viskoznosti 40-80 Pa·s.

Češki Adast se uključio u proizvodnju uređaja za direktno osvjetljavanje na bazi ofsetnog tiska te je 1997. izašao na tržište sa strojem koji je imao nešto nižu rezoluciju a pri osvjetljavanju je koristio 32 IR laserske diode.

Uređaje za propusni tisak koji koriste direktno osvjetljavanje u samom stroju, na tržište je predstavila tvrtka Riso 1988. u Japanu, te su u sličnom obliku dostupni i danas. Sastoje se od gusto tkane mrežaste tiskovne forme nastale selektivnim bušenjem termalnim laserom napete na cilindar unutar kojeg je smješten uređaj za obojenje (slika 37.). Kroz tiskovne elemente prolazi tekuće bojilo u kojem su čestice pigmenta manje od 1 $\mu$ m s udjelom od 10% [9].



Slika 37. Konstrukcija rizo uređaja za propusni tisak <sup>[9]</sup>

### 3.4. Papiri za CTP tisak

Za postizanje kvalitetnih otisaka uz minimalne količine prirasta rastertonske vrijednosti papiri za CTP tisak moraju biti prilagođeni tehnici tiska <sup>[77]</sup>. Prikladnost papira za tisak, slično kao i kod konvencionalnih tehnika tiska, ovisi o njegovim optičkim i mehaničkim svojstvima. Papir za elektrofotografiju mora zadovoljiti dva osnovna preduvjeta, to je u prvom redu posjedovanje visokog površinskog električnog otpora, a ne manje bitno i niske relativne vlage.

Električna vodljivost i otpornost su odlučujući čimbenici kvalitete i provedbe otiskivanja. Specifičnosti elektrofotografskog procesa pri prijenosu tonera na površinu papira uvjetuju bolji prijenos tonera naelektriziranim papirom. Prevelika vlažnost koja rezultira niskom otpornošću papira uzrokuje rasipanje električnog naboja prije nanosa tonera. Veća dielektrična konstanta rezultira učinkovitijim prijenosom, ali samo do određene granice poslije koje mogu nastati izobličenja otiska uslijed suvišnog otpuštanja naboja <sup>[78]</sup>.

Ujedno, niska količine vlage u sastavu elektrofotografskih papira također negativno djeluje na konačnu reprodukciju. Procesom fiksiranja tonera papir mora podnijeti vrlo visoke temperature ( $\approx 300\text{ C}^\circ$ ), te se ne smije presušiti. Visoke temperature kod nižih gramatura papira mogu rezultirati deformacijama papira, dok se kod debljih papira viših gramatura povećava krutost i otežava mogućnost prolaska papira kroz tiskovni uređaj.

Sastav i količina punila u papiru ima presudnu ulogu na električnu vodljivost papira. Kalcijev karbonat i titan dioksid su najzastupljenija punila koja se koriste u papirnoj industriji, s bitno različitim svojstvima koji nužno utječu i na vodljivost površine.

Unatoč sve većem udjelu papira izrađenih od recikliranih vlakana, pokazalo se da oni daju lošije otiske, te se za digitalni tisak preporučuju papiri izrađeni od primarnih vlakana.

Kod papira za inkjet, poroznost papira i kemijska svojstva površine imaju odlučujuću ulogu u ostvarivanju kvalitetne reprodukcije i zadovoljavajuće adhezije tinte. Zbog tekućeg agregatnog stanja tinte, papiri za inkjet moraju imati strogo definiranu upojnost s obzirom na toner koji se nanosi. Za visoko kvalitetni tisak nužna je uporaba specijalnih višeslojnih papira sa odgovorajacim površinskim i apsorpcijskim svojstvima, kako bi se uspješno kontrolirali penetracija bojila u podlogu, te njeno razlijevanje po površini, a samim time i prirast rastertonske vrijednosti.

## 4. Interakcija svjetlosti i papira

Običnom promatraču se interakcija otiska i papira čini poprilično trivijalnom, svjetlost usmjerena na papir će se reflektirati ili apsorbirati na papiru ili boji, pri čemu će reflektirani dio biti opažen od strane promatrača. Naravno, stvarnost je kao i uvijek bitno drugačija (slika 38), te je opis interakcije svjetlosti s papirom znatno kompleksniji. Glavni razlog leži u nehomogenosti papira, počevši od topografije površine pa sve do lokalnih varijacija u tonu. Papir je jednostavno optički i mehanički nesavršena podloga.

Kada svjetlost obasja papir, dio je direktno reflektiran natrag u zrak, dok ostatak prelazi ovu prvu prepreku i ulazi u otisnuti medij. Za ravnu površinu prema Fresnelovim jednadžbama, udio reflektirane svjetlosti ovisi o relativnom indeksu loma medija u kontaktu i upadnom kutu svjetlosti, kao i smjeru polarizacije svjetlosti. Slično, kada svjetlost upada na granicu medija iz papira, samo dio svjetlosti izlazi van, dok je ostatak interno reflektiran i nastavlja svoju propagaciju kroz papir.

Naravno, interakcija nije uvjetovana samo podlogom, nego uvelike ovisi o upotrijebljenom izvoru svjetlosti. Materijali od kojih je građen papir obično imaju nisku apsorpciju u vidljivom dijelu elektromagnetskog zračenja, naročito za veće valne duljine, zbog čega je vrlo izgledno višestruko raspršenje vidljive svjetlosti unutar papira. Za razliku od vidljive svjetlosti, UV svjetlost ja jako apsorbirana od strane papira i optičkih bijelila (apsorbiraju UV svjetlost i reemitiraju je u obliku fotona plavkaste svjetlosti povećavajući pritom bjelinu papira), zbog čega je sudjelovanje UV svjetlosti u unutarnjoj refleksiji zanemarivo.

Interakcija svjetlosti s papirom je kompleksan fizikalni proces čije objašnjenje započinje razmatranjem raspršenja i apsorpcije na individualnim česticama kao što su vlakna ili punila što podrazumijeva i njihovu međusobnu interakciju. Raspršenje svjetlosti se odnosi na sve fizikalne procese koji utječu na smjer širenja svjetlosti u mediju. I apsorpcija i raspršenje smanjuju intenzitet svjetlosti koja se širi kroz medij. Striktno gledajući raspršenje je sudar fotona s atomom medija prilikom čega foton nije apsorbiran već je reflektiran, tj. apsorbiran i potom reemitiran, a uzrokovano je lokalnom varijacijom indeksa loma unutar heterogenog medija i točno opisana Maxwellovim jednadžbama.

Raspršenje svjetlosti se događa na dodirnim mjestima između vlakanaca, producirajući transparentnost vlakanaca, iz čega proizlazi mogućnost interpretacije koeficijenta raspršenja



svjetlosti mjerom veze između vlakana, ali do raspršenja dolazi i na nevezanim vlakancima, te veličina raspršenja ovisi o specifičnoj površini područja<sup>[79]</sup>. Budući da vlakanca mehaničke pulpe imaju manju specifičnu površinu od vlakanaca kemijske pulpe, manje raspršuju svjetlost što se mora kompenzirati povećanjem poroznosti papira dodavanjem punila znatno većih vrijednosti koeficijenta raspršenja. Povećanjem koeficijenta raspršenja povećavaju se i opacitet i svjetlina.

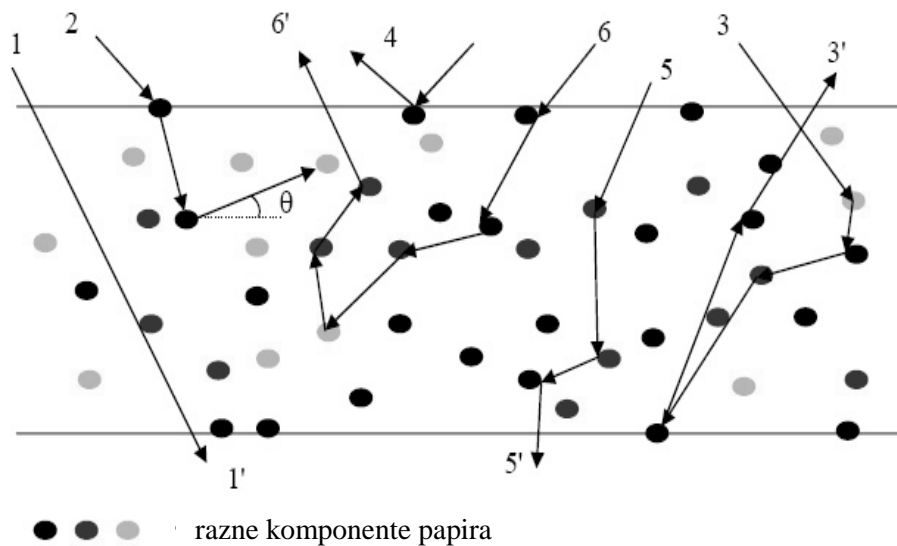
Višestruko raspršenje postaje iznimno važno u papiru zbog neposredne blizine vlakanaca i raznih dodataka, tzv. individualnih raspršivača svjetlosti. Maxwellove jednadžbe se mogu točno riješiti za tek nekoliko jednostavnih geometrija, i ne postoji opće kvantitativno rješenje problema višestrukog raspršenja na nizu čestica različitih veličina i oblika. Za takve tzv. zamućene (*turbid*) medije često se primjenjuje teorija prijenosa (transfera) zračenja<sup>[80]</sup> koja opisuje interakcije zračenja s raspršivačkim medijem, sa zadanim koeficijentima raspršenja i apsorpcije, te faznom funkcijom koja definira smjer distribucije vjerojatnosti raspršenog svjetla<sup>[81]</sup>. Jednadžba je manjkava u smislu ne postojanja općeg analitičkog rješenja tako da su nužne numeričke metode<sup>[82]</sup>. Pojednostavljeni modeli poput Kubelka - Munk teorije ili Monte Carlo metode su najčešće korišteni načini modeliranja raspršenja svjetlosti u papiru. Kubelka-Munk teorija<sup>[83]</sup> je temeljeći se na Schusterovoj<sup>[84]</sup> dvosmjernoj aproksimaciji pri prijenosu zračenja, uspjela opisati ovu funkciju, te je ona unaprijeđena uvođenjem anizotropije intenziteta propagirajućeg difuznog zračenja<sup>[85]</sup>. Osnovne pretpostavke Kubelka-Munk teorije su beskonačni paralelni uniformni slojevi konačne debljine, pri čemu je raspodjela svjetlosti unutar pojedinog sloja difuzna. Također, zanemaruju se površinske i unutarnje refleksije, te se pretpostavlja izotropan i homogen medij. Kubelka-Munk model je doživio niz unaprijeđenja, tako je Saunderson<sup>[86]</sup> krajem 40-ih godina prošlog stoljeća uvodi u proračun refleksiju na granici susjednih slojeva. Kubelka<sup>[86]</sup> kasnije pokušava poboljšati model primjenjujući ga na optički nehomogene medije, u kojima je omjer apsorpcije i raspršenja konstantan. Džimbeg – Malčić i Modrić su u svojim doktorskim disertacijama<sup>[87,88]</sup> dali detaljne karakteristike ovih modela, te zbog toga one neće biti dalje prezentirane.

Razmatranje raspršenja svjetlosti uvijek započinje pretpostavkom sustava s česticama raspoređenima na dovoljno velikoj udaljenosti kako bi se zanemario utjecaj raspršenja sa susjednih čestica na svaku jedinku. Ukupno raspršenje u mediju je suma doprinosa pojedinih raspršenja<sup>[89]</sup>.

Tablica 3. Koeficijenti raspršenja komponenti papira<sup>[90]</sup>

materijal	koeficijent raspršenja / m <sup>2</sup> ·kg <sup>-1</sup>
titan dioksid	450-600
pigmenti	~ 200
mehanička pulpa	50-75
kemijska pulpa	12-35

Kada svjetlost obasja papir, dio svjetlosti se reflektira na vlaknima i ostalim komponentama papira u površinskom sloju i unutar samog papira (zrake 3-3',4,6-6'), dio svjetlosti se apsorbira (zraka 2-2'), dok je ostatak transmitiran (zrake 1-1', 5-5').



Slika 38. Mogući ishodi 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<sup>[88]</sup>

U više ili manje transparentnom mediju, kao što je papir, dio svjetlosti može proći kroz sloj bez atenuacije i izaći na drugoj strani. Papir jako raspršuje svjetlost što čini direktnu transmisiju relativno rijetkom pojavom te se može zanemariti za većinu papirne konfekcije. Transmisija svjetlosti kroz papir je daleko od zanemarive, ali je isključivo difuzne prirode.

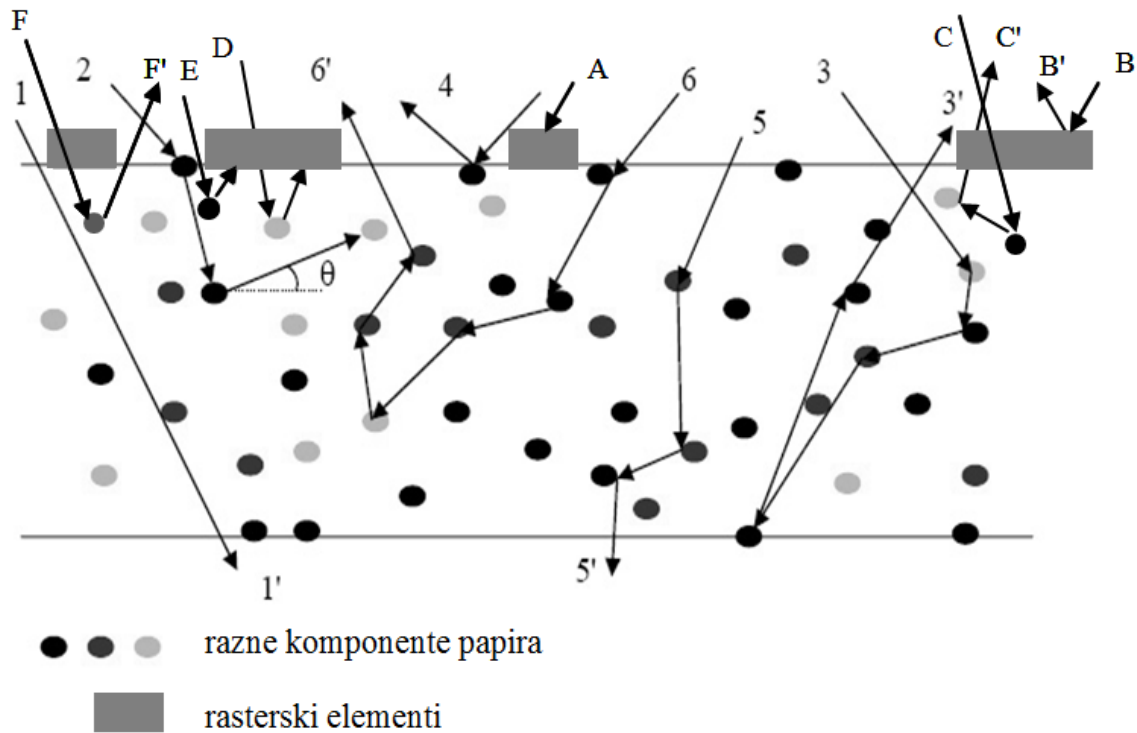
Površina otiska uglavnom je hrapava zbog čega zrcalna refleksija nije dominantna, osim u stošcu s centrom smještenom unutar kuta refleksije. Površinska refleksija se ostvaruje na granici materijala s različitim indeksom loma, u slučaju otisnutog uzorka to može biti i površina papira, i površina boje. Smjer zrcalno reflektirane svjetlosti ovisi o ulaznom kutu i orijentaciji normale na površinu.

Poznavanje površinskih svojstava i pravilna karakterizacija parametara površinske hrapavosti daje nam osnovu predviđanja ponašanja bojila tijekom otiskivanja, odnosno tip refleksije i transport svjetlosti kroz papir. Uobičajeno je razlikovati dvije vrste površinske hrapavosti; mikro-hrapavost koja uglavnom potječe od čestica pigmenta i makro-hrapavost koja je posljedica varijacija u osnovi papira.

Svjetlost koja ulazi u papir je tipično višestruko raspršena prije nego što izađe iz papira ili bude apsorbirana. Na dodirnim plohama slojeva različitog indeksa loma dolazi do refleksije koja je uvjetovana relativnim indeksom loma tih dvaju slojeva. Višestruko raspršenje svjetlosti u papiru je temeljni razlog mnogih makroskopskih optičkih svojstava papira npr. bjeline. Svjetlost kao elektromagnetski val interagira sa svom materijom zbog električnog naboja na molekularnoj razini, na način da inducira titranje naboja. Naboj koji oscilira zrači u svim smjerovima. Ipak neke oscilacije mogu transferirati ulaznu energiju u druge oblike kao što je na primjer toplinska energija. To odgovara apsorbiranom dijelu svjetlosti.

Što je niži koeficijent raspršenja svjetlosti u papiru, to je dulji srednji put koji svjetlost prijeđe u papiru, a samim time raste vjerojatnost da svjetlost ostane zarobljena.

Procesom rastriranja dolazi do konverzije kontinuiranih tonova originala u jednotonsku (crno-bijelu) informaciju (elementi slike, rasterski elementi, itd.) koja se otiskuje na podlozi. Svjetlost koja obasjava podlogu može biti apsorbirana od boje, ili od papira što nije poželjno. Idealni crno-bijeli otisak podrazumijevao bi potpunu apsorpciju svjetlosti na boji i potpunu odsutnost apsorpcije u papiru.



Slika 39. Mogući ishodi prijenosa svjetlosti u otisnutom 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; A-apsorpcija na boji, B-B' –površinska refleksija na boji, C-C'-interna refleksija, D,E-apsorpcija ispod rasterskog elementa,F-F'-interna refleksija

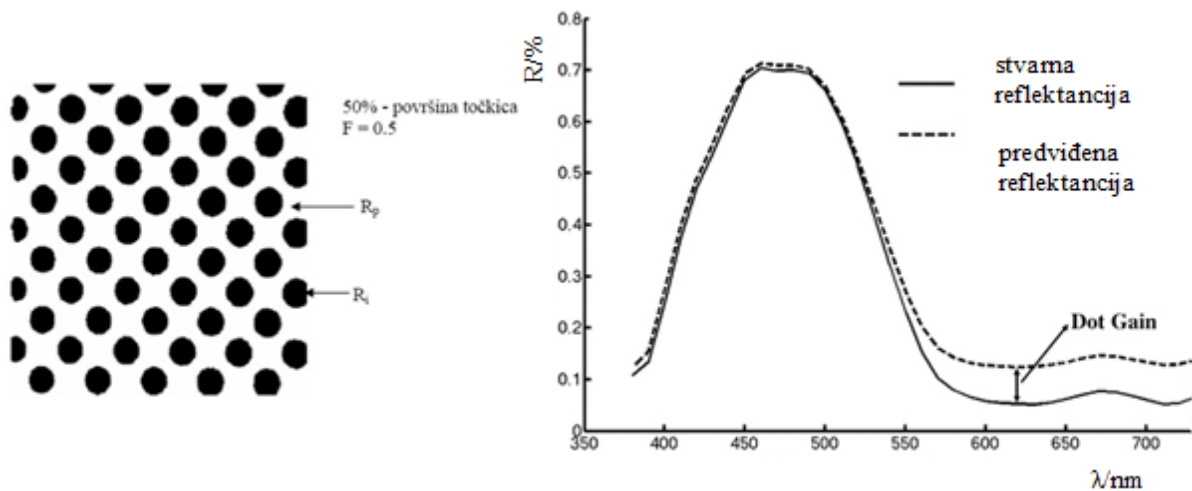
Uz prethodno opisane javljaju se dodatni mogući ishodi transfera svjetlosti u papiru uvjetovani distribucijom rasterskih elemenata i karakteristikama bojila. Tako postoji mogućnost apsorpcije svjetlosti na površini bojila, prije kontakta s podlogom (zraka A), i u znatno manjoj mjeri zrcalne refleksija (zraka B - B'). U slučaju niskog koeficijenta apsorpcije bojila, značajne količine svjetlosti mogu prodrijeti kroz sloj bojila u podlogu što omogućuje dodatno raspršenje svjetlosti (zrake C – C', E – E', F - F'). Jedan od mogućih ishoda uključuje svjetlost koja ulazi u papir, raspršuje se unutar njega i pri povratku na površinu biva apsorbirana od strane rasterskog elementa (zraka D) uzrokujući proširenje otisnutog elementa.

#### 4.1. Optički prirast rastertonske vrijednosti

Prvi optički model reprodukcije tona procesom rastriranja za monokromne otiske dan je Murray-Daviesovom jednažbom<sup>[91]</sup> koju je kasnije proširio Neugebauer<sup>[92]</sup>.

$$R(\lambda) = aR_i(\lambda) + (1 - a)R_p(\lambda) \quad (23)$$

gdje su  $R(\lambda)$ ,  $R_i(\lambda)$  i  $R_p(\lambda)$ , redom srednje reflektancije slike, otisnute boje i neotisnutog papira,  $a$  površina papira prekrivena bojilom,  $1-a$  površina prekrivena rasterskim elementima. Murray-Daviesov model pretpostavlja linearnu ovisnost između reflektancije rastertonske slike, i površine prekrivene rasterskim elementima, uzimajući u obzir samo pojavu površinske refleksije.



Slika 40. a) Ilustracija slike s  $F=0,5$  b) njena reflektancija

Očekivano, mjerenja koja su proveli Yule i Nielsen (slika 40) su pokazala neslaganje izmjerenih vrijednosti reflektancije s predviđenim modelom. Otisak sa 50% RTV na savršeno bijelom papiru je apsorbirao više od 50% svjetlosti, tj. slika je općenito tamnija nego što je predviđeno Murray-Daviesovom jednadžbom. Ta razlika ima znatan utjecaj na reprodukciju tonova. Prva razmatranja su pripisivala ovakvo ponašanje otiska prodorom tinte u prostor između rasterskih elemenata što nije pogrešno, ali se ipak u puno većoj mjeri može pripisati zanemarivanju lateralnog raspršenja svjetlosti poznatijem pod nazivom optički prirast rastertonske vrijednosti (*optical dot gain*). Na temelju ovoga su Yule i Nielsen utvrdili ne linearnu ovisnost između očekivane i izmjerene reflektancije <sup>[93]</sup>, te su modificirali Murray-Daviesovu jednadžbu uvođenjem empirijskog parametra  $n$  koji je uvjetovan samom tehnikom tiska, podlogom i bojom

$$R(a) = \left[ aR_i^{1/n} + (1-a)R_p^{1/n} \right]^n, \quad n \in [1, \infty) \quad (24)$$

Za  $n=1$  Yule-Nielsenova jednadžba postaje ekvivalentna Murray-Daviesovoj, tj. raspršenje svjetlosti je 0. Općenito, niža vrijednost parametra  $n$  ukazuje na niže vrijednosti raspršenja svjetlosti u papiru.

Clapper i Yule<sup>[94]</sup> proširuju rad Yula i Nielsena uvođenjem doprinosa višestrukih unutarnjih refleksija između gornjih i donjih granica podloge pri čemu pretpostavljaju uniforman sloj boje i potpuno raspršenje svjetlosti u podlozi što je prihvatljivo samo kada je prosječna udaljenost lateralnog raspršenja mnogo veća od veličine rasterskog elementa.

Optički prirast rasterske vrijednosti nastaje kao posljedica raspršenja i difuzije svjetlosti unutar papira<sup>[95,96,97]</sup>. Kada svjetlost dođe do površine između rasterskih elemenata ona se djelomično reflektira, djelomično rasprši s površine podloge, a dio prođe u samu podlogu gdje nakon višestrukih raspršenja biva apsorbirana ispod rasterskog elementa, kao posljedica čega rasterski elementi postaju tamniji i veći nego što je njihova stvarna veličina i gustoća zacrnjena. Naravno, treba imati na umu da optički prirast nije konstantan, već ovisi o upotrijebljenoj valnoj duljini svjetlosti.

Sredinom osamdesetih godina prošlog stoljeća, Viggiano<sup>[98]</sup> je objedinio Yule-Nielsenov i Neugebauerov model. Modeliranje optičke komponente prirasta je aktivna tema koja zaokuplja znanstvenike u posljednjim desetljećima<sup>[99,100,101,102]</sup>, te se među ostalima pojavila ideja modeliranja optičkog prirasta rasterske vrijednosti pomoću funkcije razmazivanja točke.

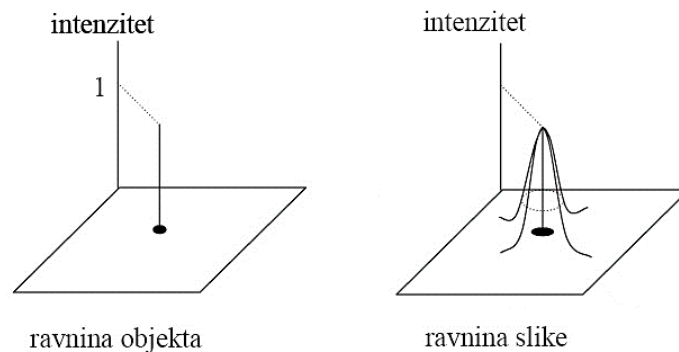
#### 4.1.1. Funkcija razmazivanja točke (*PSF*)

Funkcija razmazivanja točke (*PSF*) je u svojim temeljima ne linearna funkcija komponenta elektromagnetskog polja koji se javljaju u optičkoj domeni u obliku funkcija gustoće energije, upravo zbog toga je precizno mjerenje *PSF*-je bilo nedostupno jako dugo vremena, jer jednostavno nije postojala odgovarajuća aparatura koja je mogla kvalitetno registrirati intenzitete zračenja.

Ideja opisa pomoću *PSF* potječe iz optičkih sustava, prije svega teleskopa gdje je bilo ključno utvrditi rezolucijsku sposobnost (kvalitetu) optičkog sustava koji utječu na deformiranje i zamaglivanje slike dalekih točkastih izvora. Naravno, razvojem tehnički naprednijih optičkih

sustava za pohranu podataka *PSF* je zauzela ključno mjesto i u određivanju rezolucije ovih sustava.

Za razliku od ove uloge koju *PSF* ima u tradicionalnim i naprednim optičkim sustavima, njena primjena u analizi svojstava papira ne leži u određivanju rezolucije, budući da su maksimalne prostorne rezolucije rastertonske slike bitno niže od frekvencije rasterskih elemenata, već proizlazi iz potrebe za karakterizacijom difuzije svjetlosti u papiru.



Slika 41. a) Digitalni original-točkasti izvor jediničnog intenziteta, b) otisak-idealna slika točkastog izvora (*PSF*)<sup>[88]</sup>

Pri određivanju *PSF* pretpostavlja se linearnost ulazno-izlaznog sustava<sup>[103]</sup>, pri čemu  $f(x,y)$  predstavlja digitalni original, a  $g(x,y)$  konačni otisak, dok je djelovanje sustava prikazano operatorom  $S\{ \}$ , i tada vrijedi

$$g(x, y) = S\{f(x, y)\} \quad (25)$$

Ako ulaznu informaciju zapišemo kao

$$f(x, y) = \iint_{-\infty}^{+\infty} f(x', y') \delta(x - x') \delta(y - y') dx' dy' \quad (26)$$

a izlaznu kao

$$g(x, y) = S\{\iint_{-\infty}^{+\infty} f(x', y') \delta(x - x') \delta(y - y') dx' dy'\}, \quad (27)$$

zbog linearnosti sustava vrijedi

$$g(x, y) = \iint_{-\infty}^{+\infty} f(x', y') S\{\delta(x - x') \delta(y - y')\} dx' dy' \quad (28)$$

gdje je odziv sustava tzv. funkcija razmazivanja točke (*PSF*).

$$H(x, x'; y, y') = S\{\delta(x - x') \delta(y - y')\} \quad (29)$$

U slučaju stacionarnog sustava,  $PSF$  može biti zapisana kao  $H(x - x', y - y')$ . Normalizacijom  $PSF$  može se odrediti gustoća vjerojatnosti da foton koji je ušao u papir u točki  $(x', y')$  izađe natrag iz papira u točki  $(x, y)$ .

Pod pretpostavkom radijalne simetričnosti,  $PSF$  poprima oblik

$$PSF(x, y) = H(x, y) = H(\rho) \quad (30)$$

gdje je  $\rho = \sqrt{x^2 + y^2}$  radijalna udaljenost.

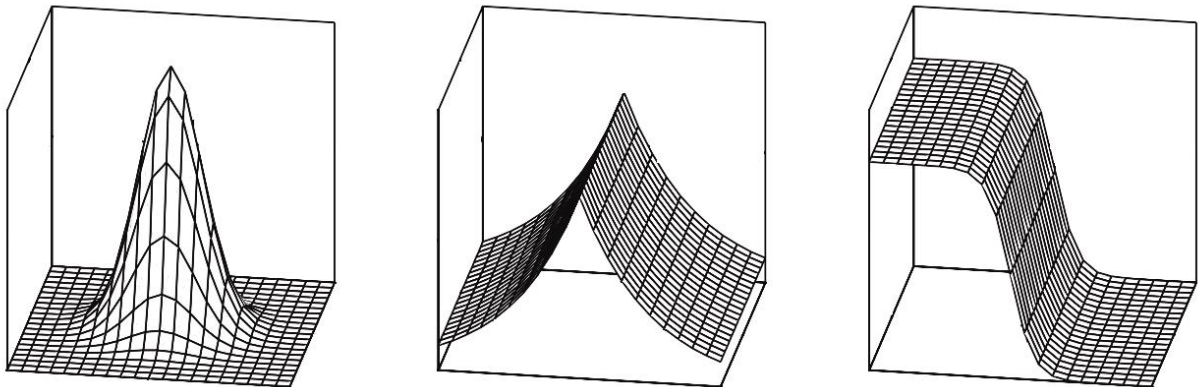
Iz  $PSF$  se automatski može odrediti funkcija razmazivanja linije ( $LSF$ ) koja odgovara odzivu sustava na linijski ulaz<sup>[103]</sup>

$$LSF(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} PSF(x, y) dy \quad (31)$$

Istovremeno možemo definirati i funkciju razmazivanja ruba ( $ESF$ ) [4]

$$ESF(x) = \int_{-\infty}^x LSF(x') dx' \quad (32)$$

$$LSF(x) = \frac{d[ESF(x)]}{dx} \quad (33)$$



Slika 42. Tipičan izgled a)  $PSF$ , b)  $LSF$ , c)  $ESF$

S njima je usko povezana i modulacijska prijenosna funkcija ( $MTF$ ), koja prikazuje odziv papira u frekvencijskoj domeni, a određuje se kao Hankelov transform nultog reda zadane  $PSF$  ili kao Fourierov transform funkcije razmazivanja linije.

$$MTF(\omega) = \left| \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} PSF(x, y) e^{-2\pi i \omega x} dy dx \right| \quad (34)$$



$$MTF(\omega, \nu) = FFT\{|PSF(x, y)|\} \quad (35)$$

Yule i suradnici <sup>[104]</sup> su 1967. prvi pokušali kvantificirati difuziju fotona mjereći širinu *PSF* za koju su pretpostavili da ima Gaussov oblik. Koristeći se gradijentnom metodom <sup>[105,106]</sup> pri određivanju ruba na različitim vrstama papira, ustanovili su zadovoljavajuću korelaciju između razlike stvarne i efektivne površine rasterskog elementa i širine *PSF*-je. Nedugo nakon njih, Wakeshima i suradnici <sup>[106]</sup> su u svojem eksperimentu osvjetljavali papir s točkastim izvorom svjetlosti i određivali *PSF* kao funkciju udaljenosti s obzirom na točku upada, te su ustvrdili njen eksponencijalni oblik.

Cijelo desetljeće kasnije, 1978., Ruckdeschel i Hauser <sup>[99]</sup> su se priklonili Yulovom prijedlogu Gaussove *PSF* pri čemu su se poslužili konvolucijskim pristupom koji definira očekivanu reflektanciju rasterskog otiska kao

$$R(x, y) = T(x, y) \cdot [T(x, y) * PSF(x, y)] \quad (36)$$

gdje su  $T(x, y)$  transmitancija bojila na papiru,  $PSF(x, y)$  funkcija razmazivanja točke papira, a  $*$  označava konvolucijski integral.

1995. godine Engeldrum i Prindham <sup>[107]</sup> su određivali *MTF* iz gradijenta ruba za različite tipove papira, te su usporedbom izmjerenih vrijednosti s teorijskim oblikom *PSF* koju je 1982. predložio Oittinen <sup>[108]</sup> na temelju Kubelka-Munk teorije širenja svjetlosti ustanovili slabo slaganje za premazane papire, te značajno bolje za nepremazane papire manje gramature, što je posljedica slabosti Kubelka-Munk teorije koja diskriminira lateralno širenje svjetlosti koje je izraženije kod papira s većom gramaturom.

Arney je sa suradnicima <sup>[109,110,111]</sup> krajem 90-ih godina objavio mnogobrojna mjerenja *MTF*-a papirnih supstrata, i uspoređivao ih s fenomenološkim i teorijskim *MTF* funkcijama izvedenima iz Kubelka-Munk teorije. Istovremeno je Rogers <sup>[95]</sup> 1997. izveo teorijsku *PSF* rješavajući prijenosnu jednadžbu zračenja, primjenjujući difuznu aproksimaciju.

Veliki doprinos teorijskom razmatranju u proširenju Kubelka-Munk teorije je dao Yang <sup>[112,113,114,115]</sup> u razdoblju od 2002. do 2008., što je Mourad <sup>[116,117]</sup> djelomično iskoristio pri određivanju *MTF*-a papira proširenom Kubelka-Munk teorijom.

Posljednjih godina veliki doprinos istraživanju u ovom području došao je upravo s Grafičkog fakulteta gdje su se u sklopu doktorskih disertacija provela mnogobrojna relevantna istraživanja. Tako je Modrić<sup>[88]</sup> u sklopu svoje disertacije primjenom Monte Carlo simulacije odredio funkciju razmazivanja točke koja za razliku od ranije predloženih ima Lorentzov profil. Na njegov rad se nastavila Petric Maretić koja u svojoj disertaciji<sup>[118]</sup> također Monte Carlo metodom simulira reflektancijski profil otisnute linije konvolucijom idealnog profila i Lorentzove *PSF*. Usporedbom simuliranog profila s mjerenom funkcijom razmazivanja linije potvrđuje Lorentzov oblik *PSF*. Kvaliteta ovih istraživanja je potvrđena objavom nekolicine radova<sup>[119,120,121]</sup>.

## 4.2. Mehanički prirast rastertonske vrijednosti

Jackson<sup>[122]</sup> je definirao mehanički prirast rastertonske vrijednosti kao ukupni fizički prirast u veličini rastreskog elementa do kojeg dolazi prilikom svakog koraka prijenosa slike na otisnuti papir:

- Separacija boja
- Izrada tiskovne forme
- Prijenos bojila s tiskovne forme na tiskovnu podlogu
- Karakteristike bojila
- Karakteristike podloge

Mehanički prirast može biti ravnomjeran duž cijelog kružnog vijenca oko predviđene rasterske točkice, ili nepravilan zbog različitih deformacija prilikom samog tiska, npr. smicanja (izduživanje rasterskog elementa) i dubliranja (formiranje sekundarne rasterske točkice u blizini otisnute).



Slika 43. Ilustracija a) nominalne b) efektivne veličine rasterske točkice

Očekivano, mehanički prirast je prvenstveno uvjetovan fizikalnim principima generiranja otiska, pa je u skladu s tim jedinstven za svaku tehniku tiska.

U slučaju piezoinkjeta, budući da nema kontakta između uređaja za obojenje (ispisne glave) i papira, mehanički prirast je uvjetovan ponajprije ispisnom glavom, tj. fluktuacijama električnih pulsova koji se generiraju u piezo elementima, a koji su odgovorni za određivanje veličine kapljice kao i brzine otiskivanja. Nadalje, formiranje kapljice tinte je usko povezano s viskoznosti tinte, stoga bilo kakve varijacije u radnoj temperaturi mogu negativno djelovati na konačni otisak. I naposljetku, tu je papir kao treći čimbenik mehaničkog prirasta. Prvotna veličina točkice na papiru ovisi o brzini kapljice u trenutku sudara s papirom i njenom volumenu. Varijacije u veličini i brzini kapljice vode ka povećanje točkice.

Različiti papiri generiraju različite priraste, prije svega zbog nejednakih svojstava apsorpcije bojila, tako premazani papiri zbog niže apsorpcije bojila pokazuju niži mehanički prirast u usporedbi s nepremazanim papirima.

Također, otisnute površine na hrapavom papiru su puno svjetlije od onih na glatkom i sjajnom papiru. To nije samo zbog veće apsorpcije hrapavog papira, već velikom mjerom zbog raspršenja svjetlosti u raznim smjerovima što smanjuje intenzitet otisnute boje.

Prebrza apsorpcija tinte u podlogu rezultira lošijim otiskom, s druge strane prespora apsorpcija uzrokuje probleme sa sušenjem zbog kojeg dolazi do lateralnog širenja tinte, tj. proširenja linija i nesavršenosti rubova.

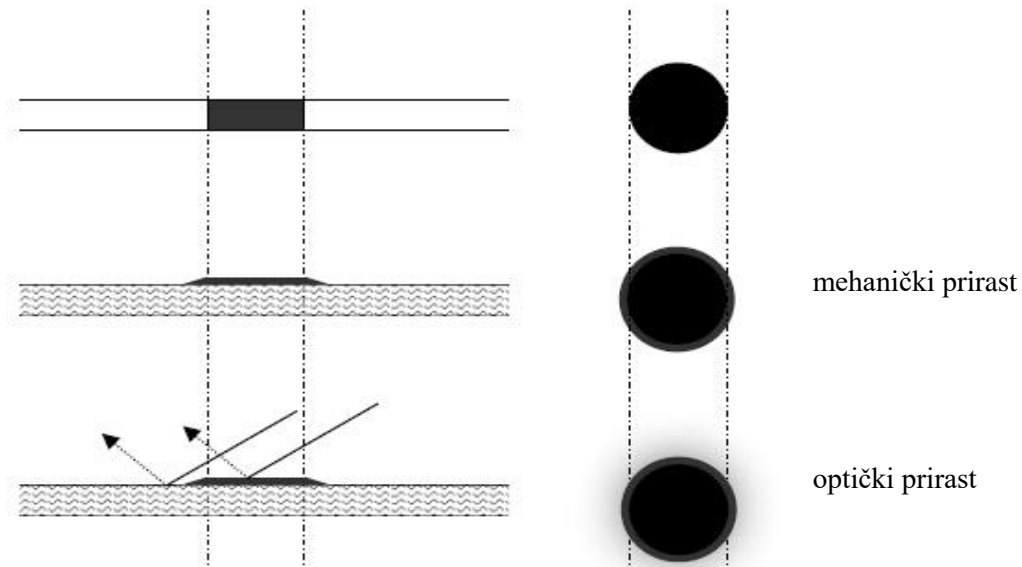
S obzirom da elektrofotografija koristi druge fizikalne principe generiranja otiska i uzročnici prirasta su drugačiji. Prepoznato je da prijenos tonera i njegovo fuziranje, uz postupak generiranja latentne slike imaju ključnu ulogu u konačnom mehaničkom prirastu.

Poboljšanja u kvaliteti uređaja za tisak, bojilu, papiru, mogu značajno reducirati ovaj efekt, ali ga ne mogu nikada u potpunosti eliminirati.

Yule-Nielsenov model je konstruiran s ciljem uključivanja optičkog dot gaina u razmatranja prijenosa svjetlosti kroz otisnutu površinu. Ipak, on se često primjenjuje u slučajevima kad je uključen i mehanički prirast rastertonske vrijednosti zbog koegzistencije optičkog i mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti. Nažalost, takvi pokušaji daju faktor  $n$  veći od 2 (u nekim slučajevima i bitno veći od 2)<sup>[123,124]</sup> koji nema privatljivo fizikalno objašnjenje.

### 4.3. Koegzistencija mehaničkog i optičkog prirasta rastertonske vrijednosti

Svaki proces tiska neminovno rezultira mehaničkim prirastom rastertonske vrijednosti, dok svaki pokušaj promatranja otiska rezultira dodatnim generiranjem optičkog prirasta rastertonske vrijednosti, što čini ove dvije pojave neraskidivo povezanim.



Slika 44. Ilustracija ukupnog prirasta rastertonske vrijednosti kao kombinacije mehaničkog i optičkog prirasta veličine rasterskog elementa

Kontrola prirasta rastertonske vrijednosti se postiže određivanjem efektivne površine,  $a_{eff}$ , otisnute točkice na temelju Murray-Daviesove jednadžbe, gdje je  $R_m(\lambda)$  izmjerena reflektancija s otisnute površine

$$a_{eff} = \frac{R_p(\lambda) - R_m(\lambda)}{R_p(\lambda) - R_i(\lambda)} \quad (37)$$

iz čega se ukupni prirast rastertonske vrijednosti može odrediti kao razlika efektivne i nominalne površine točkice,  $a_{ref}$ .

$$DG = a_{eff} - a_{ref} \quad (38).$$

Na temelju izračunate vrijednosti ukupnog prirasta rastertonske vrijednosti dolazi do kompenzacije prirasta smanjenjem nominalne površine rasterskog elementa, nakon čega slijedi ponovno otiskivanje i određivanje površine novootisnutog elementa.



Slika 45. Ilustracija kompenzacije prirasta rastertonske vrijednosti a) željena veličina rasterskog elementa, b) otisnuti rasterski element s pripadajućim prirastom, c) smanjenje početnog rasterskog elementa, d) konačni otisnuti rasterski element

Koegzistencija optičkog i mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti otežava odvojena mjerenja bilo jednog bilo drugog<sup>[125]</sup> što nije spriječilo znanstvenike da pokušaju procijeniti fizički prirast rastertonske vrijednosti temeljen na mjerenjima transmitancije i reflektancije<sup>[125,126]</sup> te njihovih aproksimativnih izračuna<sup>[127]</sup>. Koopipat i suradnici<sup>[128]</sup> su 2002. predložili metodu mjerenja otisnutog elementa bez utjecaja optičkog prirasta. Njihova metoda uključuje mjerenje transmitirane slike na otisnutom supstratu korištenjem dvaju svjetlosnih izvora, usmjerenih na podlogu s gornje i donje strane uzorka. Reflektirana slika uključuje mehanički i optički prirast rastertonske vrijednosti dok transmitirana slika pokazuje samo mehanički prirast rastertonske vrijednosti.

Na tragu ideje da transmitirana slika ne sadrži optički prirast rastertonske vrijednosti Ukishima i suradnici<sup>[128]</sup> su predložili metodu za odvojeno modeliranje mehaničkog i optičkog prirasta rastertonske vrijednosti. Mehanički prirast rastertonske vrijednosti temeljili su na transmitancijskom spektralnom Neugebaureovom modelu uz pomoć kojeg su odredili efektivnu površinu rasterskog elementa, dok su za modeliranje optičkog prirasta rastertonske vrijednosti prilagodili Yule-Nielsenov spektralni Neugebauerov model temeljen na transmitanciji u kojem su iskoristili prethodno određenu efektivnu površinu za određivanje parametra  $n$ .

Daljnja istraživanja koja su proveli Namedanian i Gooran<sup>[129]</sup> pokazala su da iako transmitirana slika pokazuje manji optički prirast rastertonske vrijednosti u usporedbi s reflektiranom slikom, on se ne može u potpunosti zanemariti. Paralelno s ovim saznanjima predložili su i novu metodu određivanja ukupnog prirasta rastertonske vrijednosti, koja za razliku od većine prethodnih opisa<sup>[130,131]</sup> ukupnog prirasta koje prikazuje samo krivulju prirasta rastertonske vrijednosti (razliku između efektivne i nominalne prekrivenosti površine) uključuje i sami oblik efektivne površine. Ideju svog modela o uporabi mikroskopskih slika za

karakterizaciju prirasta rastertonske vrijednosti preuzeli su od Arneya i suradnika <sup>[132]</sup>, koji su iz histograma dobivenih iz mikroskopskih slika procjenjivali prijelaznu reflektanciju između otisnutog rasterskog elementa i papira kao točku u kojoj je došlo do maksimalne promjene u intenzitetu, pomičući se od središta reflektancije rasterske točke prema središtu reflektancije papira. Koristeći ovu točku Nemedanian i Gooran <sup>[128]</sup> su određivali prosječnu reflektanciju otisnutog rasterskog elementa iz čega su procjenjivali ukupni prirast rastertonske vrijednosti iz Murray-Daviesovog modela.

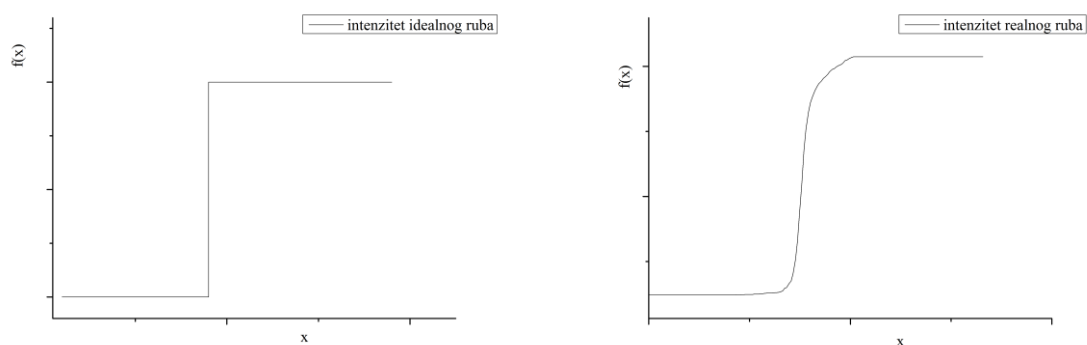
Iz dosadašnjih istraživanja vidljivo je da praktično odvajanje mehaničkog i optičkog prirasta rastertonske vrijednosti nije u potpunosti postignuto, te da se većina predloženih modela temelji na određivanju ukupnog prirasta rastertonske vrijednosti. Aktualne metode koje su uspjele približno dobro opisati i odrediti stvarni utjecaj mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti ipak nisu dovoljno dobre kako bi odredile sam oblik funkcije koja opisuje mehanički prirast rastertonske vrijednosti, iz čega proizlazi potreba za daljnjim istraživanjem i predlaganjem novog modela koji bi što vjernije zasebno opisao komponente prirasta.

## 5. Detekcija ruba linijskog otiska

Linijski otisak je jedan od najzastupljenijih u rasterskoj reprodukciji, a samim time i u sveobuhvatnoj grafičkoj industriji, čime se logično nameće njegova analiza kao mjera kvalitete sveobuhvatnog sustava otiskivanja, uključujući tiskarski stroj, korišteno bojilo i primijenjenu podlogu.

Uz mjerenja širine linije koje nam daju uvid u veličinu ukupnog prirasta rastertonske vrijednosti korištene kombinacije uređaja, bojila i papira, omogućen nam je dublji uvid u izgled, orijentaciju i strukturu samih rubova koji tvore liniju, kao i informacije o stupnju uniformnosti linije.

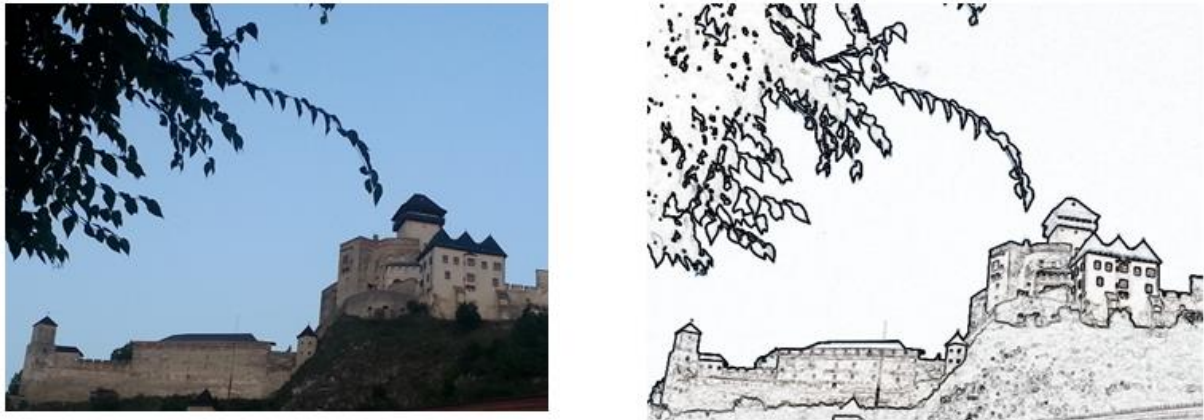
Za ostvarivanje ovih informacija nužno je pouzdano locirati njihove rubove. Rub je u slikovnoj analizi definiran kao granica između objekta i pozadine. Glavna svrha detekcije ruba je pojednostavljenje slikovnih podataka kako bi se smanjila količina podataka koje treba obraditi <sup>[133]</sup> identificirajući i locirajući oštre diskontinuitete koji se manifestiraju kao nagle promjene intenziteta koje predstavljaju granice objekata na slici. Nažalost idealni rub je samo iluzija, te u većini primjera ne postoji stepenasti skok u intenzitetu već su granice definirane postepenom promjenom intenziteta.



Slika 46. Ilustracija idealnog i realnog ruba

Proces detekcije započinje ispitivanjem lokalnog diskontinuiteta na svakom elementu slike, pikselu. Amplituda, orijentacija i položaj pojedinog podpodručja slike su važne karakteristike potencijalnih rubova <sup>[134]</sup>. Na temelju tih karakteristika, detektor procjenjuje da li će ispitivani piksel svrstati kao rub. Frei i Chen <sup>[134]</sup> sugeriraju detekciju ruba najjednostavnijim

detektorom, nakon čega slijedi strukturalno prorjeđivanje i povezivanje s ciljem optimizacije rubova.



Slika 47. Ilustracija detekcije ruba a) originalna slika b) rubovi detektirani laplasijanom

Metode detekcije ruba se u grubo mogu podijeliti u dvije kategorije: gradijentna metoda i metoda laplasijana.

- Gradijentna metoda detektira rubove traženjem maksimuma i minimuma prve derivacije slike.

Gradijent skalarnog polja  $f(x, y, z)$  je općenito definiran kao

$$\nabla f = \frac{\partial f}{\partial x} \mathbf{i} + \frac{\partial f}{\partial y} \mathbf{j} + \frac{\partial f}{\partial z} \mathbf{k} \quad (39)$$

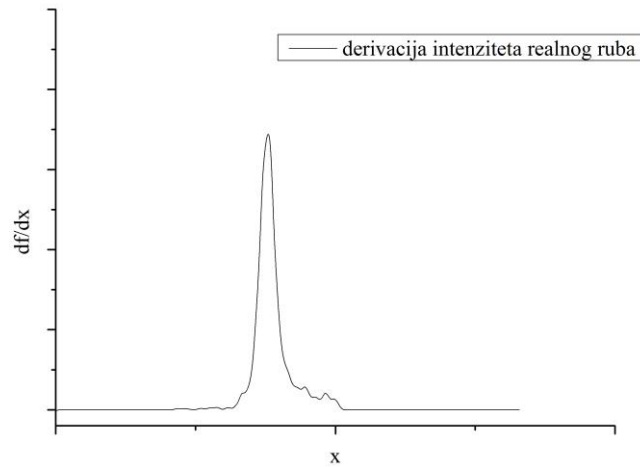
gdje je  $\nabla f$  vektorsko polje, čije su komponente parcijalne derivacije funkcije  $f(x, y, z)$  po  $x$ ,  $y$  i  $z$ .

Uzme li se gradijent realnog jednodimenzionalnog ruba prikazanog na slici 46. dobiva se funkcija koja pokazuje maksimum lociran na sredini ruba u izvornoj funkciji. Dobivena funkcija odgovara funkciji razmazivanja ruba. Korištenje digitalizirane slike s konačnim brojem piksela onemogućuje primjenu kontinuirane derivacije, te se razlike između vrijednosti neposrednih piksela može izračunati kao konačna derivacija.

Sobelov operator <sup>[135]</sup> koji se temelji na gradijentu je jedan od najzastupljenijih u slikovnoj analizi. Lokacija piksela je proglašena lokacijom ruba ako vrijednost gradijenta premašuje unaprijed određenu graničnu vrijednost. Budući da rubovi imaju veću vrijednost od



okolnih piksela, s jednim određenim pragom moguće je usporediti vrijednost gradijenta s graničnom vrijednosti i detektirati rub kad god je prag prekoračen.



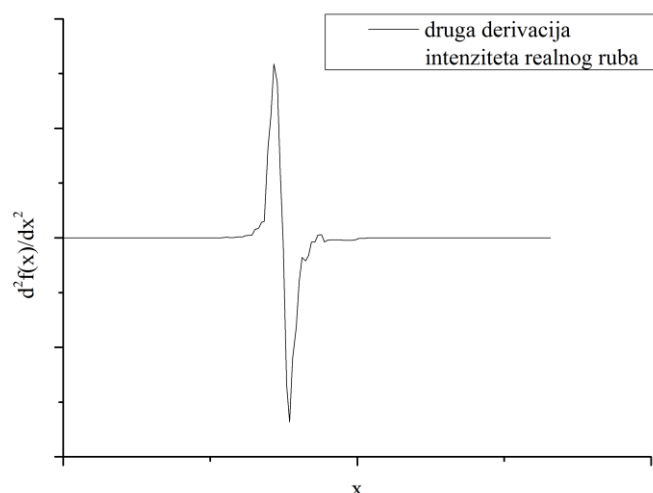
Slika 48. Gradijent slike realnog ruba prikazanog na slici 46.

- Metoda laplasijana detektira rubove traženjem položaja na slici u kojoj druga derivacija ima vrijednost nula.

Laplasijan je diferencijalni operator koji daje divergenciju gradijenta skalarne funkcije a definiran je kao

$$\Delta f = \nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial z^2} \quad (40)$$

Primjenom laplasijana realnog jednodimenzionalnog ruba prikazanog na slici 46. dobiva se funkcija koja pokazuje nulu druge derivacije lociranu na sredini ruba u izvornoj funkciji.



Slika 49. Laplasijan slike realnog ruba prikazanog na slici 46.

Klasične metode detekcije ruba uključuju konvoluciju slike s operatorom, koji je osjetljiv za velike gradijente, dok za uniformna područja daje vrijednost nula. Postoji iznimno velik broj operatora za detekciju ruba, primjerice razlikuju se operatori usmjereni na traženje horizontalnih i vertikalnih ili dijagonalnih rubova.

Svaki proces otiskivanja i mjerenja otiska neizbježno uključuje generiranje šuma. Povećanjem broja parametara koji sudjeluju u procesu otiskivanja i analize otiska, povećava se i konačni šum. U eksperimentalnom dijelu ove disertacije u obradi otisnutih linijskih elemenata doći će do izražaja tri doprinosa šuma, to su zrnatost papira, neuniformnost nanosa bojila i šum mjernog uređaja. Šum papira,  $\sigma_p$ , najviše doprinosi zrnatosti papira za maksimalne vrijednosti reflektancije,  $R_{max}$ , dok se prelaskom s neotisnutog dijela papira na otisnuti smanjuje refleksija, te je za minimalnu reflektanciju,  $R_{min}$ , doprinos šuma boje  $\sigma_i$  najveći.

Varijanca cjelokupnog procesa je dana izrazom <sup>[118]</sup>

$$\sigma^2 = R_p \sigma_p^2 + R_i \sigma_i^2 + \frac{dTTF}{dR} \sigma_s^2 \quad (41)$$

gdje su  $\sigma_s$  šum uređaja,  $TTF$  prijenosna funkcija uređaja,  $R_p = \frac{R(F) - R_{min}}{R_{max} - R_{min}}$  refleksija papira,

$R_i = 1 - R_p$  refleksija boje.

Doprinos mjernog uređaja (PIAS) u ukupnom doprinosu šuma, iako zasigurno postoji, je zanemariva u usporedbi s preostala dva doprinosa. Također, konstantna zrnatost papira omogućuje razmatranje isključivo doprinosa koji potječe od linije što nam omogućuje razmatranje prirasta rastertonske vrijednosti.

Svaka metoda detekcije ruba se neizbježno susreće s problematikom odgovarajuće količine izgladivanja. Naime, veća količina izgladivanja ima poželjan efekt smanjenja šuma i drugih mikro nepravilnosti što olakšava daljnju obradu podataka, ali s druge strane nedovoljno precizno lokalizira rub. Manja količina izgladivanja pozitivno utječe na svojstva lokalizacije istovremeno povećavajući omjer signala i šuma. Kako bi zaobišao ovaj problem Bergholm je predložio detekciju ruba na gruboj skali koju bi popratilo finije lociranje ruba, metodu kojom ćemo se i mi koristiti.

## 5.1. Funkcije gustoće vjerojatnosti

Budući da su *PSF*, *LSF* i *ESF* na čijoj se analizi temelji ova disertacija funkcije gustoće vjerojatnosti na trenutak ćemo se posvetiti matematičkim svojstvima takvih funkcija vodeći računa o funkcijama koje ćemo koristiti pri njihovom modeliranju, Gaussovoj i Lorentzovoj.

Funkcija gustoće vjerojatnosti nije vjerojatnost već je to funkcija koja opisuje relativnu vjerojatnost da kontinuirana slučajna varijabla poprimi određenu vrijednost, odnosno to je funkcija koja određuje vjerojatnost da varijabla poprimi određenu vrijednost unutar određenog intervala<sup>[136]</sup>. Svaka kontinuirana slučajna varijabla ima funkciju gustoće vjerojatnosti  $f(x)$ , koja ima slijedeća svojstva:

$$f(x) > 0 \quad (42)$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx = 1 \quad (43)$$

$$\int_{x_1}^{x_2} f(x) dx = P(x_1 < x < x_2), \quad (44)$$

pri čemu su  $x_1$  i  $x_2$  bilo koje dvije vrijednosti varijable  $x$  koje zadovoljavaju nejednakost  $x_1 < x_2$ .

Funkcija gustoće vjerojatnosti  $f(x)$  je derivacija kumulativne funkcije raspodjele  $F(x)$ :  $f(x) = F'(x)$ , odnosno kumulativnu funkcija raspodjele se može definirati iz funkcije gustoće vjerojatnosti  $f(x)$

$$F(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x)dx \quad (45)$$

Kumulativna funkcija raspodjele je funkcija koja u potpunosti opisuje raspodjelu vjerojatnosti za neku kontinuiranu slučajnu varijablu, monotono raste, kontinuirana je s desne strane, i normirana.

Svaka teorijska distribucija ima svoj zakon vjerojatnosti po kojem su distribuirane tekuće vrijednosti slučajne varijable  $X$ . Osim funkcije vjerojatnosti, te distribucije karakteriziraju slijedeće veličine očekivanje  $E_x$ , varijanca  $V_x$ , koeficijent asimetrije,  $\alpha_3$ , i koeficijent zaobljenosti,  $\alpha_4$ .

Općenito za sve funkcije raspodjele gustoće možemo definirati  $i$ -ti ishodišni moment

$$\mu_i = \int_{-\infty}^{+\infty} x^i f(x)dx \quad (46)$$

te  $i$ -ti središnji moment

$$\mu'_i = \int_{-\infty}^{+\infty} (x - \mu)^i f(x)dx \quad (47)$$

uz nužnu apsolutnu konvergenciju integrala u oba slučaja. Za  $i=1$  dobivamo srednju ili očekivanu vrijednost kontinuirane slučajne varijable  $x$  s pridruženom funkcijom gustoće vjerojatnosti  $f(x)$

$$\mu = \mu_1 = \int_{-\infty}^{+\infty} x \cdot f(x)dx \quad (48)$$

te shodno tome i odstupanje od srednje/očekivane vrijednosti, pri čemu je suma odstupanja svih varijabli 0

$$\mu'_1 = \int_{-\infty}^{+\infty} (x - \mu) f(x)dx=0 \quad (49)$$

Varijanca tj. drugi središnji moment kontinuirane slučajne varijable  $x$  s pridruženom funkcijom gustoće vjerojatnosti  $f(x)$  definirana je kao

$$\sigma^2 = \mu_2 = \int_{-\infty}^{+\infty} (x - \mu)^2 f(x)dx \quad (50)$$

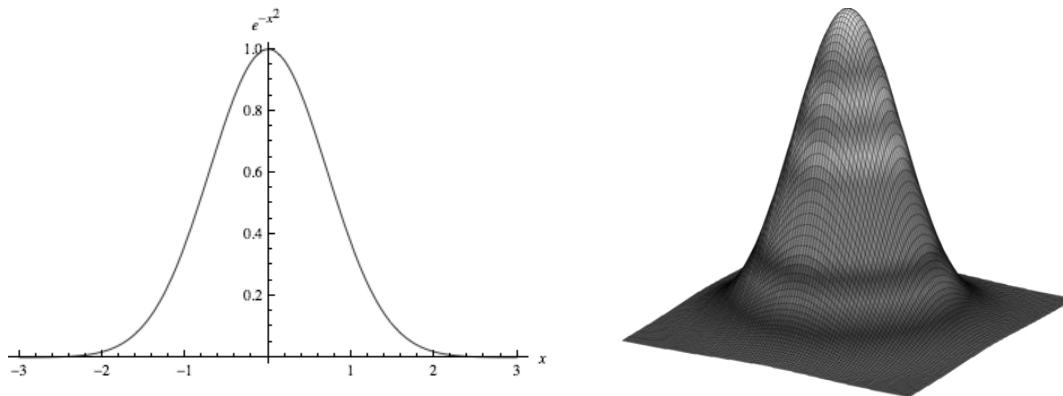
gdje je standardna devijacija pozitivna vrijednost drugog korijena varijance  $\sigma = \sqrt{\sigma^2}$ .

### 5.1.1. Gaussova raspodjela

Kontinuirana slučajna varijabla  $x$  zadovoljava Gaussovu ili normalnu raspodjelu ukoliko je njena funkcija gustoće vjerojatnosti

$$f(x; \mu, \sigma^2) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (51)$$

pri čemu je  $\mu$  lokacija vrha raspodjele, koja ujedno predstavlja i srednju vrijednost raspodjele, član  $\sigma^2$  odgovara varijanci, a parametar  $\sigma$  standardnoj devijaciji.



Slika 50. 2D i 3D prikaz Gaussove raspodjele

Prije nego se detaljnije posvetimo svojstvima same Gaussove funkcije zanimljivo je napraviti malu digresiju i istražiti njeno porijeklo. Malo je poznato kako je normalnu raspodjelu prvi primijenio de Moire još 1773. godine prilikom razmatranja problema kockarove propasti pri čemu je normalnu raspodjelu dobio kao granični slučaj binomne raspodjele za veliki broj ponavljanja s jednakom vjerojatnosti uspjeha i neuspjeha što je ujedno i prvo pojavljivanje integrala gustoće vjerojatnosti normalne distribucije i centralnog graničnog teorema koji će kasnije u potpunosti razraditi Laplace. Unatoč ovoj činjenici uz normalnu raspodjela gotovo nitko ne veže de Moirovo ime, vjerojatno zbog diskriminirajućeg položaja u društvu kojeg je de Moire zauzimao kao protestant u Francuskoj, odnosno kasnije kao Francuz u Engleskoj.

U današnje vrijeme normalna raspodjela je usko vezana uz ime Carla Friedricha Gaussa koji je 1801. uporabom metode najmanjih kvadrata odredio putanju godinu dana ranije otkrivenog

planetoida Ceresa, te je 1809. godine objavio kako se raspodjela slučajnih grešaka pri mjerenju može opisati gustoćom vjerojatnosti zadanom slijedećim izrazom

$$f(x) = \frac{h}{2\pi} e^{-h^2 x^2} \quad (52)$$

gdje je  $h$  pozitivna konstanta koju je Gauss nazvao preciznost mjerenja. Unatoč empirijskim dokazima Gauss nije bio u stanju potvrditi svoja saznanja, te Pierre-Simon Laplace 1810. formalno dokazuje kako neovisno o raspodjeli pogrešaka u pojedinom mjerenju njen prosjek uvijek teži normalnoj raspodjeli.

Prvi matematičar koji je uvidio mogućnosti primjene normalne raspodjele izvan računa pogrešaka je Adolphe Quetelet koji je razvio konstrukciju prosječnog čovjeka oko kojega se po pravilima normalne raspodjele grupiraju osobine čitave populacije.

Ali istinska primjena Gaussove raspodjele započela istraživanjima trojice znanstvenika, Pierca, Galtona i Lexisa, koji su u razdoblju od 1873. do 1879. neovisno zastupali njenu implementaciju, te ju je zbog njene raširenosti Pearson 1893. nazvao normalnom raspodjelom.

Budući da se u fizici često postavlja pitanje širine vrha nekog fenomena praktično je izraziti standardnu devijaciju u ovisnosti o poluširini maksimuma,  $w$

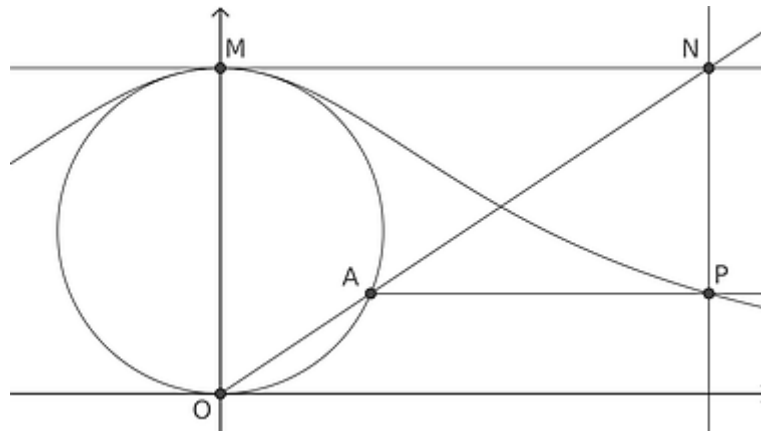
$$\sigma = \frac{w}{2\sqrt{2\ln 2}} \quad (53)$$

### 5.1.2. Lorentzova raspodjela

Funkcije koje imaju oblik Lorentzove raspodjele proučavao je još u 17-om stoljeću Pierre de Fermat te nakon njega Guido Grandi u znatno drugačijem kontekstu i pod nazivom *versoria*, dok je 1748 godine Maria Agnesi objavila studiju u kojem je zadan način konstrukcije krivulje (slika 51.) kao rješenje jedne geometrijske zagonetke.

Krećući od kružnice radijusa  $a$ , izabrana je točka  $O$  na kružnici kao ishodište koordinatnog sustava, te točka  $M$  dijametralno suprotna (na pozitivnom dijelu ordinate). Za neku točku  $A$  koja se nalazi na kružnici, nacrtana je sekanta  $OA$  čiji produžetak presijeca tangentu u točki  $M$  na mjestu  $N$ . Pravac paralelan sa pravcem  $OM$  kroz točku  $N$ , i pravac okomit na  $OM$  kroz

točku  $A$ , sijeku se u točki  $P$  koja predstavlja točku na versoriji. Mijenjanjem položaja točke  $A$ , u potpunosti se može odrediti izgled krivulje.



Slika 51. Konstrukcija versorije

Jednadžba krivulje u kartezijevom koordinatnom sustavu zadana je izrazom:

$$y = \frac{8a^3}{x^2 + 4a^2} \quad (54)$$

U slučaju kada je radijus kružnice 0,5, izraz se pojednostavljuje

$$y = \frac{1}{x^2 + 1} \quad (55)$$

Isti izraz se može zapisati u parametarskom obliku. Ako je  $\theta$  kut koji zatvaraju ordinata,  $OM$ , i sekanta,  $OA$ , mjereno u smjeru kazaljke na satu, tada je krivulja definirana izrazima

$$x = 2a \cdot \operatorname{tg}\theta \quad (56)$$

$$y = 2a \cdot \cos^2\theta \quad (57)$$

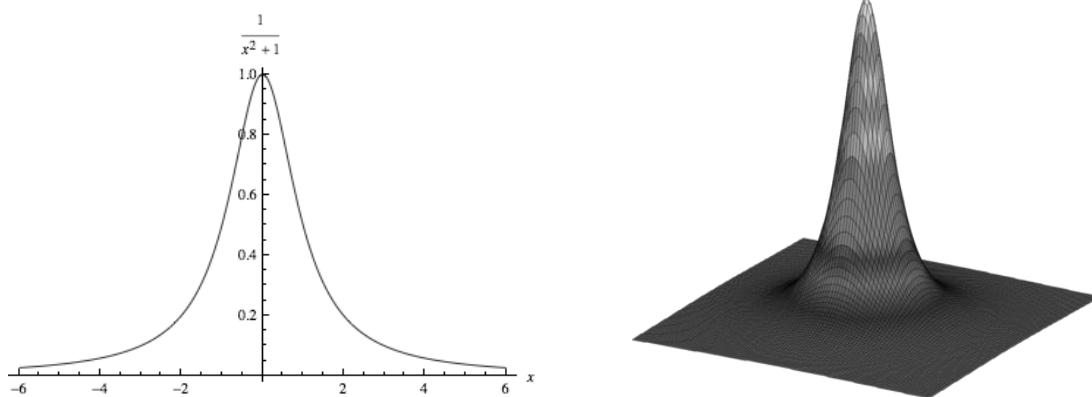
Drugo značajnije pojavljivanje ove funkcije je u statistici, gdje je poznatija pod nazivom Cauchyjeva raspodjela, te ju karakteriziraju nepostojanje srednje vrijednosti, beskonačna vrijednost standardne devijacije, te neusklađenost s centralnim graničnim teoremom. Unatoč činjenici da se podrijetlo ove funkcije u statistici pripisuje Cauchyju, Poisson je taj koji je čak 30 godina prije Cauchya ukazao na ove karakteristike, ali kao što je uobičajeno u svijetu znanosti, zasluge su pripale nekome drugom.

Naravno, ovo nije bio kraj varijacijama u imenu, te su fizičari ovoj funkciji nadjenuli ime Lorentzova funkcija u čast nizozemskog fizičara Hendrika Lorentza, a najčešće se koristi u spektroskopiji i teoriji raspršenja.

Cauchyeva raspodjela je opisana funkcijom gustoće vjerojatnosti

$$f(x; x_0, w) = \frac{1}{\pi w} \frac{w^2}{(x-x_0)^2+w^2} \quad (58)$$

gdje je  $x_0$  položaj vrha raspodjele,  $w$  poluširina na polovici maksimuma (HWHM). Amplituda ove funkcije određena je vrijednosti  $\frac{1}{\pi w}$ .



Slika 52. 2D i 3D prikaz Lorentzove raspodjele

Kao što je već rečeno Cauchyeva raspodjela je primjer funkcije koja nema definirane srednju vrijednost, varijancu i momente višeg reda zbog ne zadovoljavanja centralnog graničnog teorema što ćemo pokazati u slijedećim crtama. Ako proučavamo Cauchyevu raspodjelu s centrom u ishodištu  $x_0 = 0$ , i poluširinom na polovici maksimuma  $w=1$  očekivanu vrijednost možemo odrediti iz izraza

$$\mu = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{x}{x^2+1} dx \quad (59)$$

Budući da navedeni integral ne konvergira u potpunosti, tj. ne postoji dolje navedeni limes

$$\lim_{a \rightarrow \infty, b \rightarrow \infty} \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{x}{x^2+1} dx \quad (60)$$

ne može se odrediti očekivana vrijednost Cauchijeve raspodjele.

Unatoč ne postojanju momenata, raspodjela ipak zadovoljava uvjet normalizacije



$$\frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{x}{x^2+1} dx = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi/2}^{+\pi/2} \frac{1}{\operatorname{tg}^2 \varphi + 1} \cdot \frac{d\varphi}{\cos^2 \varphi} = 1 \quad (61)$$

U fizici je često u upotrebi troparametarska Lorentzova funkcija

$$f(x; x_0, w, I) = I \frac{w^2}{(x-x_0)^2 + w^2} \quad (62)$$

gdje je  $I$  maksimum funkcije. Vidljivo je da troparametarska Lorentzova funkcija nije funkcija gustoće vjerojatnosti budući da nije normirana na jedinicu, osim u posebnom slučaju

kada je  $I = \frac{1}{\pi w}$ .

## 6. Karakteristike papira korištenih u istraživanju

U istraživanju su korištena tri tipa nepremazanih papira ARCOPRINT 120g, NAVIGATOR 80g i SPLENDORGEL 115g. Opacitet i bjelina određeni su spektrofotometrom prema odgovarajućim ISO normama, te su navedeni u tablici.

Tablica 4. Karakteristike papira korištenih u istraživanju

Naziv papira	Primarna namjena	Težina papira / $g \cdot m^{-2}$	Opacitet / % ISO 2471	Bjelina / % ISO 2470	Glatkost/ $ml \cdot min^{-1}$
arcoprint	ofsetni tisak	120	96	110	265
splendorgel	digitalni tisak	115	91	112	70
navigator	fotokopiranje	80	98	110	75-175

Papir za kopiranje se u većini slučajeva sastoji isključivo od kemijske pulpe, za razliku od mješavine mehaničke i kemijske pulpe koja se upotrebljava u proizvodnji papira koji se koriste u digitalnom i ofsetnom tisku <sup>[137]</sup>. Budući da je točan sastav papira tajna svakog proizvođača izmjereni su FTIR spektri korištenih uzoraka Irapfinity-21 spektrometrom u ATR modu, pri čemu je korišten eksperimentalni postav s upadnim kutom od  $45^\circ$ , te s ZnSe prizmom indeksa loma 2.4. Za svaki uzorak napravljeno je 15 mjerenja s rezolucijom od  $4 \text{ cm}^{-1}$ , u rasponu spektra  $500-4000 \text{ cm}^{-1}$ .

Jedna od vrijednosti koja nam može dati precizne informacije o sastavu papira je omjer kristalnosti koji se definira kao omjer absorbancije dvaju vrpca na  $1430 \text{ cm}^{-1}$  i  $893 \text{ cm}^{-1}$  <sup>[138,139]</sup>,

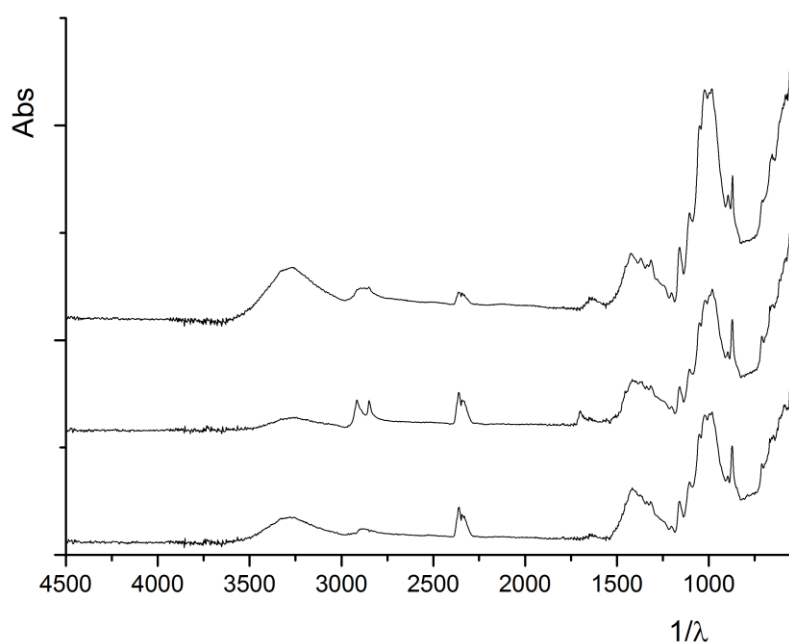
$$Cr. R. = A_{1430}/A_{893} \quad (63)$$

Kemijska pulpa ima niži indeks kristalnosti u odnosu na mehaničku pulpu tako da je sama vrijednost indeksa kristalnosti dobar pokazatelj udjela mehaničke ili kemijske pulpe. Iz tablice 4. je vidljivo da najniži indeks kristalnosti ima navigator što je i očekivano budući da taj papir svojom primarnom namjenom spada u fotokopirne papire, dok arcoprint ima najveći udio mehaničke pulpe.

Tablica 5. Indeks kristalnosti papira korištenih u istraživanju

Naziv papira	<i>Cr.R.</i>
arcoprint	0.81
splendorgel	0.67
navigator	0.59

Iz dobivenih spektara vidljivo je da sva tri papira pokazuju široku vrpce s vrhom na  $3300\text{ cm}^{-1}$  koja se može pripisati različitim *O-H* skupinama karakterističnim za celulozu<sup>[140]</sup>. Različite vrste celuloze pokazuju različite širine i apsorpcije navedene vrpce. Također ističu se dvije vrpce oko  $2920$  i  $2850\text{ cm}^{-1}$  koje se uglavnom pripisuju kalcij stearatu ( $C_{36}H_{70}CaO_4$ ) koji se koristi u kombinaciji sa škrobom i urea-formaldehidom kao punilo u proizvodnji papira i kartona<sup>[141]</sup>.



Slika 53. Od vrha prema dnu: FTIR spektri navigatora  $80\text{ g/m}^2$ , splendorgela  $115\text{ g/m}^2$ , arcoprinta  $120\text{ g/m}^2$

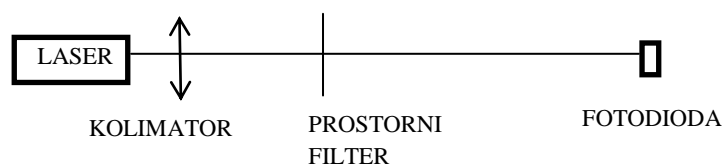
U dijelu takozvanog otiska prsta, dio od  $1500$  do  $500\text{ cm}^{-1}$ , primjećuju se veće razlike između uzoraka uvjetovane korištenjem različitih punila i optičkih bijelila. Kaolin je najčešće korišteno punilo u papirnoj industriji, ponajviše zbog ključne uloge u povećanju opaciteta i bjeline, ali istovremeno i zbog poboljšanja apsorpcije bojila jasno se ističe s vrhovima na  $1160\text{ cm}^{-1}$ ,  $912\text{ cm}^{-1}$ ,  $785\text{ cm}^{-1}$ ,  $695\text{ cm}^{-1}$  u svim uzorcima.

## 7. Određivanje optičkog dijela funkcije razmazivanja točke

### 7.1. Materijali i metode

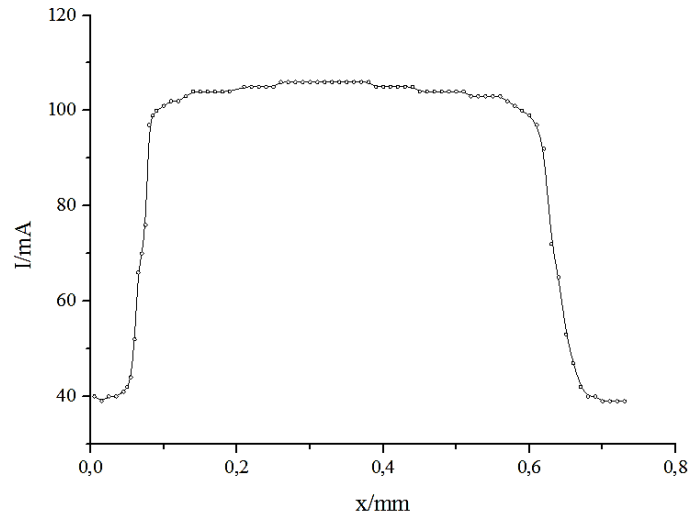
Kao što je već naglašeno, postojeće metode određivanja prirasta rastertonske vrijednosti nisu u mogućnosti razdvojiti mehanički i optički doprinos, stoga smo odlučili eliminirati mehanički doprinos izostavljanjem tiska u potpunosti kako bi mogli opaziti isključivo interakciju svjetlosti i papira. Za određivanje optičkog doprinosa funkcije razmazivanja točke koristit će se helij-neonski laser (Phywe P0818093) valne duljine  $632,8\text{ nm}$ , nominalne širine snopa  $0,5\text{ mm}$ , divergencije  $<1\text{ mrad}$ , čiji snop upada okomito na postavljeni uzorak. Idealni točkasti izvor emitira prostorno koherentnu svjetlost, dok svjetlost emitirana iz bilo kojeg izvora (pa i lasera) posjeduje manji stupanj prostorne koherentnosti, samim time, podrazumijeva se potreba za dodavanjem kolimatora, u našem slučaju konvergentne leće žarišne daljine  $10\text{ cm}$ , i prostornog filtera – dijafragma promjera  $350\text{ }\mu\text{m}$ , kako bi se osigurala veća kolimiranost snopa. Prostorni filter uklanja nasumične fluktuacije intenziteta laserske zrake koje nastaju djelovanjem različitih dijelova optičkog sustava lasera. Udaljavanjem od izvora povećava se prostorna koherencija svjetlosti.

Za uspješnu interpretaciju interakcije lasera s papirnom podlogom nužno je poznavati distribuciju laserskog snopa. Iako specifikacije korištenog lasera impliciraju rad u TEM<sub>00</sub> modu ipak se pristupilo eksperimentalnoj verifikaciji. Od mnoštva dostupnih metoda izabrano je profiliranje fotodiodom <sup>[142]</sup> pri čemu je korištena Phywe P0873400 fotodioda s ugrađenim vodljivim pojačalom i optimalnom spektralnom osjetljivošću u intervalu između  $400$  i  $1050\text{ nm}$ . Na njenoj prednjoj strani se nalazi leća koja je djelomično prekrivena dijafragmom, za mjerenja intenziteta svjetlosti s većom lokalnom rezolucijom.



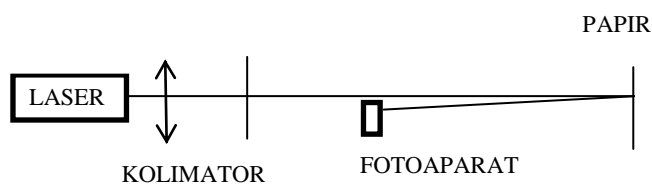
Slika 54. Eksperimentalni postav za određivanje laserskog profila

Fotodioda je spojena na digitalni multimetar na temelju čijih je izmjerenih vrijednosti intenziteta određen profil laserske svjetlosti, te prosječna širina snopa koja će biti potrebna za daljnju slikovnu analizu.



Slika 55. Izmjereni profil He-Ne lasera

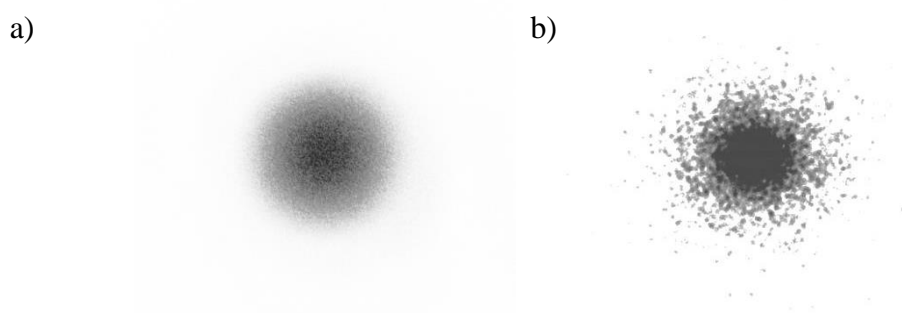
Određivanje optičkog dijela PSF izvršeno je postavljanjem papira opisanih u prethodnom poglavlju na mjesto fotodiode (slika 56). Dobiveni točkasti profil na papiru je fotografiran (Canon EOS 5DS) okomito na podlogu ( $<2^\circ$ ). Pri fotografiranju je korišten sirovi (RAW) format zapisa slikovnih datoteka kako bi se zadržalo što više informacija i reducirao utjecaj procesuiranja digitalnim fotoaparatom što osigurava pouzdaniju slikovnu analizu.



Slika 56. Eksperimentalni postav za određivanje optičkog dijela PSF papira

Dobivene fotografije obrađene su komercijalno dostupnim softverom za slikovnu analizu (ImageJ). Određen je srednji intenzitet pozadine koji je oduzet od svakog pojedinog piksela kako bi se uklonio utjecaj pozadine, te je postignuta distribucija profila raspršene svjetlosti.

Vjerodostojnost izmjerenih distribucija raspršene svjetlosti potvrđena je (slika 57) njihovom usporedbom s rezultatima Monte Carlo simulacije za uredski papir prema parametrima zadanim u tablici 6. Simulirana je monokromatska svjetlost (jednake valne duljine kao He-Ne lasera korištenog u eksperimentu), koja upada okomito na višeslojnu podlogu, pri čemu je korišteno  $10^6$  valnih paketa u svakoj simulaciji, s ciljem minimiziranja šuma. U literaturi <sup>[88]</sup> se može pronaći detaljan opis generiranja podpovršinskog raspšenja svjetlosti Monte Carlo metodom.



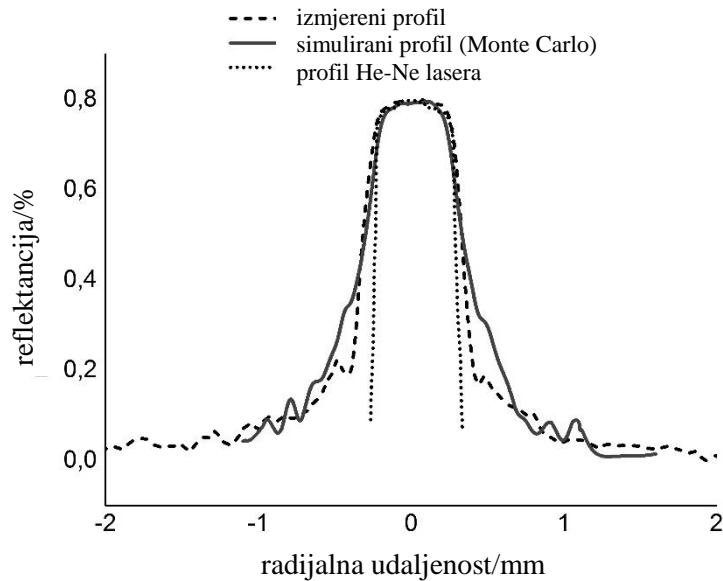
Slika 57. a) Izmjerena i b) simulirana distribucija raspršene svjetlosti

Tablica 6. Vrijednosti parametara korištenih u Monte Carlo simulaciji podpovršinskog raspšenja svjetlosti

Komponenta	Težinski udio /%	Faktor asimetrije (g)	Koeficijent raspršenja ( $\mu_s$ ) za $\lambda_{He-Ne} = 632,8 \text{ nm}$	Koeficijent apsorpcije ( $\mu_a$ ) za $\lambda_{He-Ne} = 632,8 \text{ nm}$
Punilo	10	0,7	25	0,5
Mehanička pulpa	5	0,5	70	1
Kemijska pulpa	65	0,75	115	1
Aditivi	5	0,02	30	0,02
Zrak	15	0	0	0

Izmjerena distribucija raspršene svjetlosti pokazuje sličnu raspodjelu kao i ona generirana Monte-Carlo simulacijom, što u neku ruku opravdava naš eksperimentalni postav.

Budući da rezultatni profil pokazuje simetričnu raspodjelu podpovršinskog raspšenja svjetlosti (slika 57. a), za određivanje funkcije razmazivanja točke dovoljno je usrednjiti četiri različita presjeka (horizontalni, vertikalni, te dva dijagonalna).



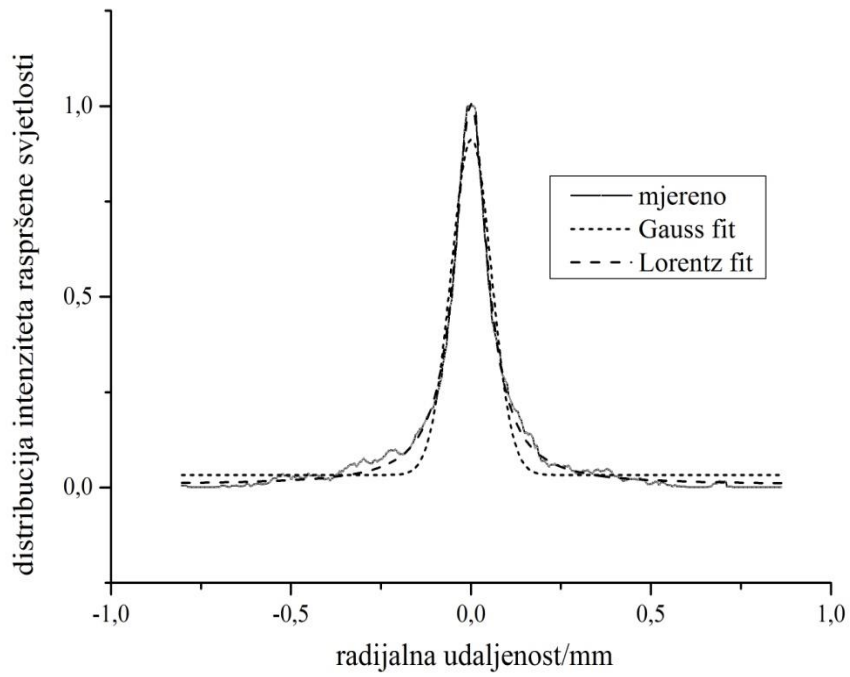
Slika 58. Reflectancijski profili: izmjerena raspršena svjetlost, raspršena svjetlost generirana Monte Carlo metodom, izmjereni profil He-Ne lasera

Iz slike 58. više je nego jasno da laser ne možemo smatrati točkastim izvorom. Adekvatna aproksimacija se postiže uklanjanjem izmjerenog laserskog profila u matematičkom paketu Origin 9.5 čime se promjer upadnog snopa smanjuje na “nulu“, tj. ostvaruje se infinitesimalni točkasti izvor, te je preostao samo doprinos podpovršinskog raspršenja svjetlosti u papiru.

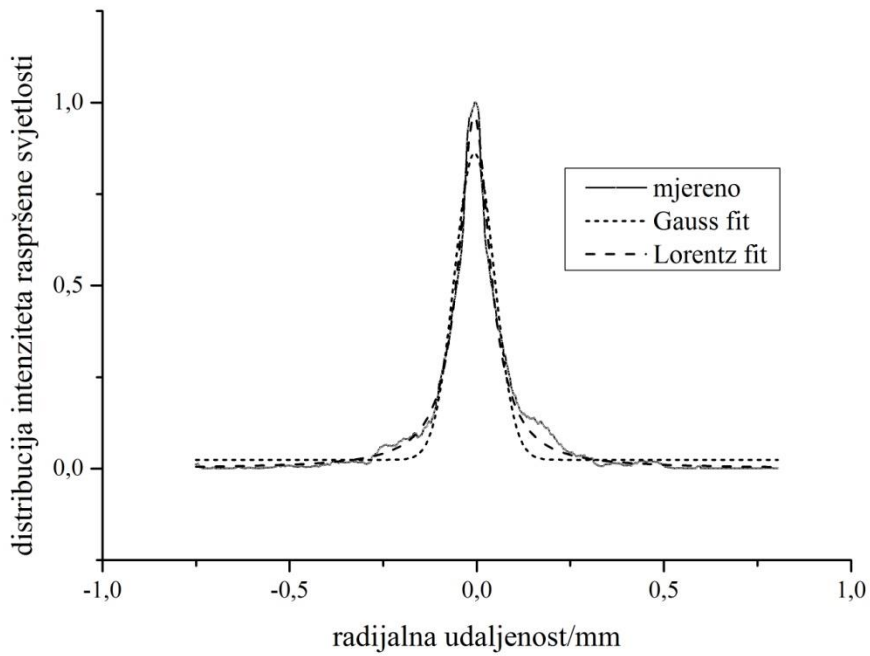
## 7.2. Rezultati i diskusija

Budući da rezultatni usrednjeni profil sadrži mnogo šuma, izgledali smo funkciju 50% percentilnim filtriranjem pri čemu je vrijednost intenziteta u svakoj točki zamijenjena s vrijednosti medijana dvadeset točaka iz njegove okoline. Postignuta distribucija profila je potom normirana na jediničnu površinu što omogućuje usporedbu rezultatnog profila s *PSF*. Prilagodбом (fitanjem) dobivenih distribucija s odgovarajućim funkcijama (Gaussovom i Lorentzovom) u Originu 9.5, određen je analitički oblik *PSF* (slike 59-61).

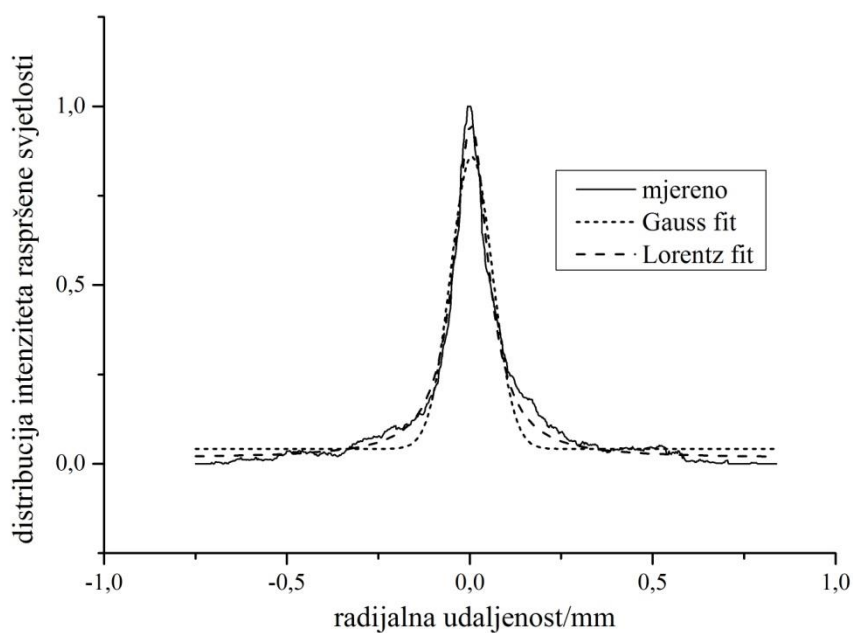




Slika 59. Optički dio PSF - Arcoprint  $120 \text{ g/m}^2$



Slika 60. Optički dio PSF - Splendorgel  $115 \text{ g/m}^2$



Slika 61. Optički dio PSF - Navigator 80 g/m<sup>2</sup>

U tablici 7. su prikazani koeficijenti korelacije aproksimiranih PSF s mjerenjima za sve tri podloge.

Tablica 7. Koeficijent korelacije Lorentzove i Gaussove funkcije s izmjerenim podacima

Koeficijent korelacije	Arcoprint 120g/m <sup>2</sup>	Splendorgel 115g/m <sup>2</sup>	Navigator 80 g/m <sup>2</sup>
Lorentzov model	0.98577	0.99506	0.99049
Gaussov model	0.94403	0.96047	0.95350

Unatoč visokoj korelaciji obaju funkcija s izmjerenim vrijednostima, Lorentzova funkcija se pokazala uspješnijom u sva tri slučaja, te je time opravdan opis optičkog dijela PSF Lorentzovom funkcijom.

U skladu s tim, zanimljivo je istražiti i utjecaj papirne podloge na karakteristike Lorentzove funkcije razmazivanja točke.

Lorentzova funkcija je u *Originu* definirana kao

$$y = y_0 + \frac{2A}{\pi} \cdot \frac{w}{4(x-x_c)^2+w^2} \quad (64)$$

gdje su  $y_0$  pomak funkcije,  $x_c$  položaj maksimuma,  $A$  površina,  $w$  širina profila na polovici maksimuma.

Tablica 8. Vrijednosti parametara pri fitanju papira Lorentzovom funkcijom

veličina	Arcoprint 120g/m <sup>2</sup>	Splendorgel 115g/m <sup>2</sup>	Navigator 80 g/m <sup>2</sup>
$y_0$	0,01589	0,00717	0,000782
$x_c$	0,00334	0,000126	-0,00689
$w$	0,11329	0,111	0,10216
$A$	0,16625	0,17418	0,15443

Usporedbom parametra  $w$  koji određuje količinu lateralnog raspršenja svjetlosti u papiru uočava se korelacija između vrijednosti Lorentzovih distribucija funkcije razmazivanja točke i udjela mehaničke pulpe u papiru procijenjena na temelju mjerenja s FTIR-om. Najuža funkcija razmazivanja točke može se pripisati papiru s najnižim udjelom mehaničke pulpe, tj. s najmanjim indeksom kristalnosti. Naravno, za pouzdaniju funkcionalnu ovisnost nužna su daljnja istraživanja.

## 8. Odvajanje mehaničkog i optičkog prirasta rastertonske vrijednosti

### 8.1. Materijali i metode

Zbog sve veće zastupljenosti Computer to Print (CTP) tehnologije, posebno u uredskim uvjetima, posvetit ćemo se problematici razdvajanja komponenata prirasta rastertonske vrijednosti za tu skupinu uređaja. Uređaje smo odabrali u skladu s njihovom zastupljenosti na tržištu, šest elektrofotografskih uređaja, dva inkjet uređaja i dva sustava temeljena na direktnom osvjetljavanju.

Tablica 9. Sustavi korišteni u istraživanju

Tehnika tiska	Model
Elektrofotografija	Indigo Turbo Stream
	Canon IR 7105
	HP 9050 dn
	Oce 2110 Vario
	Xerox DT 6135
	Xerox DC 250
Inkjet	Epson Stylus Photo 2400
	Epson Stylus Pro 7000
Direktno osvjetljavanje	Heidelberg Quickmaster DI 46
	Riso RZ 970 E

Indigo Turbo Stream je jedini elektrofotografski uređaj sa tekućim bojilom korišten u ovom istraživanju. Karakteriziraju ga satelitska tiskovna jedinica s organskom fotoosjetljivom površinom, te prijenosni cilindar obložen gumenom navlakom koja omogućuje učinkovitiji prijenos bojila na tiskovnu podlogu<sup>[143]</sup>. Čestice pigmentata zvjezdastog oblika, dimenzija  $1-2\mu\text{m}$  nalaze se u emulziji monomerne pigmentne paste (5%), mineralnog ulja (94%) i agensa za povećanje provodljivosti (1%) koje karakterizira visoka polarnost molekula.

Canon IR 7105 (rezolucije 1200 x 1200 dpi), HP LaserJet 9050 dn (rezolucije 600 x 1200 dpi), Oce 2110 Vario(600 dpi), Xerox DT 6135 (600 x 2400 dpi) i Xerox DC 250 (2400 x 2400 dpi) redom koriste praškaste toner<sup>[144,145,146,147,148]</sup>.

Epson Stylus Photo 2400 počiva na naprednoj mikro piezo tehnologiji optimiziranoj za tisak fotografija, pri čemu koristi pigmentirane tinte sa 180 mlaznica po spremniku. Minimalna veličina kapljice je  $3,5pL$ , a maksimalna rezolucija  $5760 \times 1440 \text{ dpi}$ <sup>[149]</sup>.

Epson Stylus Pro 7000 ima maksimalnu rezoluciju  $1440 \times 720 \text{ dpi}$ , sadrži 384 mlaznice ( $64 \times 6$ ) sa minimalnim volumenom kapljice od  $3,5pL$ , te koristi šest spremnika s tintom na bazi bojila (crna, magenta, cijan, žuta, light magenta, light cijan) i odgovarajuće ispisne glave DX3<sup>[150]</sup>.

Od uređaja kod kojih tiskovna forma nastaje u samom uređaju odabrani su Riso RZ970 E (potpuno automatiziran uređaj za propusni tisak rezolucije  $600 \times 600 \text{ dpi}$ )<sup>[151]</sup>, i Heidelberg Quickmaster DI 46 (uređaj za plošni tisak rezolucije  $1270 / 2540 \text{ dpi}$ )<sup>[9]</sup>.

Tablica 10. Plan otiskivanja uzoraka

UREĐAJ	Heidelberg Quickmaster DI 46									Riso RZ 970 E											
PAPIR	Navigator			Splendorgel			Arcoprint			Navigator			Splendorgel			Arcoprint					
DEBLJINA LINIJE/mm	1	0,5	0,1	1	0,5	0,1	1	0,5	0,1	1	0,5	0,1	1	0,5	0,1	1	0,5	0,1	1	0,5	0,1
UREĐAJ	Xerox DC 250									Xerox DT 6135											
PAPIR	Navigator			Splendorgel			Arcoprint			Navigator			Splendorgel			Arcoprint					
DEBLJINA LINIJE/mm	1	0,5	0,1	1	0,5	0,1	1	0,5	0,1	1	0,5	0,1	1	0,5	0,1	1	0,5	0,1	1	0,5	0,1
UREĐAJ	Canon IR 7105									HP 9050 dn											
PAPIR	Navigator			Splendorgel			Arcoprint			Navigator			Splendorgel			Arcoprint					
DEBLJINA LINIJE/mm	1	0,5	0,1	1	0,5	0,1	1	0,5	0,1	1	0,5	0,1	1	0,5	0,1	1	0,5	0,1	1	0,5	0,1
UREĐAJ	Oce 2110 Vario									Indigo Turbo Stream											
PAPIR	Navigator			Splendorgel			Arcoprint			Navigator			Splendorgel			Arcoprint					
DEBLJINA LINIJE/mm	1	0,5	0,1	1	0,5	0,1	1	0,5	0,1	1	0,5	0,1	1	0,5	0,1	1	0,5	0,1	1	0,5	0,1
UREĐAJ	Epson Stylus Photo 2400									Epson Stylus Pro 7000											
PAPIR	Navigator			Splendorgel			Arcoprint			Navigator			Splendorgel			Arcoprint					
DEBLJINA LINIJE/mm	1	0,5	0,1	1	0,5	0,1	1	0,5	0,1	1	0,5	0,1	1	0,5	0,1	1	0,5	0,1	1	0,5	0,1

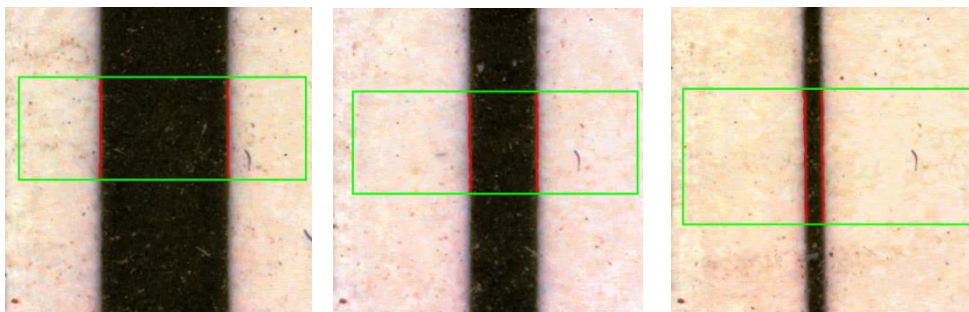
Budući da je kvaliteta otisnute linije jedan od mjerila kvalitete tiska od presudne važnosti u poslovnoj grafici i sve prisutnijem tisku bar kodova, izradit će se i analizirati monokromatski linijski testni uzorci različitih debljina linija ( $0,1\text{ mm}$ ,  $0,5\text{ mm}$ ,  $1\text{ mm}$ ). Plan otiskivanja je prikazan u tablici 10.

Kvantitavna analiza otisaka izvršena je pomoću uređaja za analizu slike Personal IAS (slika 61). Opravdanost korištenja analizatora slike diskutirana je u velikom broju radova <sup>[152,153,154]</sup>. Što se tiče samog PIAS-a, njegov sastavni dio čine digitalni mikroskop, rezolucije  $5\mu\text{m}$  i otvora aperture ( $2,54 \times 2,54$ )  $\text{mm}^2$ , i CCD kamera. Samo osvjetljavanje mjerne površine je difuzno u vidljivom području elektromagnetskog spektra, dok je mjerna geometrija  $45^\circ/0^\circ$ . Za prijenos podataka između uređaja i računala korišten je program Microsoft ActiveSync 3.1.



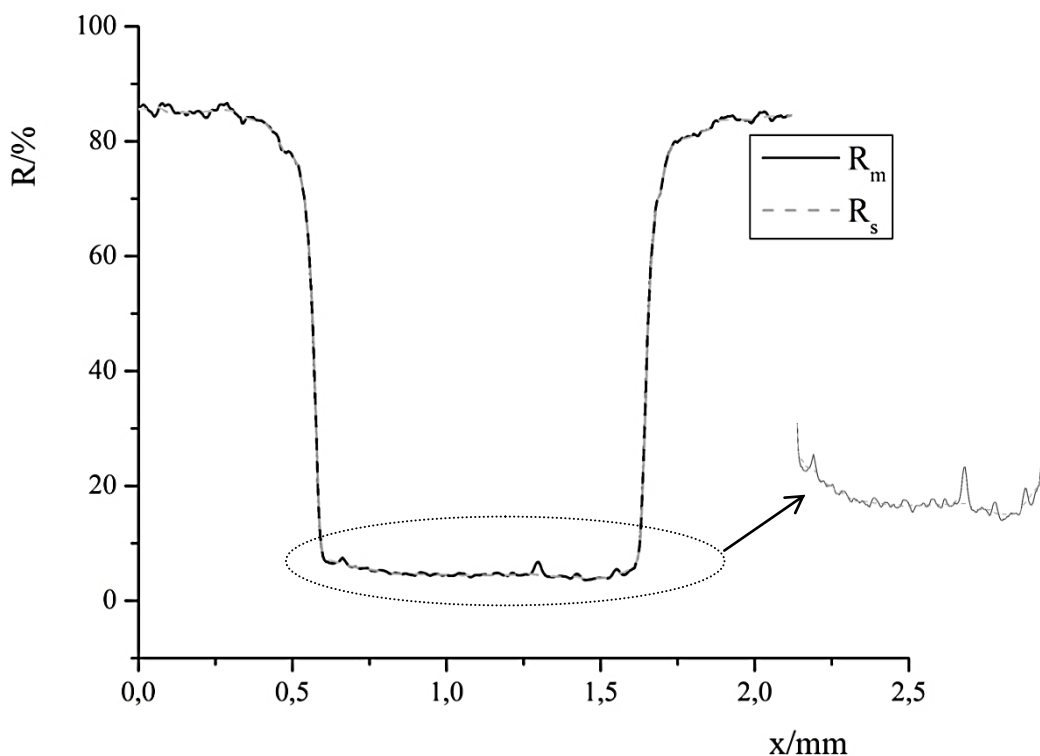
Slika 62. Analizator slike (Personal Image Analysis System)

Mjereni su linijski uzorci nominalnih debljina  $1\text{mm}$ ,  $0,5\text{mm}$  i  $0,1\text{mm}$  kao što je prikazano na slici 63. paralelno s čim su dobivene vrijednosti reflektancije usrednjene po mjernom području na čijoj će se analizi temeljiti odvajanje optičkog i mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti.



Slika 63. Primjer otisnutih linija (debljine  $1\text{mm}$ ,  $0,5\text{mm}$  i  $0,1\text{mm}$ ) na papiru. Mjerno područje je obrubljeno linijom

Svaki proces akvizicije slike automatski implicira generiranje određene količine šuma koji komplicira daljnju obradu i identifikaciju rezultata zbog čega su reflektancijski profili zaglađeni funkcijom *smooth* ugrađenoj u programu Origin 9.5 pri čemu je odabrano percentilno filtriranje. Budući da izmjereni reflektancijski profil sadrži lokalizirane šiljke odabrano je 50% percentilno filtriranje tj. filtriranje medijanom pri čemu je vrijednost signala u svakoj točki zamjenjena s vrijednosti medijana određenog broja točaka iz njene okoline (u našem slučaju to je bilo 20 točaka). Na slici 64. je prikazan primjer gdje  $R_m$  označava izmjereni reflektancijski profil, a  $R_s$  izgladeni.

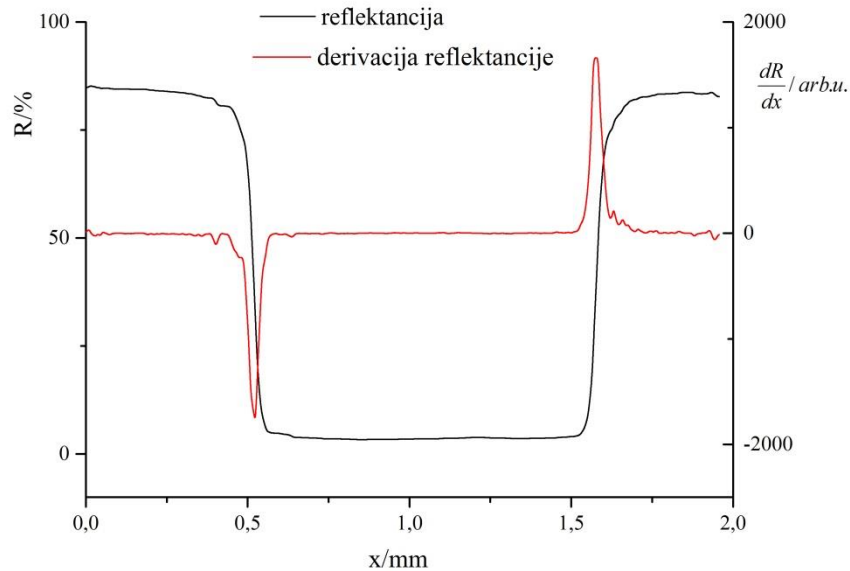


Slika 64. Mjereni i izgladeni reflektancijski profil linije nominalne debljine 1mm

Samo uklanjanje šuma je neophodno zbog njegovog utjecaja na derivaciju reflektancijskog profila budući da prilikom derivacija dolazi do generiranja još većeg šuma koji onemogućava aproksimiranje mjerenih profila analitičkim funkcijama.

Dobivene derivacije, tj. funkcije razmazivanja linije (*LSF*) jasno pokazuju dva lokalna ekstrema koji predstavljaju stvarne rubove otisnute linije, a čija udaljenost odgovara širini linije.

Područja lijevo od bližeg ekstrema i desno od daljeg opisuju optički prirast rastertonske vrijednosti, te sukladno tome područja desno od bližeg ekstrema i lijevo od daljeg opisuju mehanički prirast rastertonske vrijednosti čime se može objasniti asimetričnost dobivenih funkcija razmazivanja linije (slika 65).

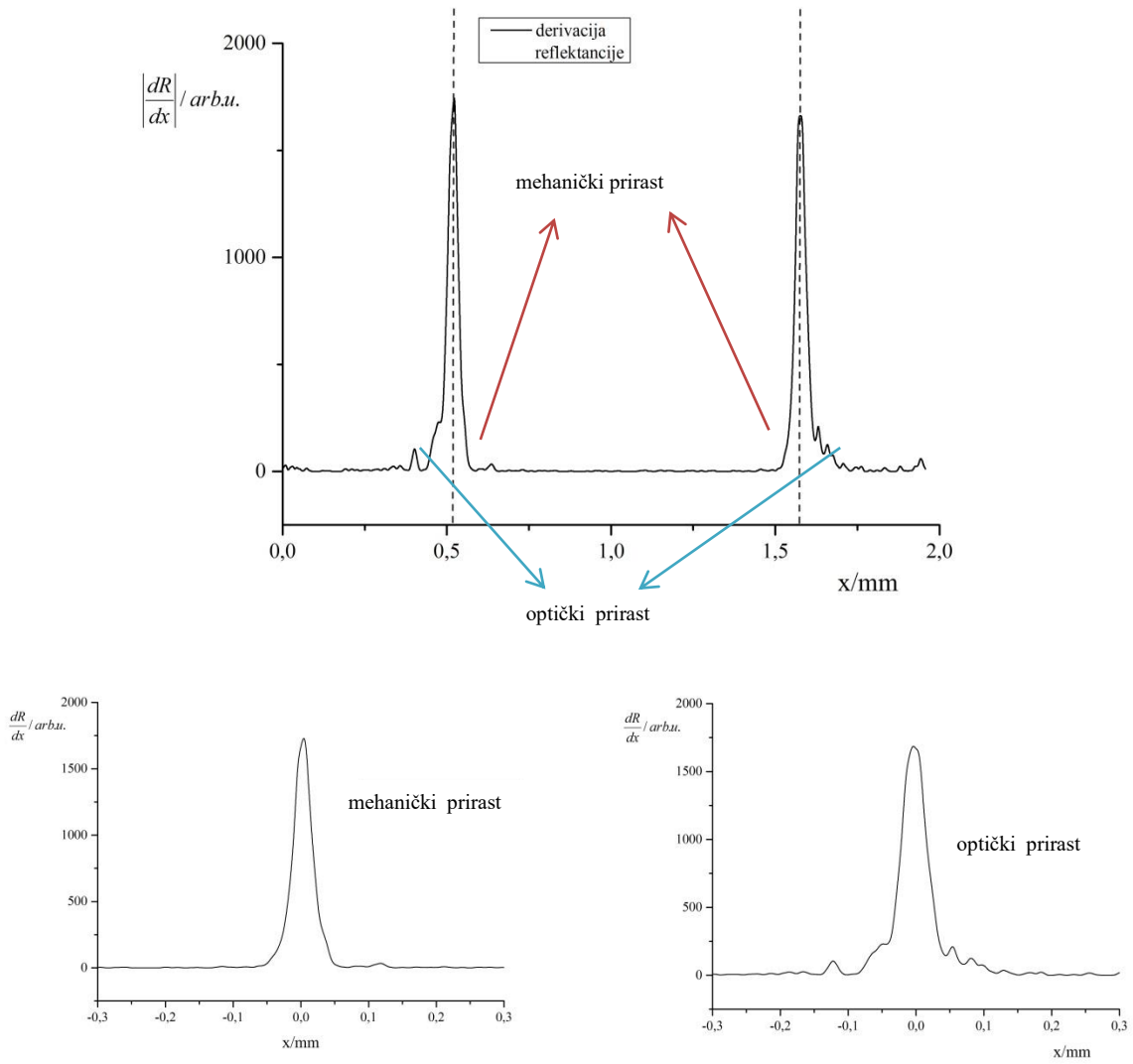


Slika 65. Izglađena mjerena reflektancija i njena pripadna derivacija

Iz ovoga se sama po sebi nameće metoda određivanja optičkog i mehaničkog prirasta. Prikazivanjem samo apsolutne vrijednosti derivacije, što ne utječe na izgled njenog profila, te uklanjanjem područja između ekstrema generira se profil koji opisuje optički prirast rastertonske vrijednosti. Uklanjanje područja lijevo od bližeg i desno od daljeg ekstrema, te njihovom translacijom i spajanjem ostvaruje se profil koji opisuje mehanički prirast rastertonske vrijednosti (slika 66). U slijedećem koraku su mehanički i optički prirast rastertonske vrijednosti aproksimirani odgovarajućim funkcijama ugrađenim u Origin 9.5.

Zbog velikog broja uzoraka biti će prikazani samo izglađeni reflektancijski profili, te konačni profili koji prikazuju mehaničke i optičke priraste rastertonske vrijednosti za sve uzorke.





Slika 66. Ilustracija generiranja profila optičkog i mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti

## 8.2. Usporedba debljina otisnutih linija

Tablica 11. Efektivne širine otisnutih linija

Nominalna širina linija/mm	Izmjerene širine linija/mm		
<b>HEIDELBERG QUICKMASTER</b>	Navigator 80	Splendorgel 115	Arcoprint 120
1	1,0163	1,0211	1,016
0,5	0,5158	0,5179	0,5129
0,1	0,1177	0,1209	0,1170
<b>RISO RZ 970 E</b>			
1	0,9846	0,9872	1,000
0,5	0,4809	0,4869	0,4651
0,1	0,1392	0,1375	0,1502
<b>CANON IR</b>			
1	0,9199	0,9302	0,9091
0,5	0,4446	0,4458	0,4330
0,1	0,0960	0,0923	0,0969
<b>XEROX DC 250</b>			
1	1,0568	1,0679	1,0588
0,5	0,5401	0,5461	0,5507
0,1	0,1155	0,1236	0,1232
<b>XEROX DT 6135</b>			
1	1,1228	1,1230	1,1232
0,5	0,6199	0,6202	0,6265
0,1	0,2028	0,2140	0,2086
<b>HP 9050 LASERJET</b>			
1	1,0749	1,0689	1,05278
0,5	0,5563	0,5512	0,5509
0,1	0,1598	0,1659	0,1500
<b>OCE2110 VARIO</b>			
1	1,0588	1,0561	1,0586
0,5	0,5400	0,5364	0,5401
0,1	0,1229	0,1229	0,1232
<b>INDIGO TURBO STREAM</b>			
1	1,1070	1,1019	1,0907
0,5	0,6148	0,6060	0,5880
0,1	0,1865	0,1868	0,1866
<b>EPSON STYLUS PRO 7000</b>			
1	0,9960	1,0693	0,9968
0,5	0,5335	0,5844	0,5697
0,1	0,1722	0,1439	0,1757
<b>EPSON STYLUS PHOTO 2400</b>			
1	1,1070	1,1385	1,1121
0,5	0,6099	0,6102	0,6417
0,1	0,2139	0,2142	0,2297

Uzorci otisnuti uređajem za plošni tisak pokazuju najmanja odstupanja za linije otisnute na ofsetnom papiru, nakon čega slijedi uredski papir s nešto većim odstupanjima. Može se primijetiti da se ukupno proširenje linije s obzirom na njenu nominalnu debljinu za sve uzorke nalazi u intervalima od  $16$  do  $21 \mu\text{m}$ , što naravno za posljedicu ima u postotku najveći prirast za najtanje linije, s maksimalnom povećanjem vrijednosti od  $20\%$  za liniju tiskanu na papiru za digitalni tisak.

Što se tiče otisaka reproduciranih na uređaju za propusni tisak, otisnute linije nominalnih širina  $1$  i  $0,5 \text{ mm}$  imaju zanemarivo odstupanje,  $<7\%$ , dok su odstupanja linija nominalne širine  $0,1 \text{ mm}$  znatno veća, između  $37$  i  $50\%$ .

Analiza otisaka nastalih na elektrofotografskim uređajima s praškastim tonerom uočena je visoka korelacija između širina otisnutih linija za Xerox DC 250 i Oce 2110 Vario. Za oba uređaja razlika proširenje linije nominalne širine  $1\text{mm}$  je unutar  $7\%$ , za linije širine  $0,5 \text{ mm}$  unutar  $10\%$ , te za najtanju liniju unutar  $25\%$ , pri čemu je proširenje linija nominalnih širina  $1$  i  $0,5 \text{ mm}$  u prosjeku  $45 \mu\text{m}$ , dok linije nominalne širine  $0,1 \text{ mm}$  imaju proširenje od  $23 \mu\text{m}$ . Jedino razilaženje između otisaka se očituje u minimalnom proširenju linija otisnutih na uredskom papiru za Xerox DC 250, dok su istovremeno za Oce 2110 Vario uzorci otisnuti na papiru za digitalni tisak.

HP Laser Jet i Xerox DT 6135 također pokazuju međusobnu korelaciju s tim da su vrijednosti proširenja linija približno dvostruko manje za HP Laser Jet za kojeg su proširenja linija redom  $6,5\%$ ,  $10,5\%$ , te  $60\%$  za najtanju liniju.

Posljednji od elektrofotografskih uređaja s praškastim tonerom, Canon IR jedini od svih uređaja demonstrira sigurno djelovanje tzv. negativnih *drivera* koji su rezultirali otisnutim širinama linije manjim od nominalnih, pri čemu je najmanje odstupanje najtanjih linija  $3-8\%$ , dok je najveće odstupanje linija nominalne širine  $0,5\text{mm}$ , a iznosi u prosjeku  $12\%$ . Što se tiče ovisnosti o vrsti podloge ne možemo izvući zaključak u uzajamnoj korelaciji širine linije i upotrijebljenog supstrata.

Karakteristike otisaka nastalih elektrofotografijom s tekućim bojilom (tonerom) ne pokazuje neka velika odstupanja s obzirom na vrstu papira, te iznose za liniju nominalne širine  $1 \text{ mm}$  oko  $10\%$ ,  $0,5 \text{ mm}$   $20\%$ , te  $85\%$  za liniju širine  $0,1 \text{ mm}$ .

Očekivano, otisci nastali inkjetom ne pokazuju korelaciju pri čemu otisci otisnuti Epson Stylus Pro 7000 uređajem pokazuju manje proširenje linija, što praktično iznosi  $<7\%$  za linije

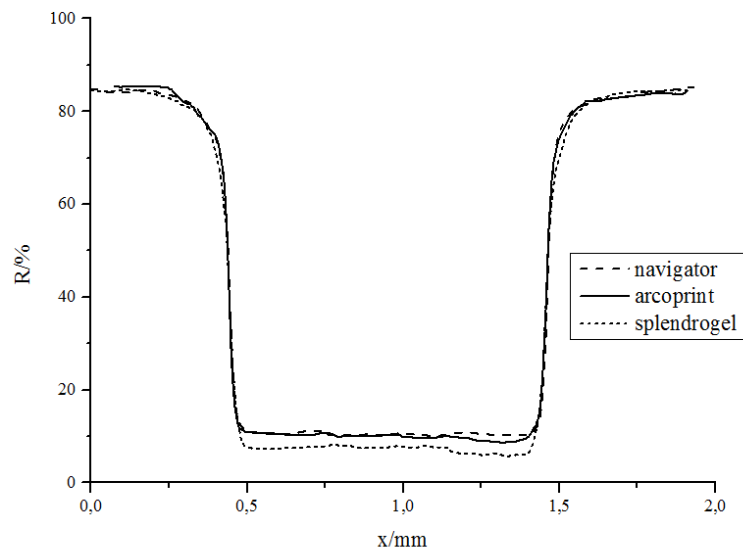
nominalne debljine *1mm*, 7-17% za linije nominalne debljine *0,5 mm*, te 44-76% za linije nominalne debljine *0,1 mm*, dok su za Epson Stylus Photo 2400 za te iste linije postotci proširenja redom 10-15%, 20-30% i 110-130%.

Usporedba debljina otisnutih i nominalnih širina linija nam daje uvid u mogućnosti pojedinog uređaja u otiskivanju zadane testne forme na podlozi od našeg interesa, a ne u procjeni kvalitete pojedinog uređaja.

## 8.3. Rezultati

### 8.3.1. Heidelberg quickmaster

#### 8.3.1.1 Nominalna debljina linije 1 mm

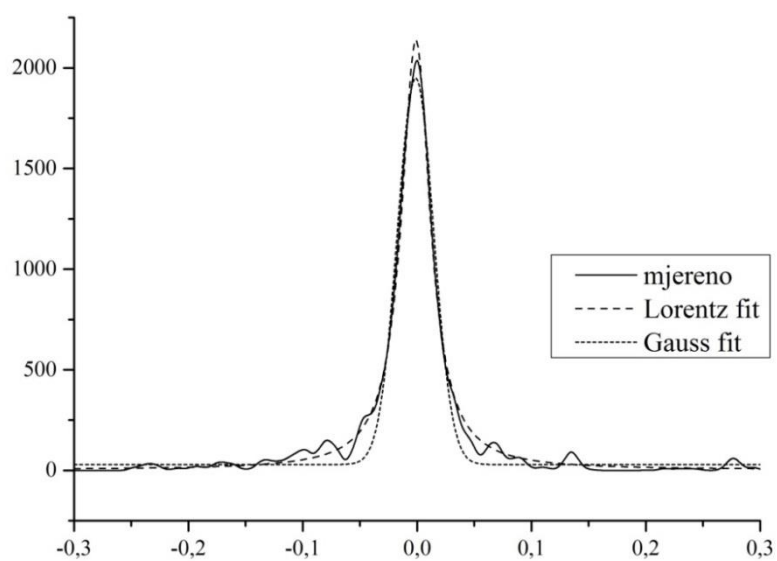


Slika 67. Heidelberg quickmaster- reflektancijski profil 1 mm

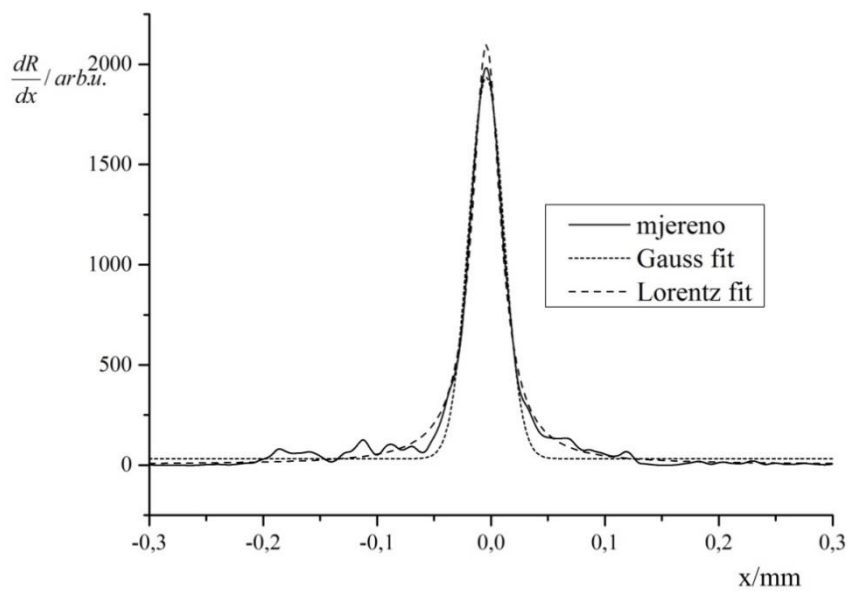
Iz reflektancijskog profila može se uočiti nešto veće apsorpcija svjetlosti na papiru za digitalni tisak u usporedbi s druga dva profila, koji se također manifestira nešto širim profilom u području reflektancije od 70 do 80%.

Slika 68. prikazuje profile optičkog prirasta rastertonske vrijednosti. Vidljivo je da sva tri profila imaju vrlo visak stupanj korelacije pri aproksimaciji Lorentzovom funkcijom u usporedbi s Gaussovom, pri čemu najveću širinu funkcije pokazuje papir za digitalni tisak koji se i u reflektancijskom profilu u laganoj mjeri razlikovao od ostatka.

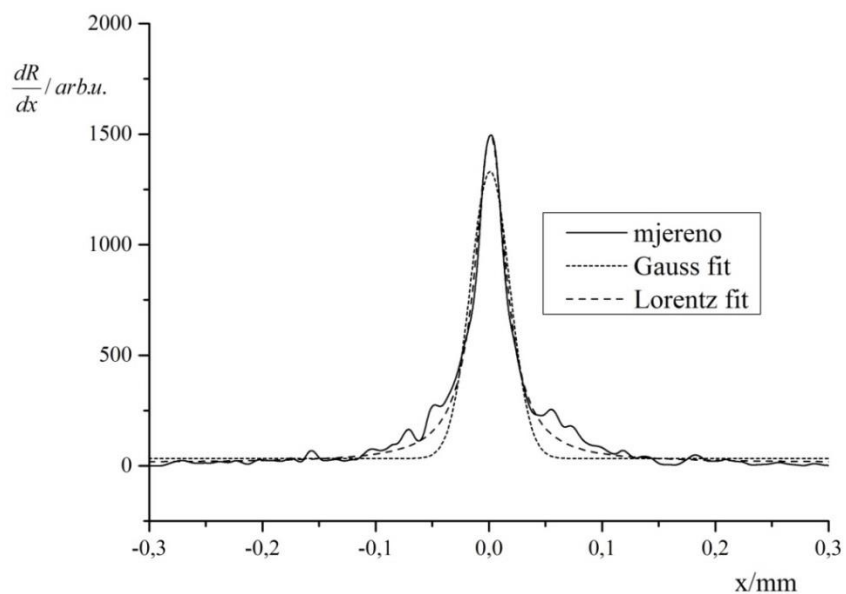
Slika 69. prikazuje profile mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti. Iako sva tri profila pokazuju gotovo identično slaganje s Gaussovom funkcijom, opet je vidljivo da se otisak na papiru za digitalni tisak razlikuje širinom svojeg profila koji je za četrdesetak posto veći od druga dva.



Navigator-1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$W$	$A$
Lorentz	0,9924	3,480	0,001	0,0306	102,591
Gauss	0,97575	29,491	0,001	0,0317	76,210

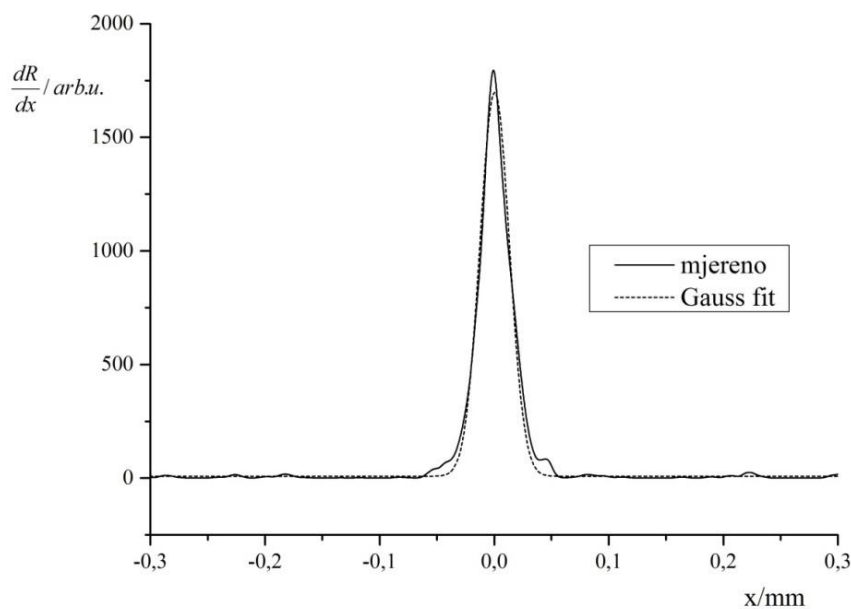


Arcoprint-1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$W$	$A$
Lorentz	0,99205	3,497	-0,004	0,0302	99,467
Gauss	0,98002	32,617	-0,004	0,0307	73,154

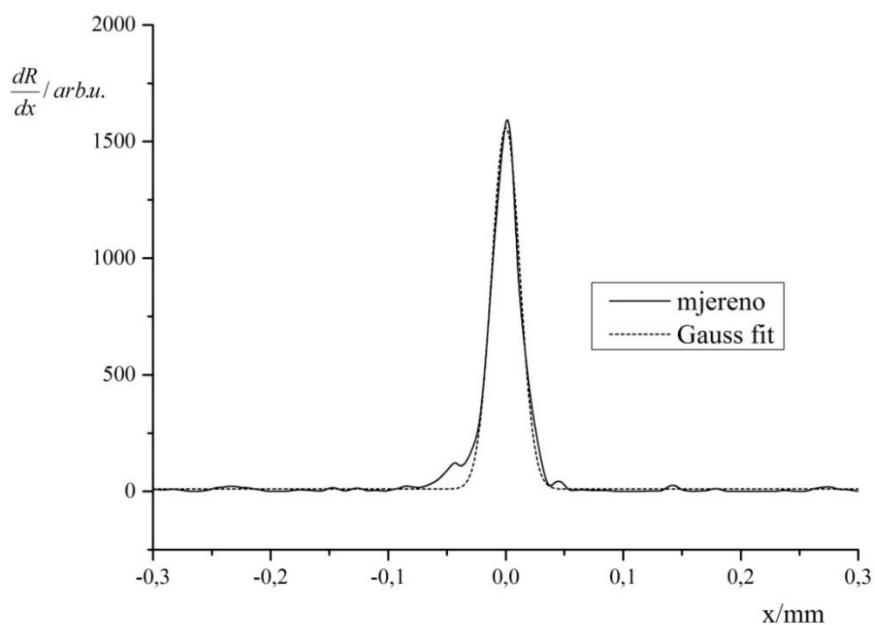


Splendorgel -1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$W$	$A$
Lorentz	0,97862	14,358	0,001	0,0333	77,655
Gauss	0,92074	33,168	0,001	0,0349	56,724

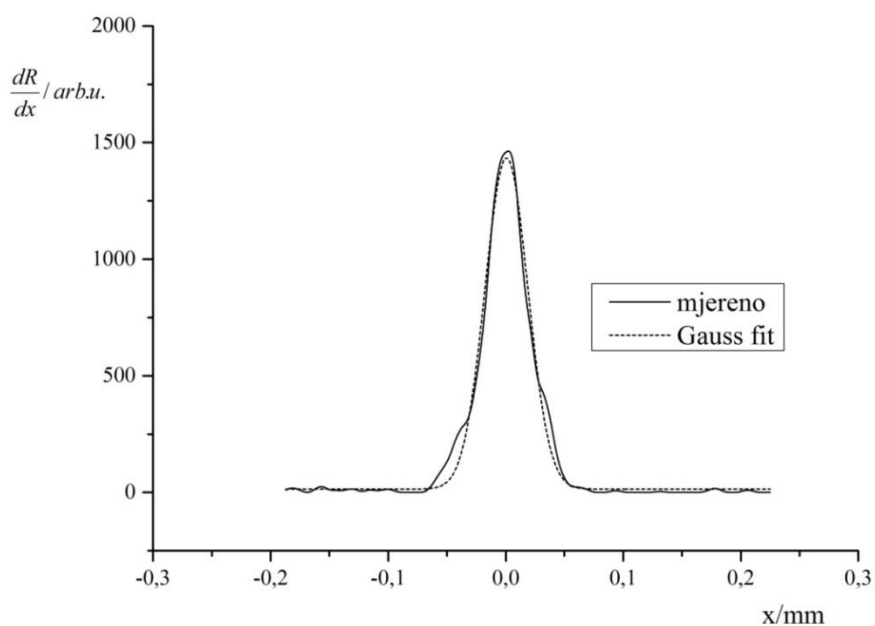
Slika 68. Heidelberg quickmaster - profil optičkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 1mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak



Navigator-1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$W$	$A$
Gauss	0,98536	8,366	0	0,0257	54,546



Arcoprint-1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$W$	$A$
Gauss	0,98557	10,322	0	0,0239	46,404

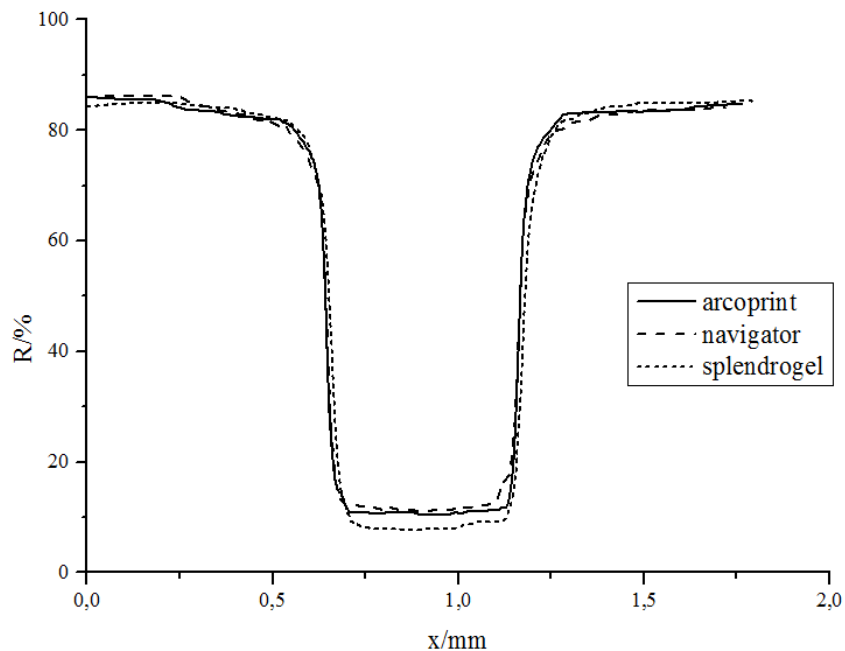


Splendorgel -1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$W$	$A$
Gauss	0,98527	9,981	0	0,0365	64,942

Slika 69. Heidelberg quickmaster - profil mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 1mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak



### 8.3.1.2. Nominalna debljina linije 0,5 mm

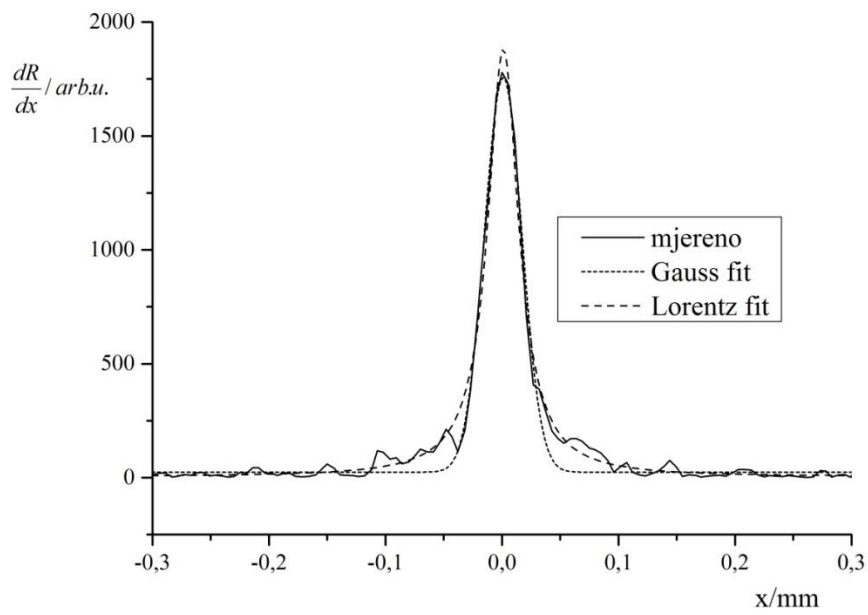


Slika 70. Heidelberg quickmaster- reflektancijski profil 0,5mm

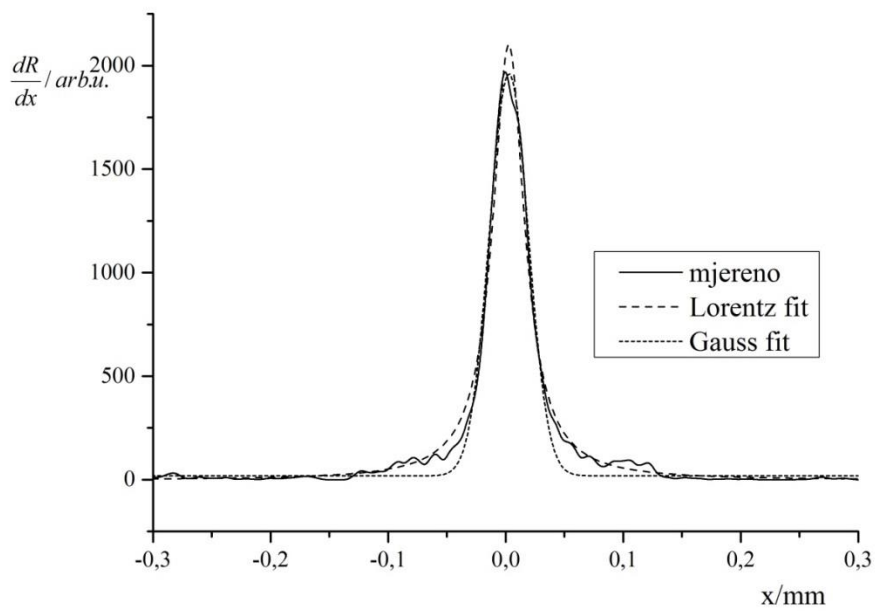
Reflektancijski profil linije opet ukazuje na veću apsorpciju svjetlosti na papiru za digitalni tisak. Također javljaju se lagane nepravilnosti na krilima i u području reflektancije manjem od 15%, zbog neravnomjernosti nanosa bojila.

Iz slike 71 koje prikazuju profil optičkog prirasta rastertonske vrijednosti, vidljivo je da sva tri profila imaju vrlo visak stupanj korelacije pri aproksimaciji Lorentzovom funkcijom, te iako su po svojim vrijednostima jako blizu Gaussovoj, Lorentzova funkcija ipak su sva tri slučaja prevladava. Najveću širinu Lorentzove funkcije opet pokazuje papir za digitalni tisak.

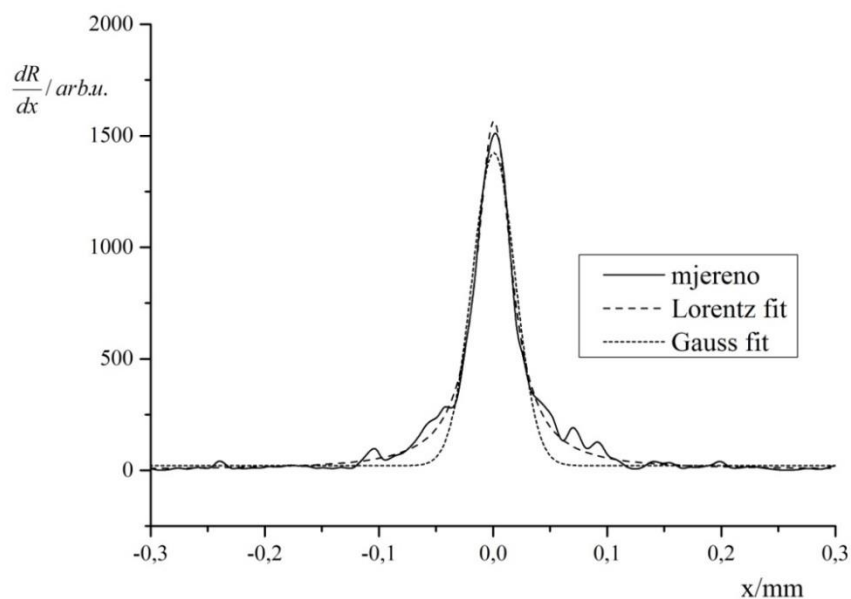
Slika 72 prikazuje profile mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti. Sva tri profila pokazuju zadovoljavajuće slaganje s Gaussovom funkcijom, te se još jednom potvrđuje da se otisak na papiru za digitalni tisak razlikuje širinom svojeg profila koji je za četrdesetak posto veći od druga dva. Također u profilu mehaničkog prirasta na uredskom i ofsetnom papiru ukazala su se područja koja značajnije odstupaju a posljedica su neravnomjerno nanesenog bojila koji je jasno vidljiv i u reflektancijskom profilu.



Navigator-0,5mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$W$	$A$
Lorentz	0,98751	3,577	0,001	0,0324	95,707
Gauss	0,97585	24,204	0	0,0322	69,972

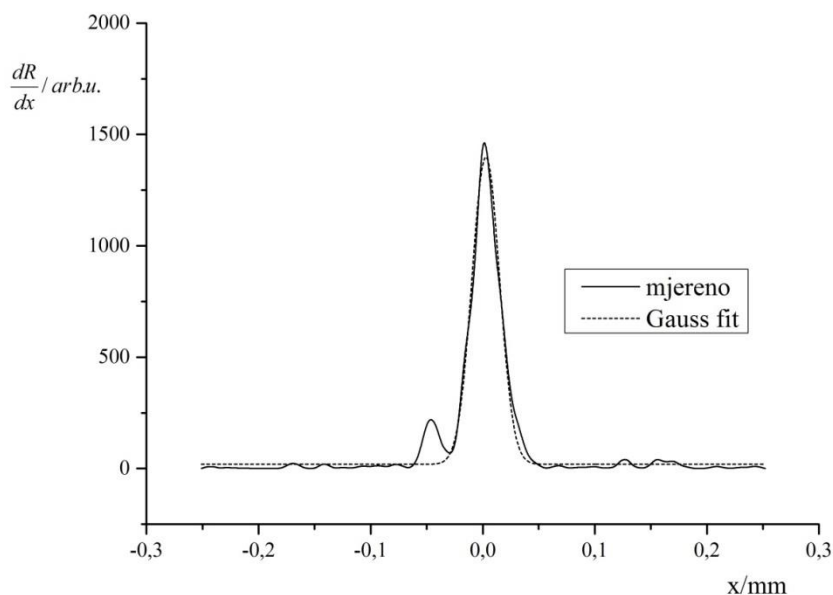


Arcoprint-0,5mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$W$	$A$
Lorentz	0,98587	-2,279	0,002	0,0329	109,053
Gauss	0,98181	18,892	0,003	0,0331	80,489

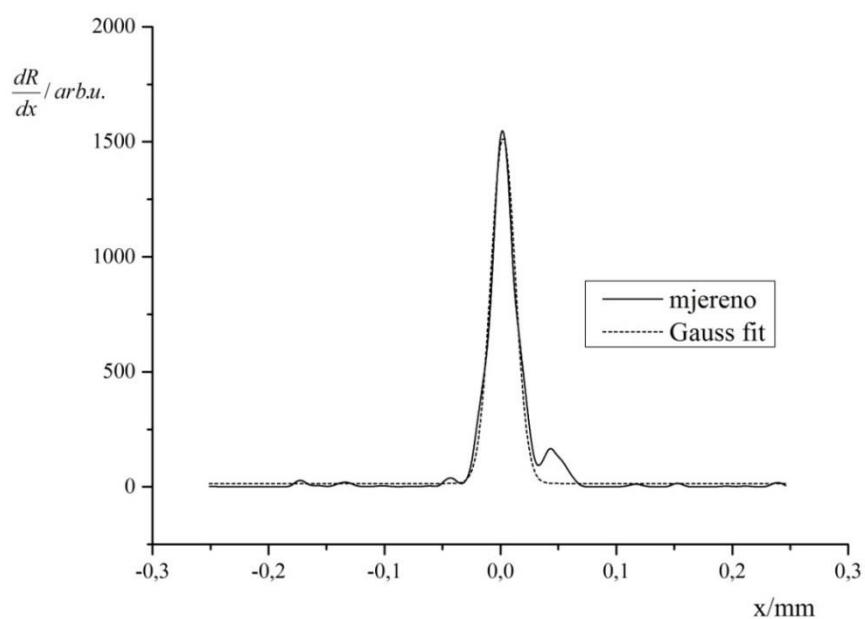


Splendorgel -0,5mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$W$	$A$
Lorentz	0,99102	3,359	0	0,0369	90,676
Gauss	0,95242	21,081	0	0,0376	66,174

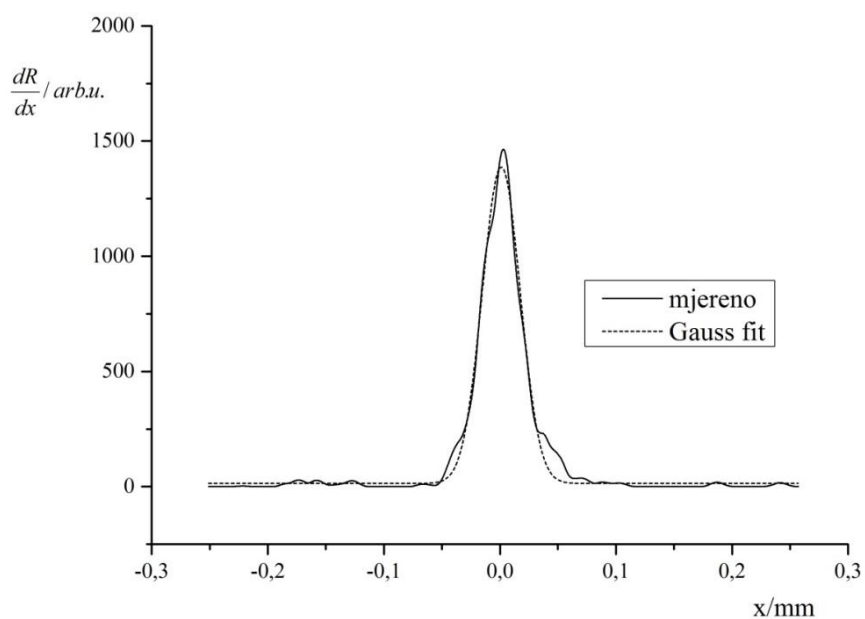
Slika 71. Heidelberg quickmaster - profil optičkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,5 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak



Navigator-0,5mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$W$	$A$
Gauss	0,96868	19,361	0,002	0,0247	42,627



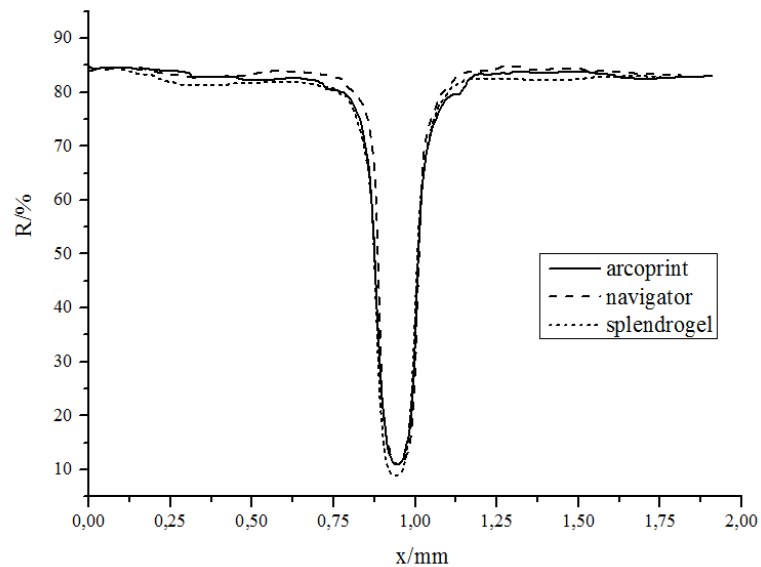
Arcoprint-0,5mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$W$	$A$
Gauss	0,972	15,031	0,002	0,0211	39,651



Splendrogel-0,5mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$W$	$A$
Gauss	0,98264	14,055	0,001	0,0328	56,439

Slika 72. Heidelberg quickmaster - profil mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,5 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak

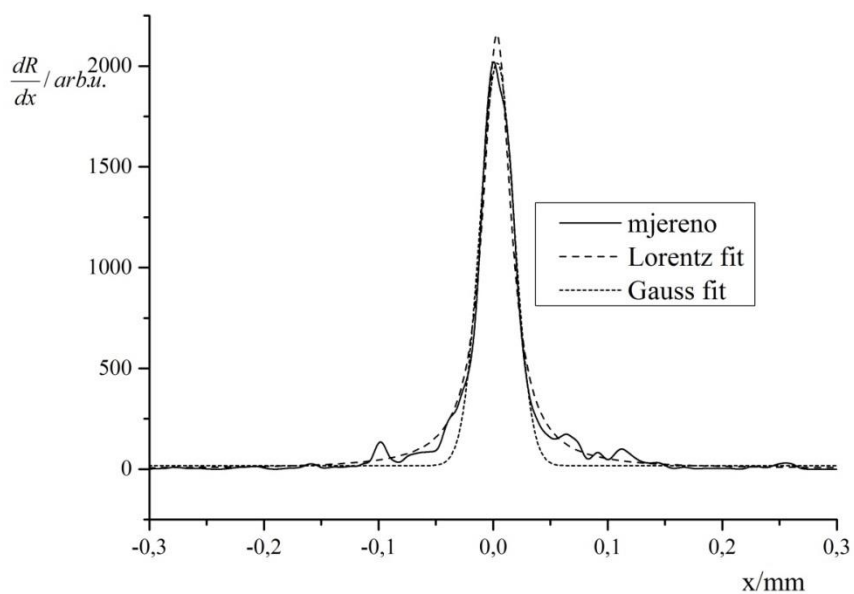
### 8.3.1.3. Nominalna debljina linije 0,1 mm



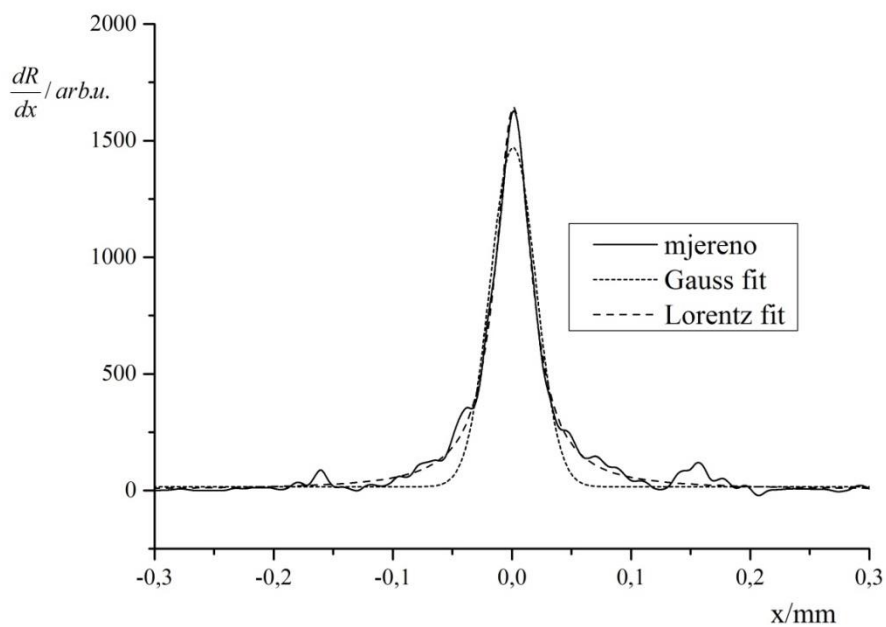
Slika 73. Heidelberg quickmaster- reflektancijski profil 0,1 mm

Kao i u prethodna dva slučaja, za linije nominalne širine 1 mm i 0,5 mm, i kod linije nominalne širine 0,1 mm lako je uočljiva veća apsorpcija otisnute linije na podlozi za digitalni tisak. Također, linija otisnuta na uredskom papiru pokazuje nešto veću reflektanciju u područjima mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti.

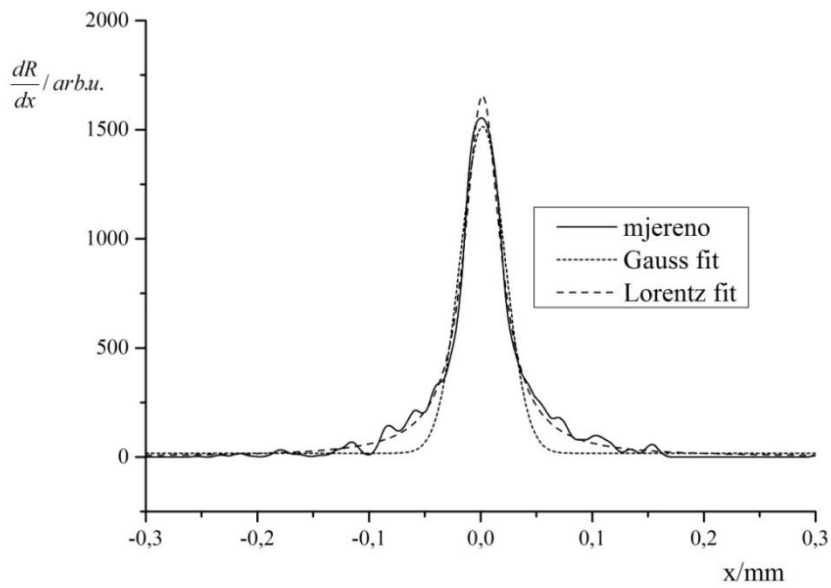
Profil optičkog prirasta rastertonske vrijednosti (slika 74.) još jednom potvrđuje bolju korelaciju Lorentzove funkcije s mjerenim podacima, ali istovremeno se i profil mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti pokazuje veću korelaciju s Lorentzovim profilom, što se može pripisati dominantnom utjecaju podloge u usporedbi s karakteristikama samog uređaja.



Navigator-0,1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$W$	$A$
Lorentz	0,98328	2,471	0,003	0,0296	100,375
Gauss	0,9747	17,085	0,003	0,0296	74,332

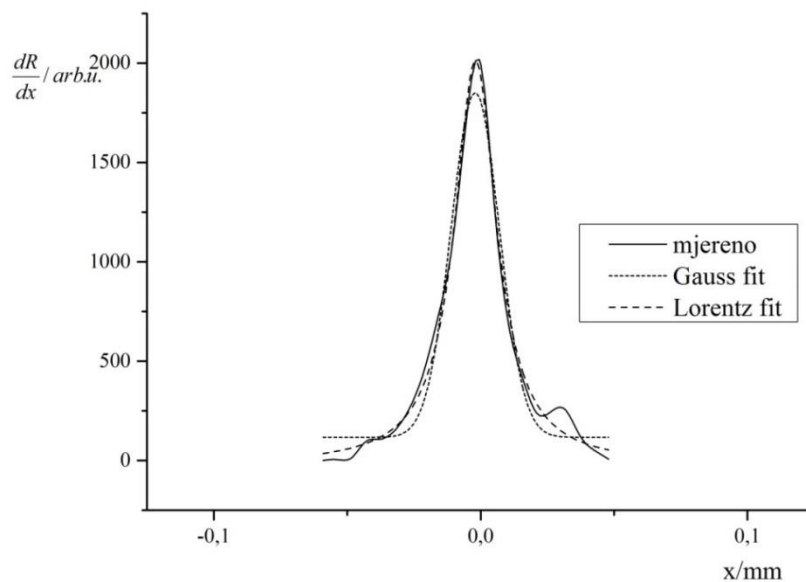


Arcoprint-0,1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$W$	$A$
Lorentz	0,99058	3,931	0,001	0,0360	92,865
Gauss	0,95799	16,097	0	0,0383	69,770

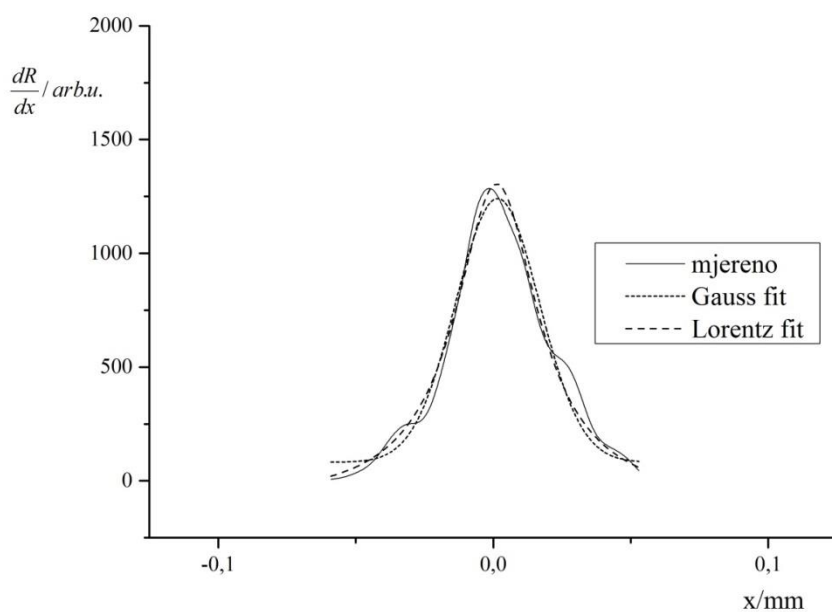


Splendorgel -0,1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$W$	$A$
Lorentz	0,98881	0,665	0,002	0,0392	101,965
Gauss	0,95648	17,333	0,002	0,0397	74,563

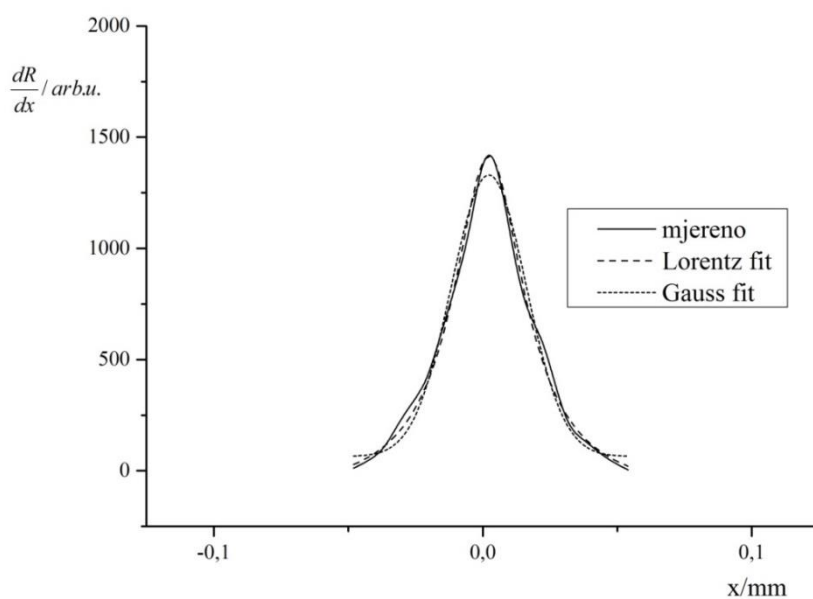
Slika 74. Heidelberg quickmaster - profil optičkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak



Navigator-0,1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$W$	$A$
Gauss	0,96406	117,166	-0,002	0,0181	39,408
Lorentz	0,99017	-20,586	-0,002	0,0193	61,711



Arcoprint-0,1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$W$	$A$
Gauss	0,95626	81,616	0,002	0,0305	44,267
Lorentz	0,97077	-100,539	0,001	0,0369	81,587



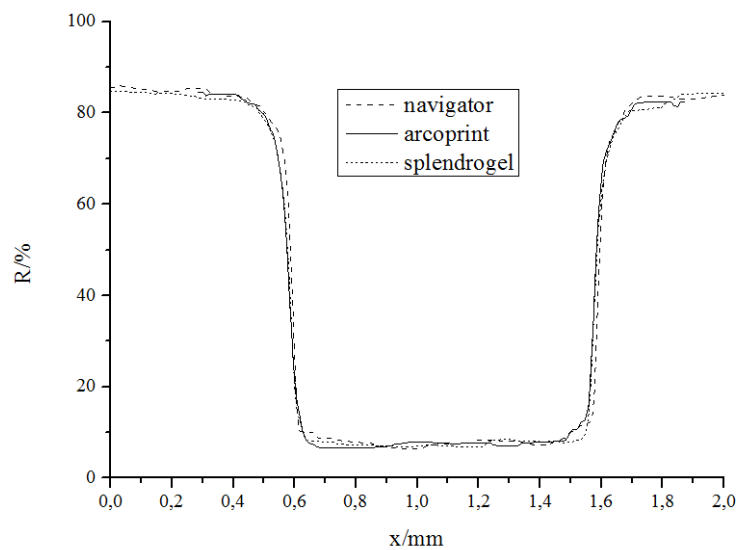
Splendorgel -0,1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,96887	64,477	0,002	0,0278	44,172
Lorentz	0,9866	-116,553	0,002	0,0325	78,142

Slika 75. Heidelberg quickmaster - profil mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak



## 8.3.2. Riso RZ 970

### 8.3.2.1 Nominalna debljina linije 1 mm

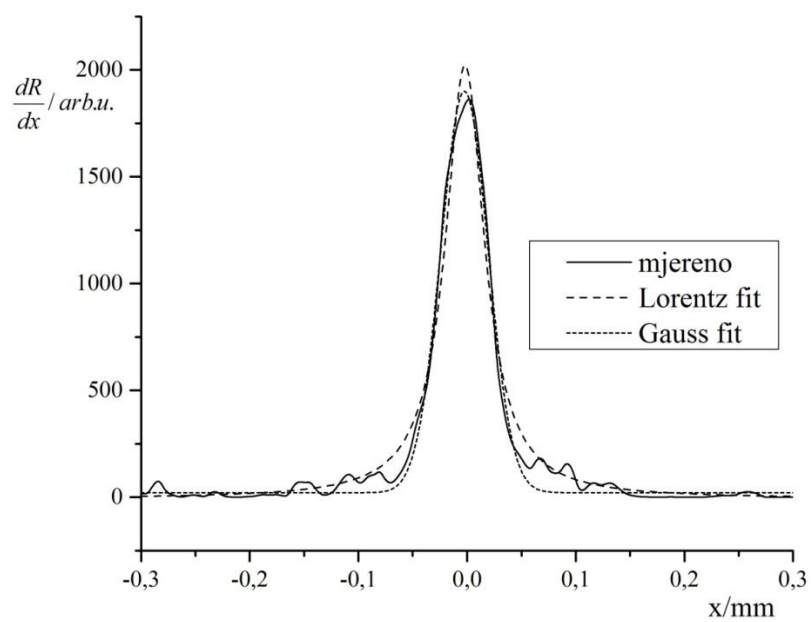


Slika 76. Riso RZ- reflektancijski profil 1mm

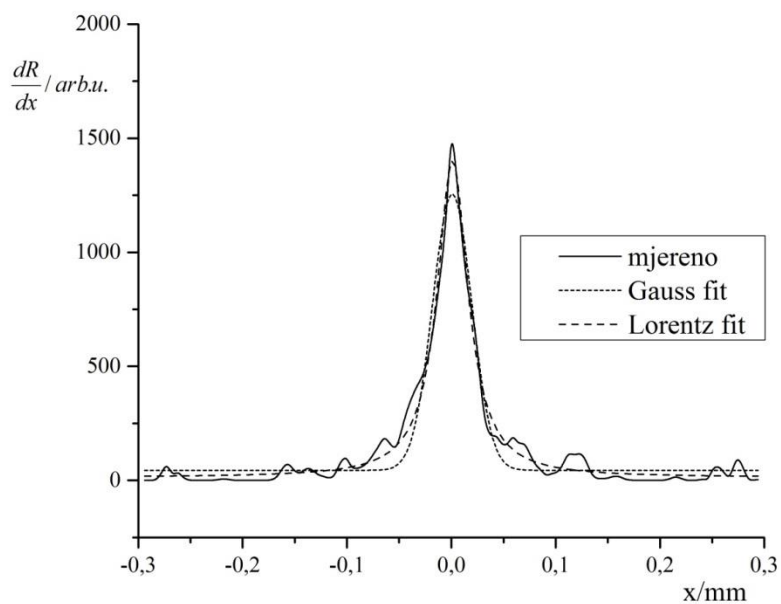
Iz reflektancijskog profila vidljivo je da otisak na papiru za digitalni tisak ima najmanja odstupanja od idealnog, dok se kod reflektancijskog profila otisnutog na uredskom papiru uočavaju značajnije nepravilnosti koje se naročito ističu u područjima refleksije između 7 i 10%, te u području refleksije između 70 i 80%.

Shodno tome i profil optičkog prirasta rastertonske vrijednosti (slika 77.) za otisak na uredskom papiru pokazuje nešto bolju aproksimaciju Gaussovom funkcijom (koeficijent korelacije 0,98556) nego Lorentzovom (koeficijent korelacije 0,97788) što znači da je u samom tisku prevladao utjecaj tehnike tiska, a ne svojstva papira. Preostala dva profila optičkog prirasta rastertonske vrijednosti pokazuju uvjerljivo veću korelaciju s Lorentzovom funkcijom.

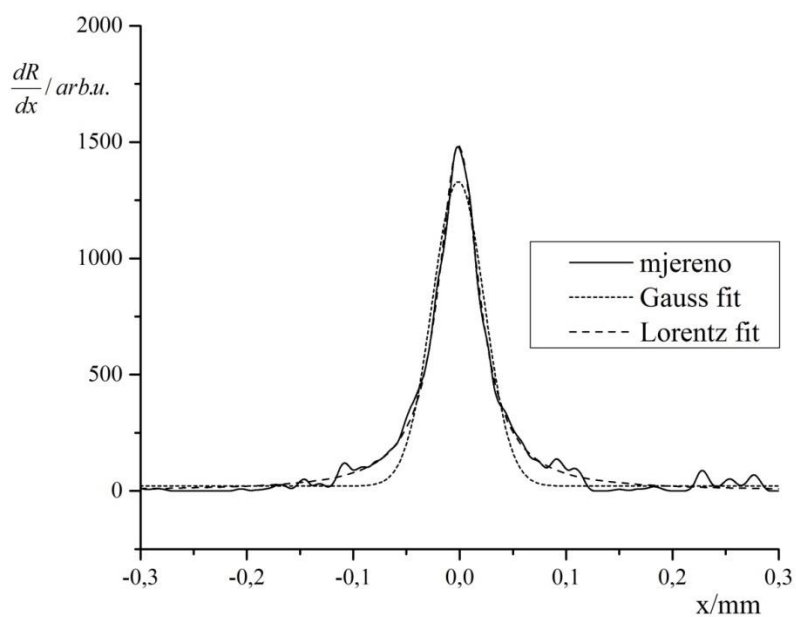
Što se tiče mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti (slika 78.) u sva tri slučaja je korelacija dobivenog profila s Gaussovom funkcijom zadovoljavajuća, ali bitno je napomenuti da se širine samih profila bitno razlikuju (najuži profil pokazuje profil otisnut na papiru za ofsetni tisak kod kojeg su jasno uočene nepravilnosti već u reflektancijskom profilu). Dodatni vrhovi koji se javljaju u profilima mehaničkih prirasta jasan su dokaz inkorporiranja negativnih *drivera*.



Navigator-1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Lorentz	0,97788	-6,491	-0,002	0,0438	139,604
Gauss	0,98556	21,315	-0,002	0,0439	102,402

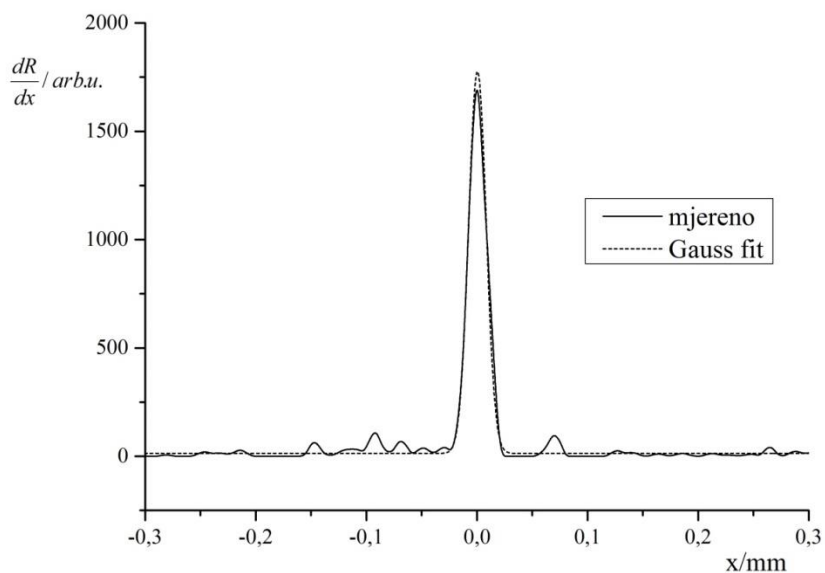


Arcoprint-1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Lorentz	0,97199	13,341	0,001	0,0359	78,220
Gauss	0,93433	44,416	0	0,0375	56,821

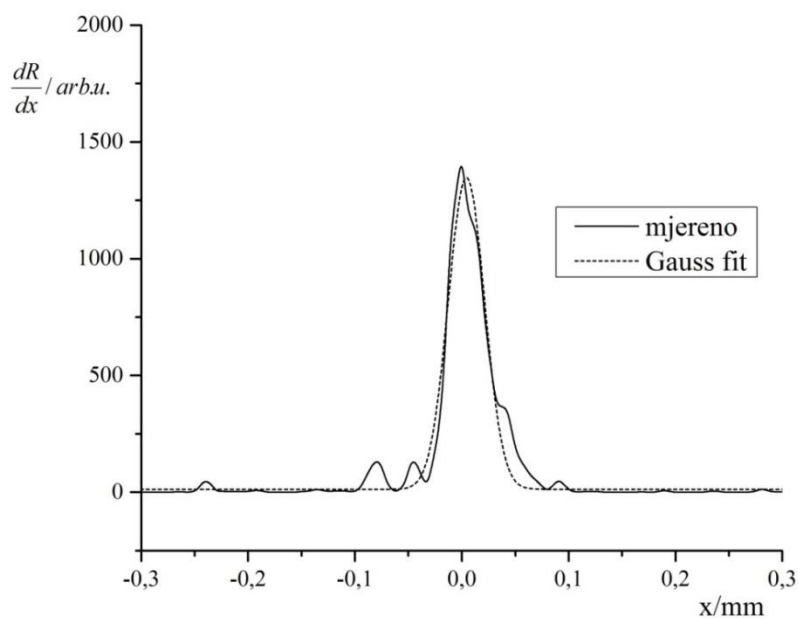


Splendorgel -1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Lorentz	0,99167	1,133	-0,001	0,0462	107,748
Gauss	0,96385	21,064	-0,001	0,0489	80,229

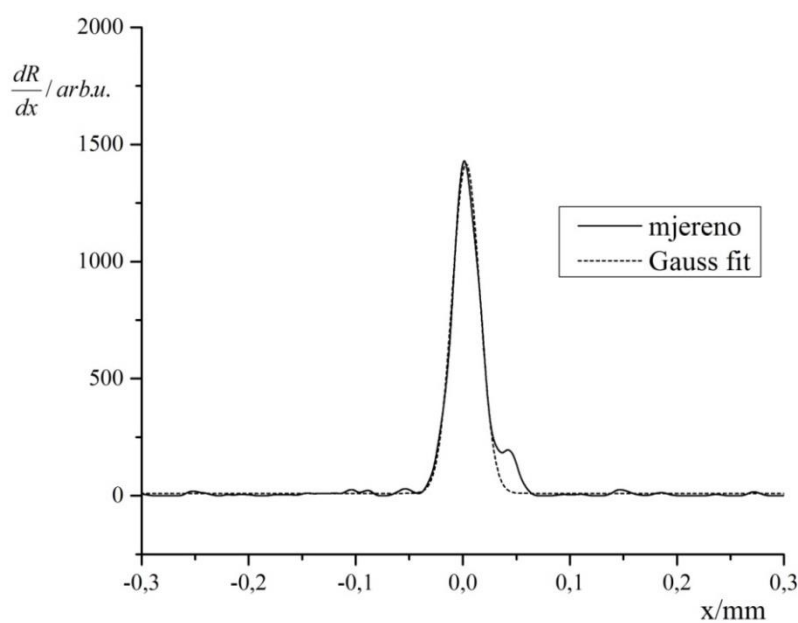
Slika 77. Riso RZ 970 - profil optičkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak



Navigator-1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,98401	13,389	0	0,0158	34,952



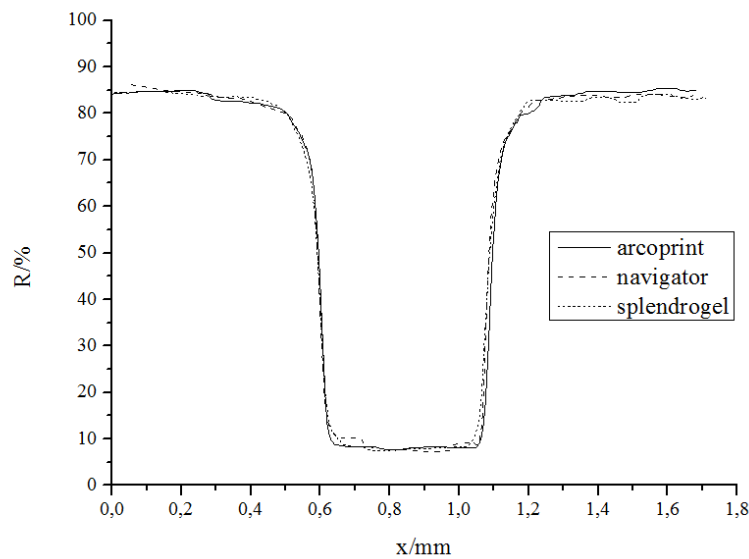
Splendorgel -1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,95824	12,737	0,004	0,0339	56,771



Splendrogel-1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,98277	10,252	0,003	0,0257	45,462

Slika 78. Riso RZ 970 - profil mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak

### 8.3.2.2. Nominalna debljina linije 0,5 mm

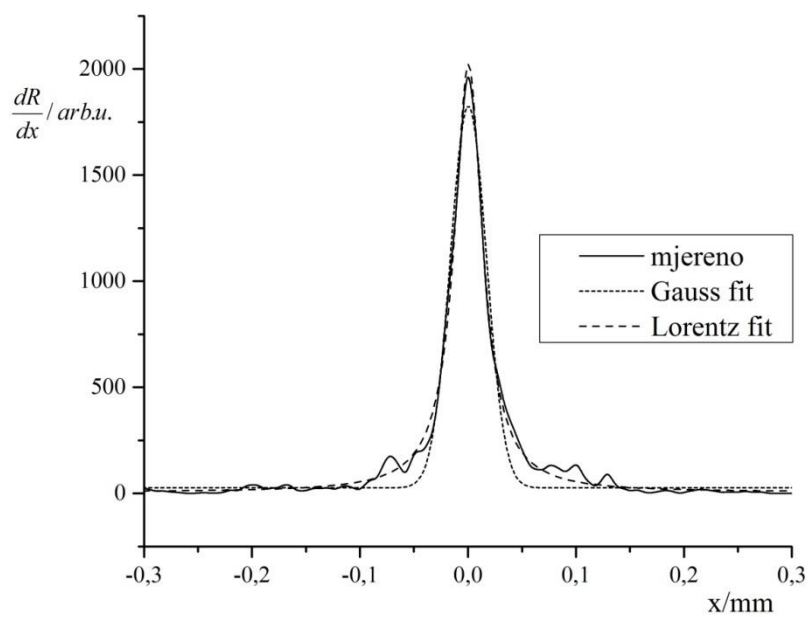


Slika 79. Riso RZ- reflektancijski profil 0,5 mm

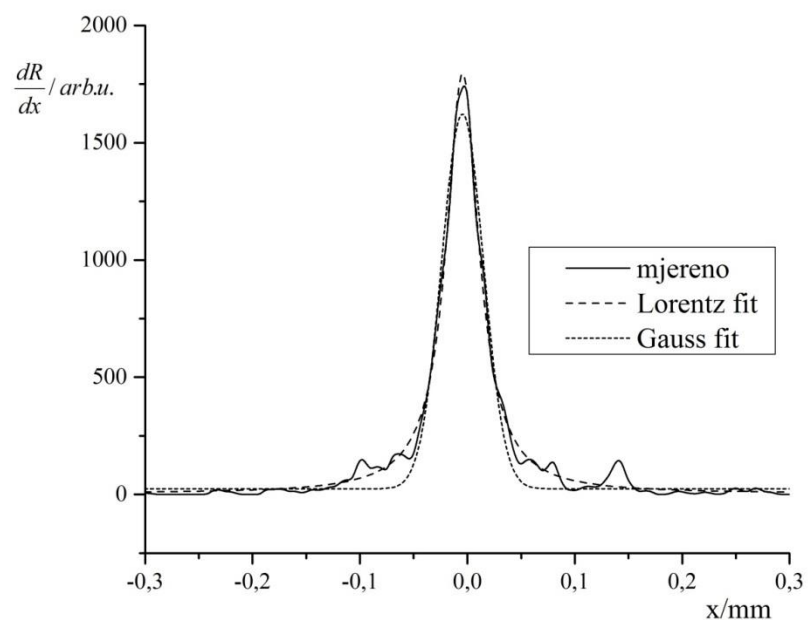
Reflektancijski profil u području od 10 do 15% refleksije ukazuje na umjerenu nekonzistentnost, prije svega otisak nastalog na papiru za digitalni tisak, koji odstupa ne samo svojom širinom, nego i samim izgledom profila.

Kao što je vidljivo iz slike 80. sva tri profila optičkog prirasta rastertonske vrijednosti pokazuju zavidan koeficijent korelacije s Lorentzovom funkcijom  $>0,98$  pri čemu uzorak otisnut na papiru za digitalni tisak ima 60% širi profil od profila optičkog prirasta na uredskom i ofsetnom papiru.

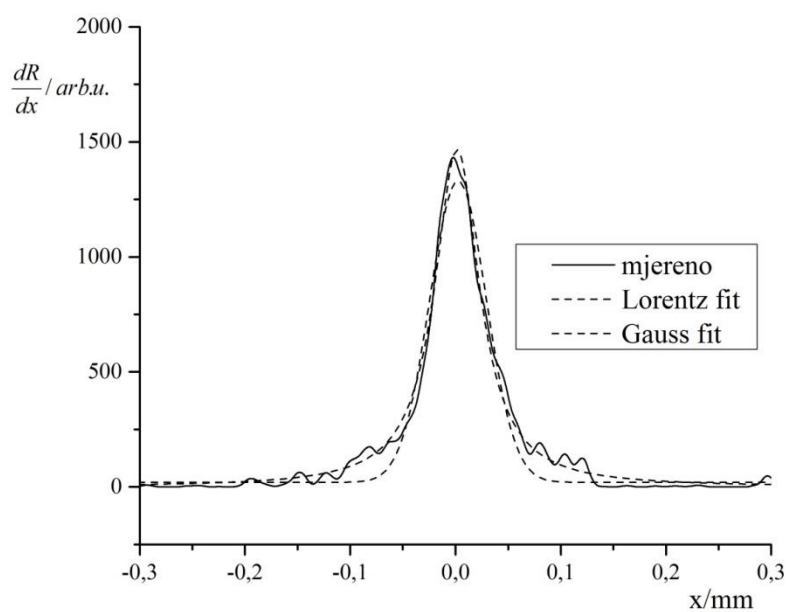
Očekivano, profil mehaničkog prirasta za uzorak otisnut na papiru za digitalni tisak, za razliku od preostala dva profila koji su skoro idealno aproksimirani Gaussovom funkcijom, je bolje opisan Lorentzovom funkcijom što se opet može pripisati dominantnom utjecaju podloge, npr. mikronakupinama na određenom području.



Navigator-0,5mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Lorentz	0,99314	5,630	0	0,0318	100,842
Gauss	0,96771	26,443	0	0,0333	75,174

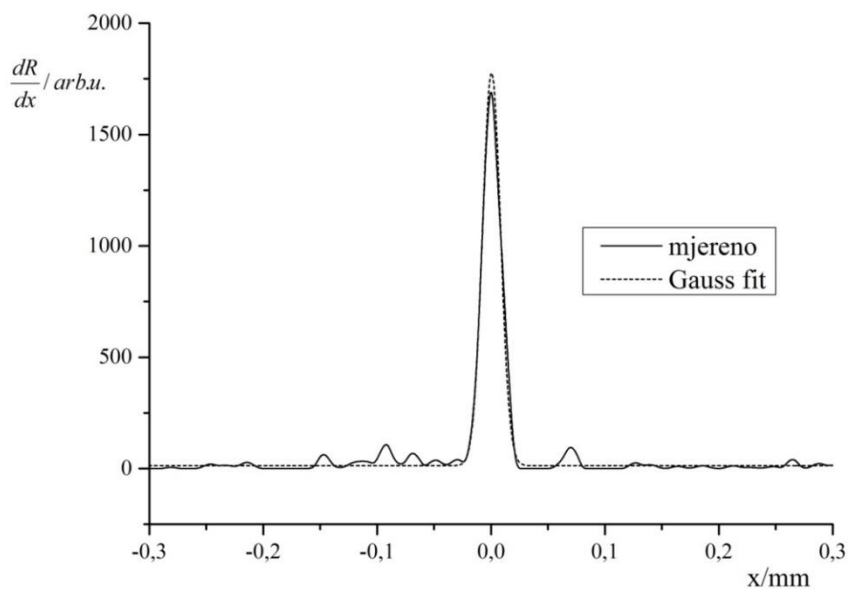


Arcoprint-0,5mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Lorentz	0,98731	4,035	-0,005	0,0371	104,322
Gauss	0,96862	24,124	-0,005	0,0389	77,986

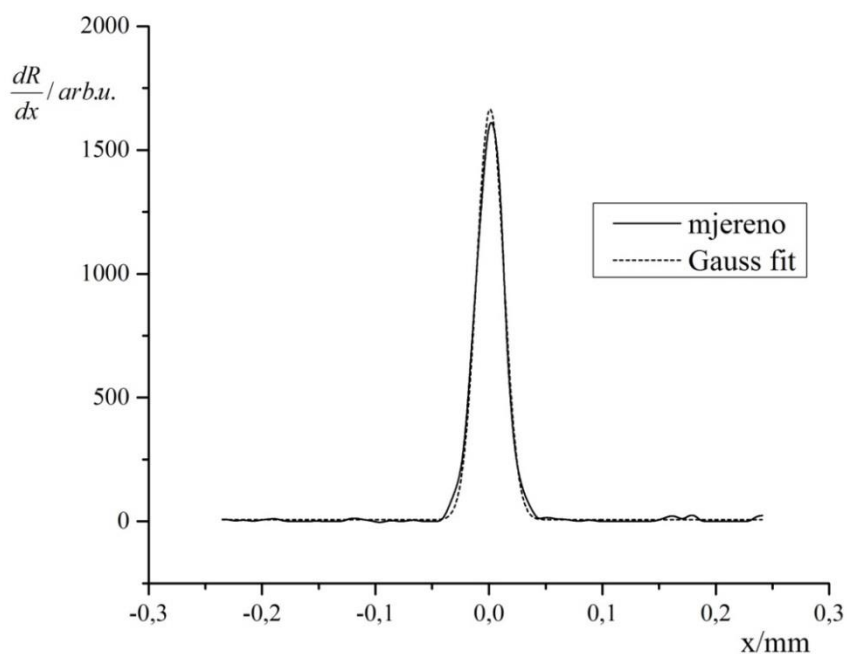


Splendorgel -0,5mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Lorentz	0,98458	-0,282	0,001	0,0519	119,648
Gauss	0,9629	19,925	0,002	0,0539	88,458

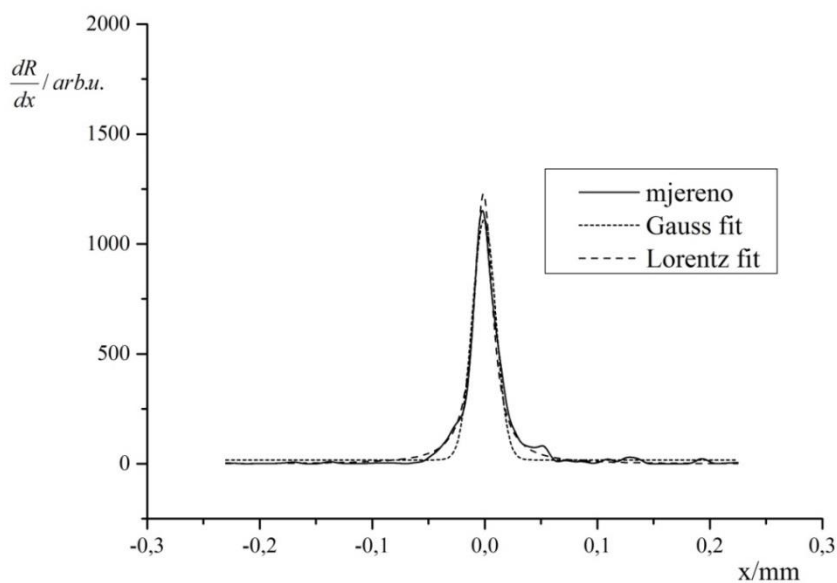
Slika 80. Riso RZ 970 - profil optičkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,5 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak



Navigator-0,5mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,98071	12,065	0	0,0163	35,198



Arcoprint-0,5mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,99478	6,565	0,001	0,0239	49,652

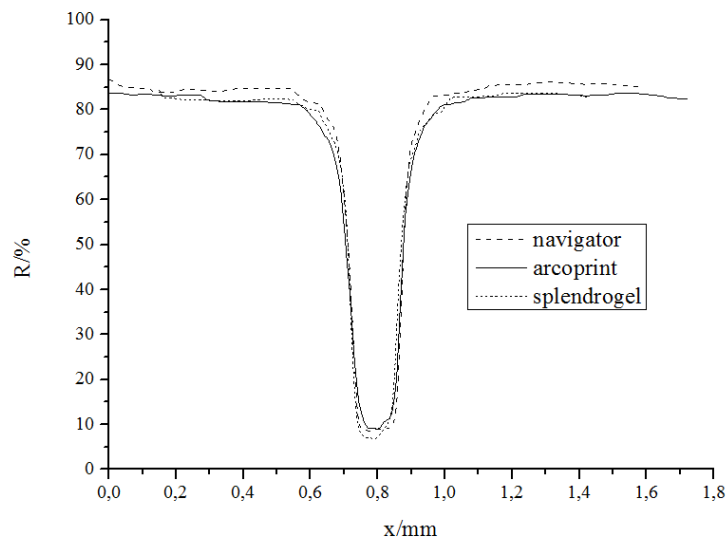


Splendorgel -0,5mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,96063	17,776	0	0,0207	28,432
Lorentz	0,9858	-1,403	0,001	0,0198	38,196

Slika 81. Riso RZ 970 - profil mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,5 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak



### 8.3.2.3. Nominalna debljina linije 0,1 mm

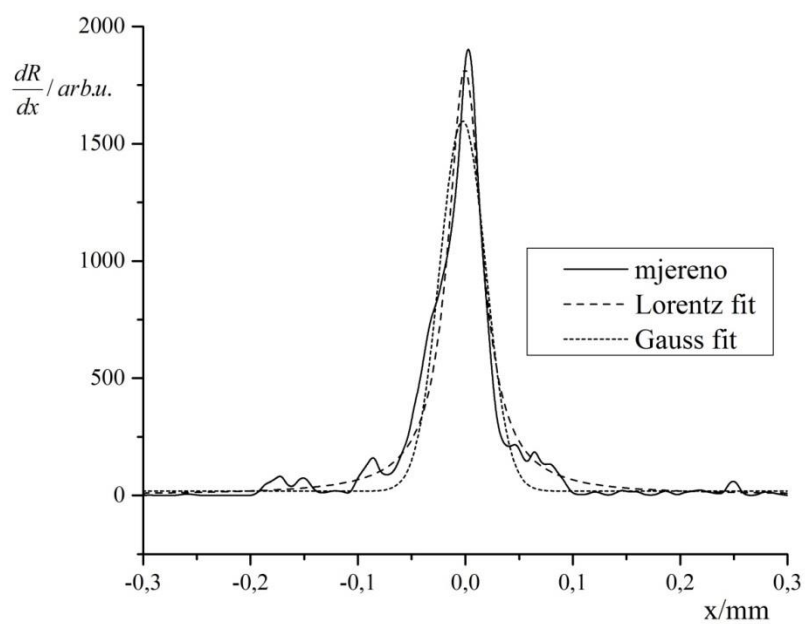


Slika 82. Riso RZ- reflektancijski profil 0,1 mm

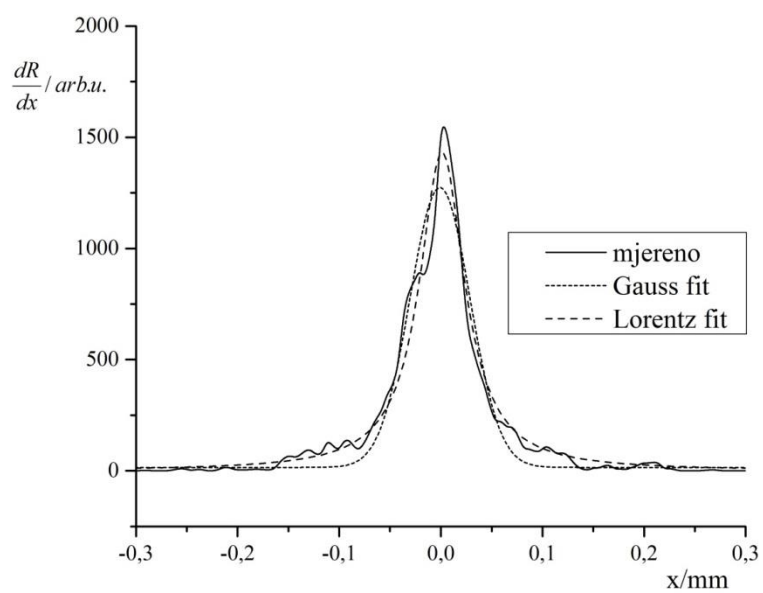
Reflektancijski profil uredskog papira cijelom dužinom svog profila pokazuje nešto veće vrijednosti refleksije u odnosu na preostala dva profila, dok je za sva tri profila izraženiji šum u dijelovima lijevog i desnog krila koji se jasno manifestira u profilima optičkog prirasta ratertonske vrijednosti, koji unatoč tome i dalje pokazuje bolju korelaciju s Lorentzovom funkcijom, s najširim profilom za otisak nastao na ofsetnom papiru.

Što se tiče mehaničkog prirasta, iz slike 84. je vidljivo da otisci nastali na uredskom papiru i papiru za digitalni tisak imaju izrazito visok koeficijent korelacije s Gaussovom funkcijom >98%, dok otisak na ofsetnom papiru, iako s neznatno nižim koeficijentom korelacije i dalje zadovoljava aproksimaciju Gaussovom funkcijom.

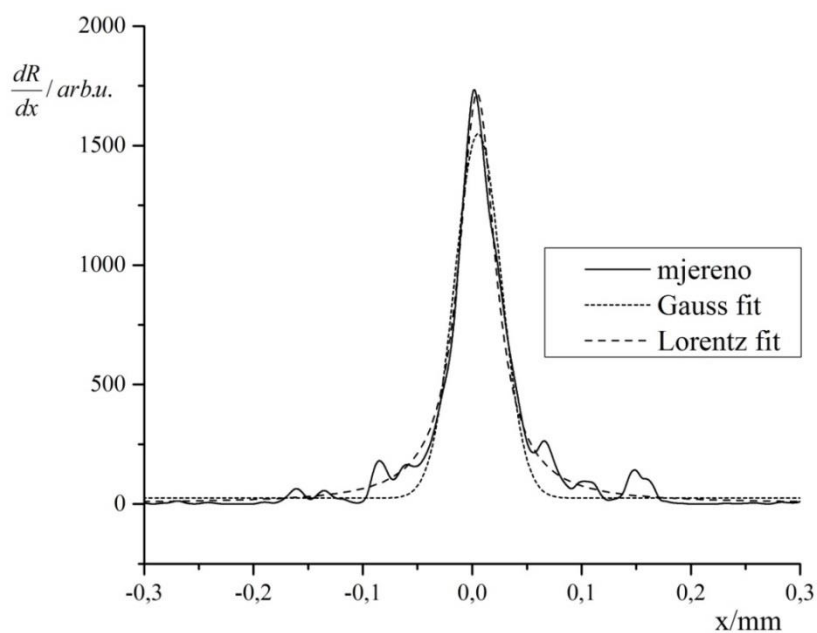
Vidljivo je također da se širine profila mehaničkog prirasta u prosjeku bitno razlikuju, dok to ne možemo reći za profile optičkog prirasta, koji rastu s povećanjem gramature papira.



Navigator-0,1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Lorentz	0,96301	2,849	0	0,0382	109,247
Gauss	0,94029	18,779	-0,002	0,0426	84,266

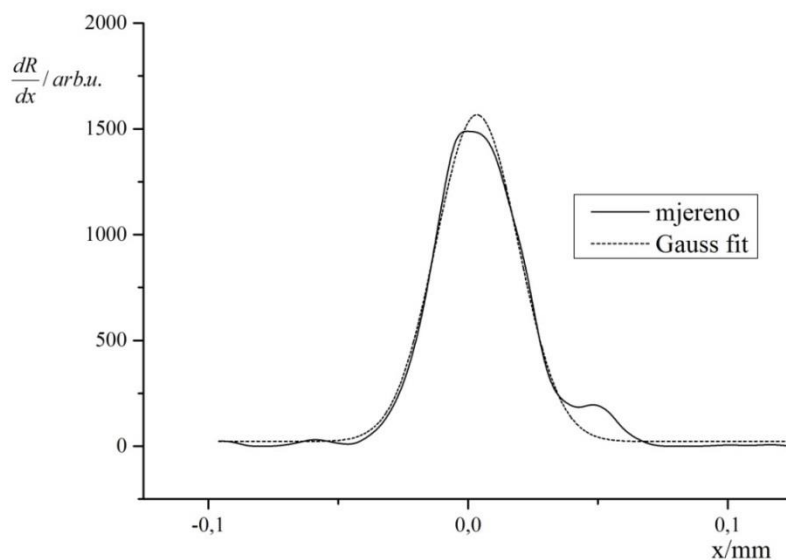


Arcoprint-0,1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Lorentz	0,96933	0,413	0,001	0,0542	121,899
Gauss	0,95138	15,547	0	0,0588	92,808

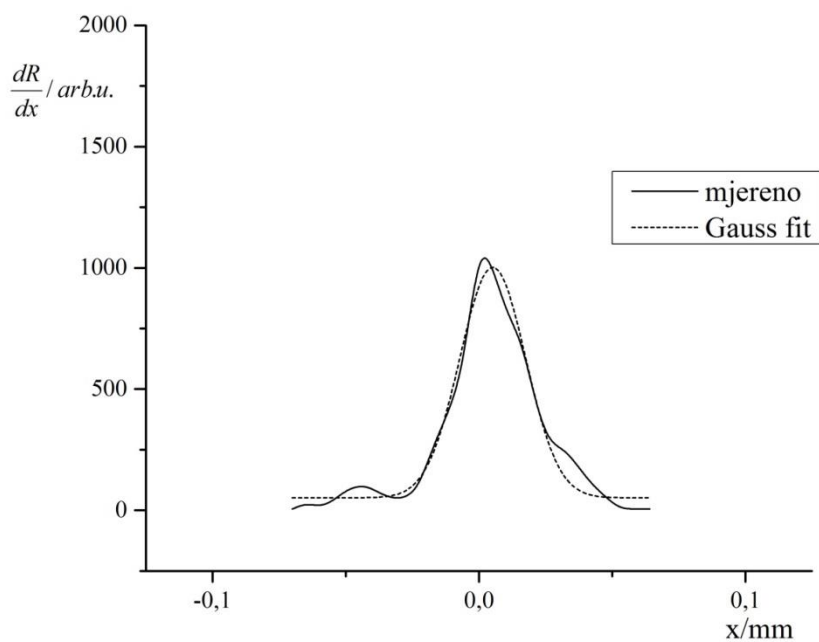


Splendorgel -0,1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Lorentz	0,98132	2,652	0,004	0,0405	109,266
Gauss	0,957	24,993	0,005	0,0424	80,966

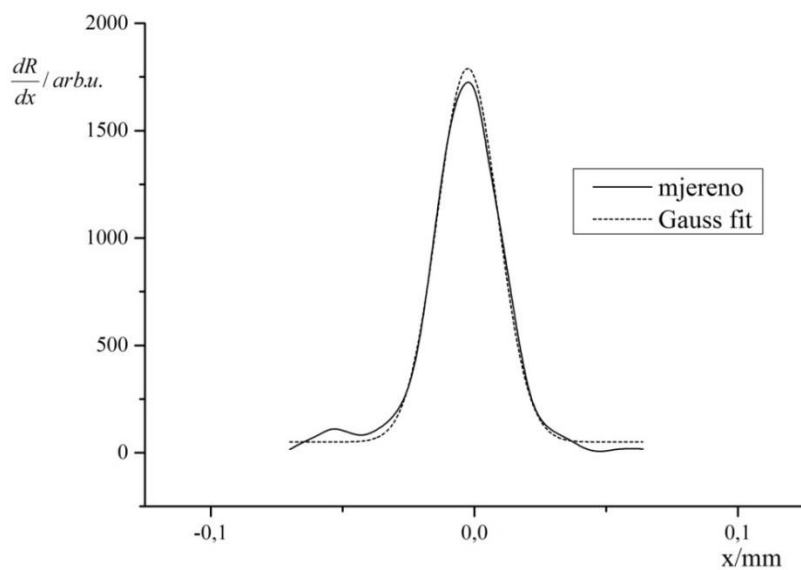
Slika 83. Riso RZ 970 - profil optičkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,5 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak



Navigator-0,1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,9879	23,407	0,003	0,0319	61,698



Arcoprint-0,1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,95884	51,901	0,005	0,0247	29,426

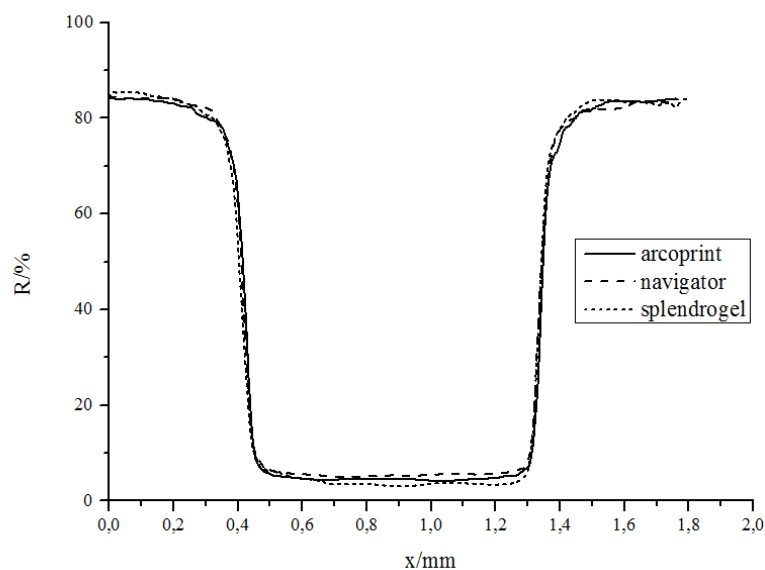


Splendorgel -0,1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,99511	50,223	-0,002	0,0231	50,377

Slika 84. Riso RZ 970 - profil mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak

### 8.3.3. Canon IR

#### 8.3.3.1. Nominalna debljina linije 1 mm



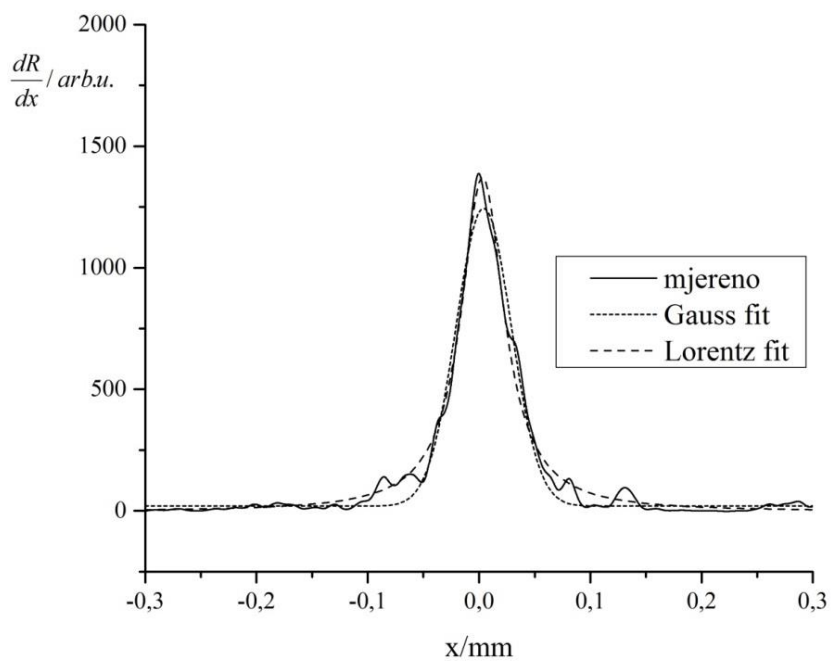
Slika 85. Canon IR - reflektancijski profil 1 mm

Reflektancijski profili (slika 85.) prikazuju konzistentnost svih triju otisaka s zanemarivim šumom u području desnog krila kod otiska na ofsetnom papiru, dok je kod otiska na digitalnom papiru uočena neravnomjernost otiska u području visoke vrijednosti apsorpcije.

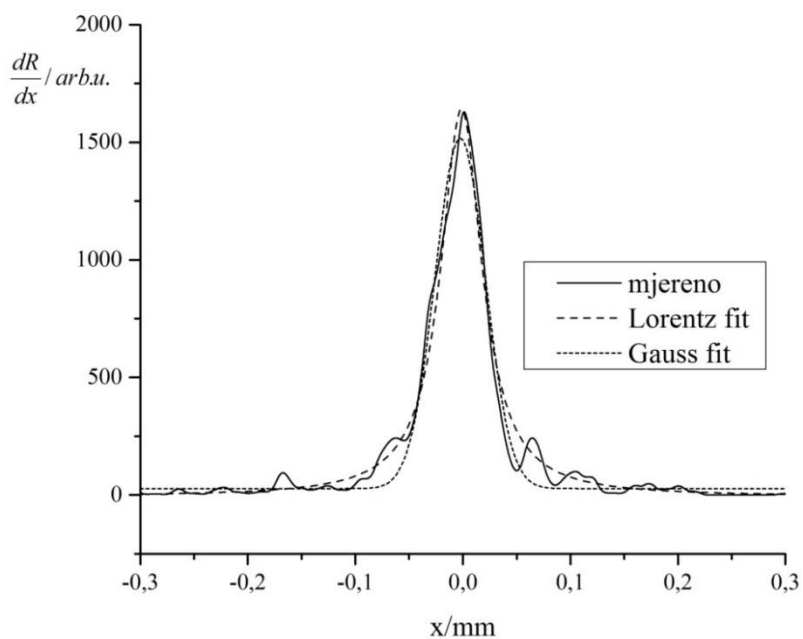
Iz dobivenih profila za optički prirast rastertonske vrijednosti pokazuje se da su za sva tri otiska profili bolje aproksimirani Lorentzovom funkcijom pri čemu najveći koeficijent korelacije očekivano pripada profilu otisnutom na papiru za digitalni tisak koji je svojom primarnom namjerom usmjeren za tu tehniku tiska.

U skladu s tim, i sama širina profila Lorentzove funkcije je najniža za profil optičkog prirasta na papiru za digitalni tisak.

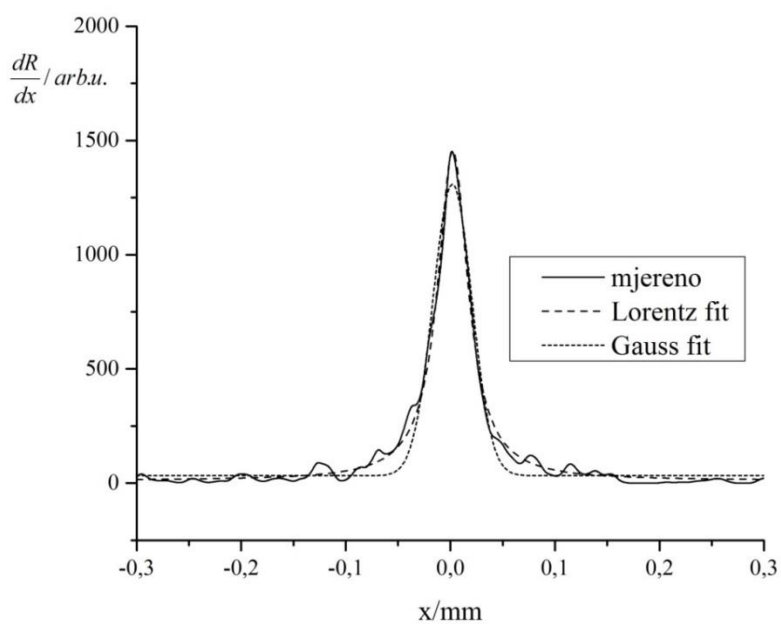
Ako izuzmemo šum koji se javio u profilu mehaničkog prirasta kod otiska na papiru za digitalni tisak, sva tri profila mehaničkog prirasta su gotovo idealno aproksimirana Gaussovom funkcijom (koeficijent korelacije je 0,99 za profila mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti na uredskom i ofsetnom papiru, dok je 0,97 za profil mehaničkog prirasta otiska na papiru za digitalni tisak).



Navigator-1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$W$	$A$
Lorentz	0,98202	-3,846	0,003	0,0473	102,226
Gauss	0,97332	19,666	0,004	0,0495	75,983

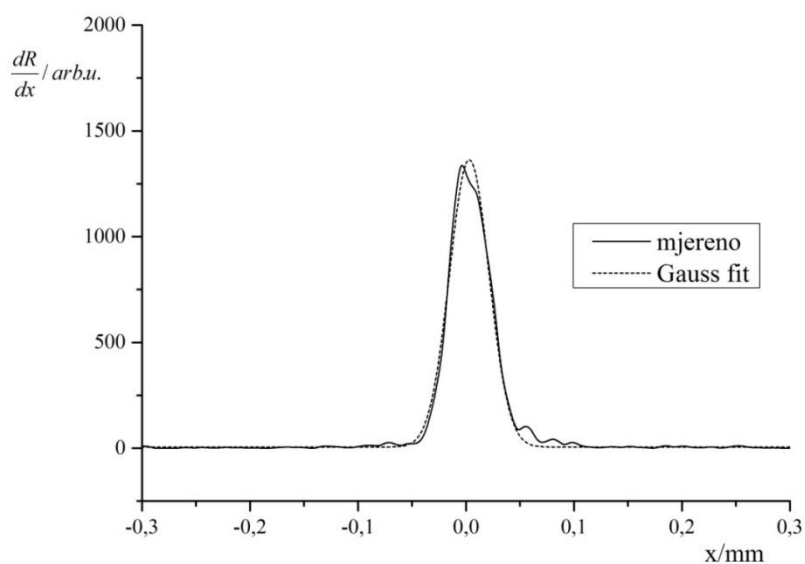


Arcoprint-1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$W$	$A$
Lorentz	0,97558	-6,422	-0,001	0,0466	120,582
Gauss	0,96855	27,424	-0,003	0,0467	87,102

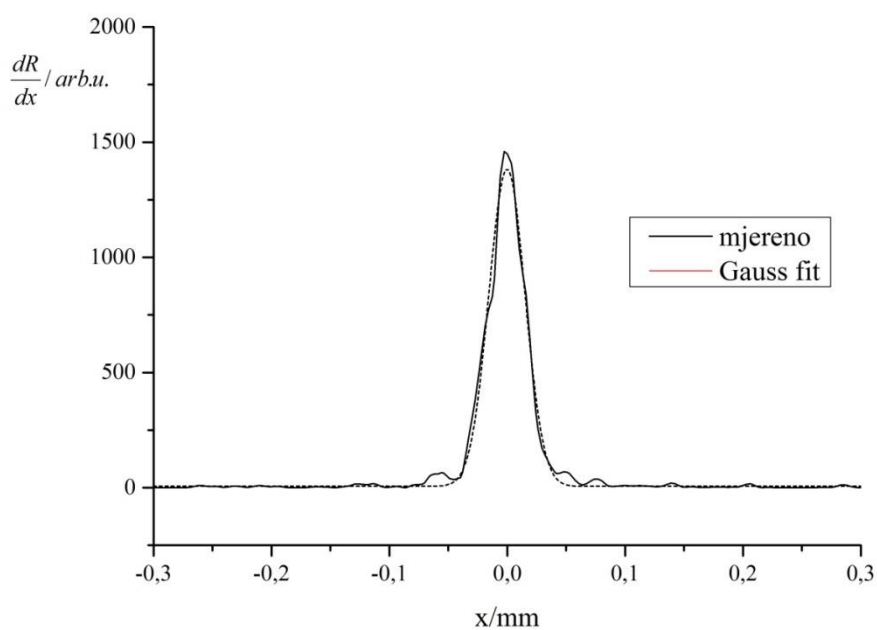


Splendorgel -1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$W$	$A$
Lorentz	0,98322	11,445	0,002	0,0353	80,212
Gauss	0,95839	32,793	0,002	0,0372	59,561

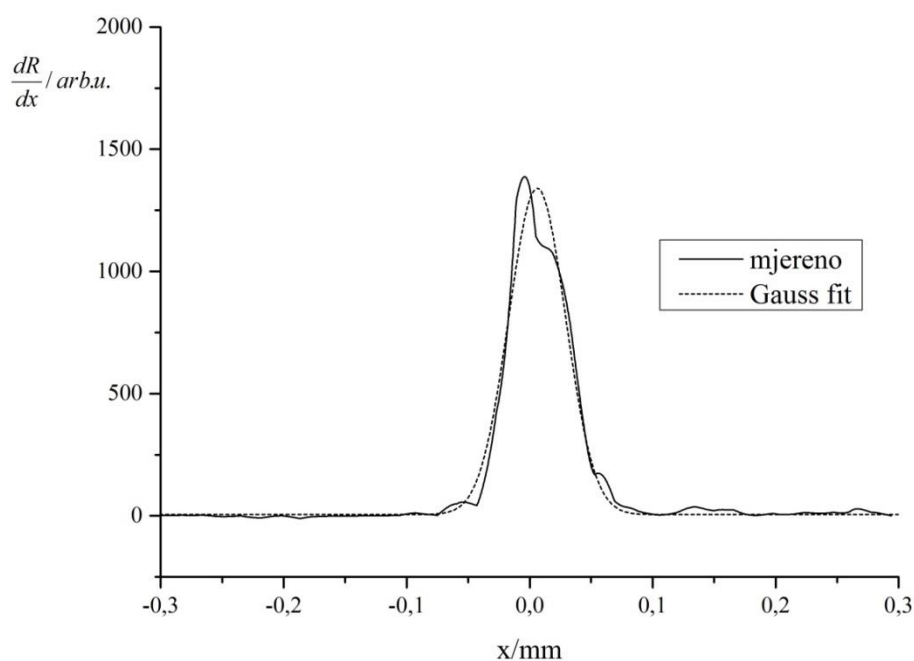
Slika 86. Canon IR - profil optičkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak



Navigator-1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,99006	5,458	0,003	0,0366	62,411



Arcoprint -1 mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,98952	6,027	0	0,0308	53,148

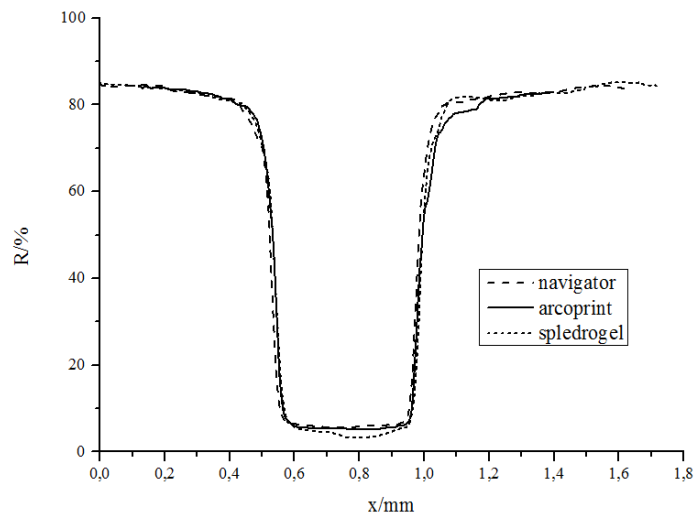


Splendorgel -1 mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,97002	5,424	0,006	0,0463	77,452

Slika 87. Canon IR - profil mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak



### 8.3.3.2. Nominalna debljina linije 0,5 mm

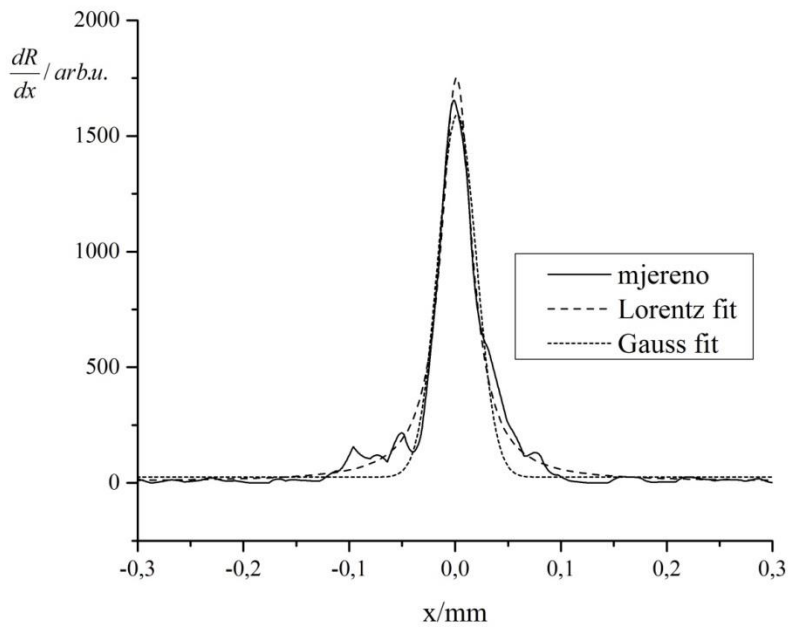


Slika 88. Canon IR - reflektancijski profil 0,5 mm

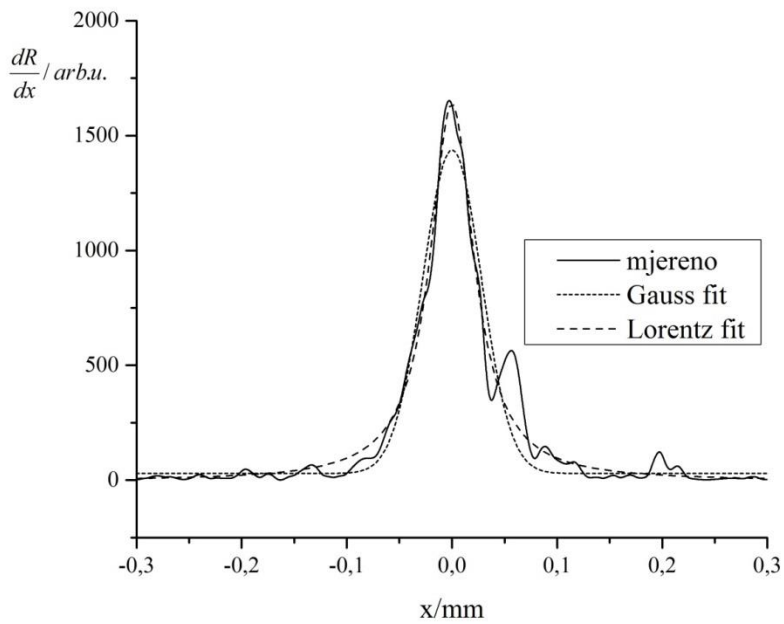
Iz like 88. uočava se ujednačenost svih triju reflektancijskih profila u području do 1cm gdje se javljaju neslaganja između otisaka pri čemu najviše odstupa reflektancijski profil otiska na ofsetnom papiru. Izuzev ovoga, na papiru za digitalni tisak vidljivo je povećanje apsorpcije u sredini otiska koja zbog svojeg položaja neće doprinijeti bilo kakvim odstupanjima u profilu mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti.

Slika 89. nedvosmisleno pokazuje bolju aproksimaciju optičkog prirasta Lorentzovom funkcijom, unatoč šumu na području desnog krila, pri čemu najuži profil optičkog prirasta pokazuje otisak na uredskom papiru.

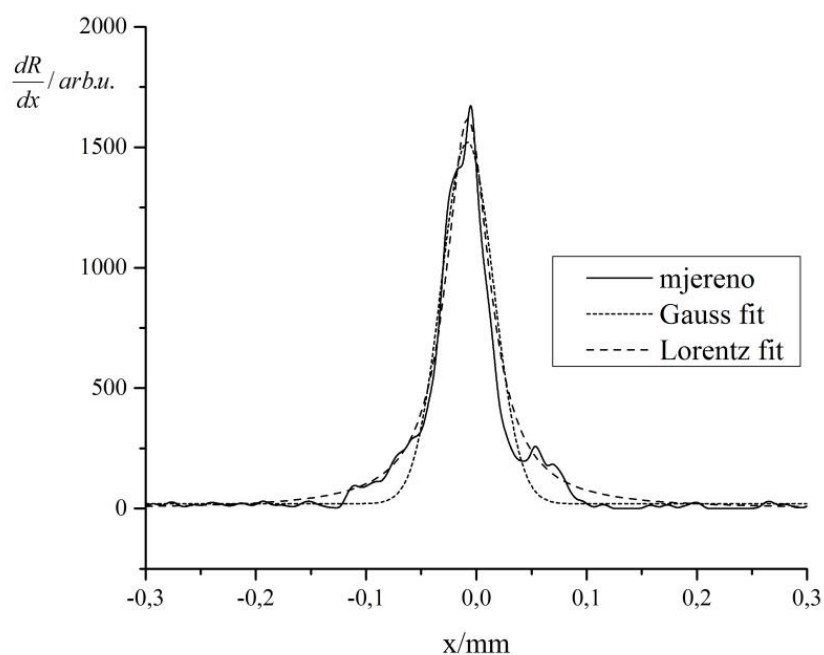
Profil mehaničkog prirasta (slika 90.) je u sva tri slučaja idealno aproksimiran Gaussovom funkcijom (koeficijent korelacije  $>0,99$ ).



Navigator-0,5mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Lorentz	0,97859	5,532	0,001	0,0351	96,298
Gauss	0,95472	25,154	0,002	0,0362	71,241

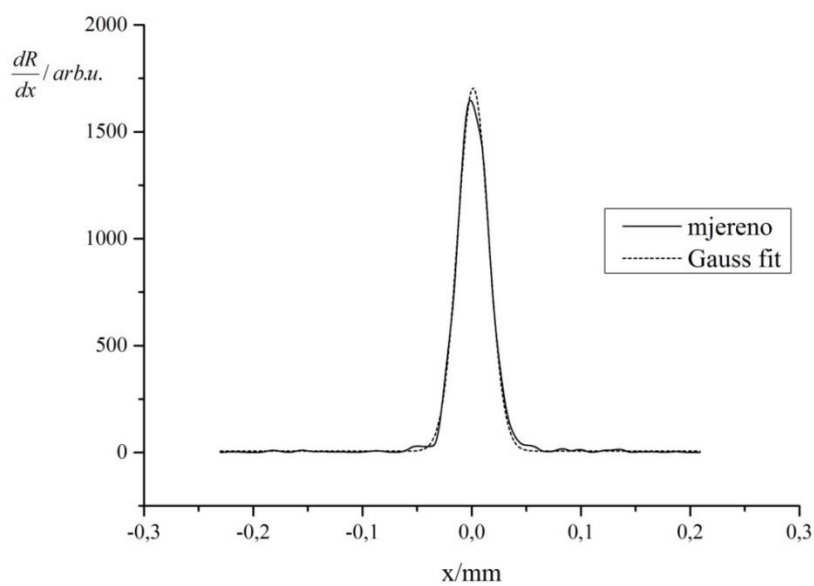


Arcoprint -0,5mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Lorentz	0,96929	-4,129	0	0,051	131,571
Gauss	0,93976	29,233	0	0,056	97,118

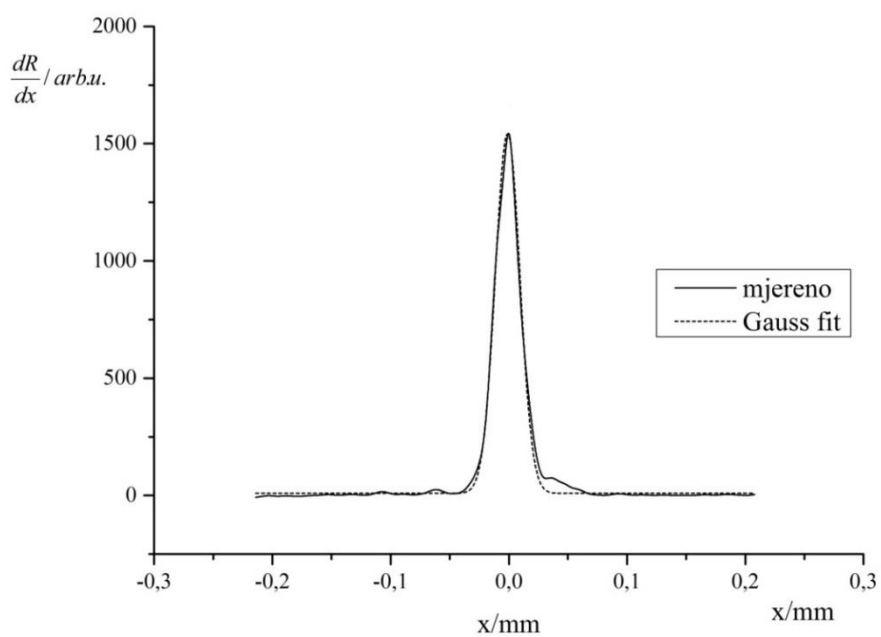


Splendorgel -0,5mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Lorentz	0,96705	-1,703	-0,008	0,0483	123,264
Gauss	0,95991	20,113	-0,008	0,0474	89,236

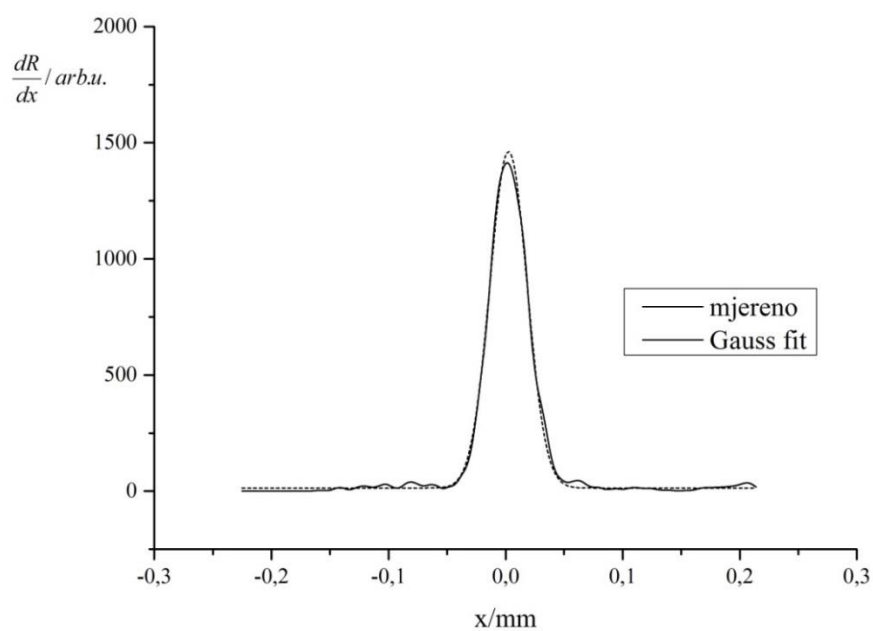
Slika 89. Canon IR - profil optičkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,5 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak



Navigator-0,5mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,99592	6,337	0,001	0,0280	59,656



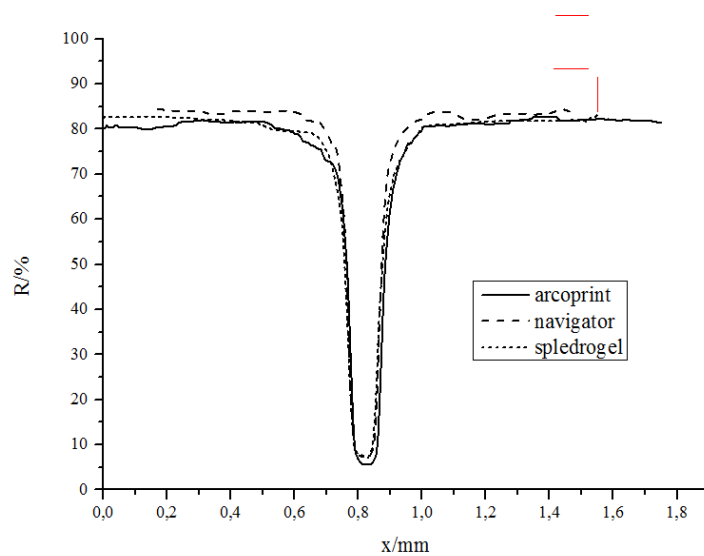
Arcoprint -0,5 mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,99046	9,162	-0,001	0,0209	40,140



Splendorgel -0,5mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,9909	12,923	0,002	0,0343	67,170

Slika 90. Canon IR - profil mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,5 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak

### 8.3.3.3. Nominalna debljina linije 0,1 mm

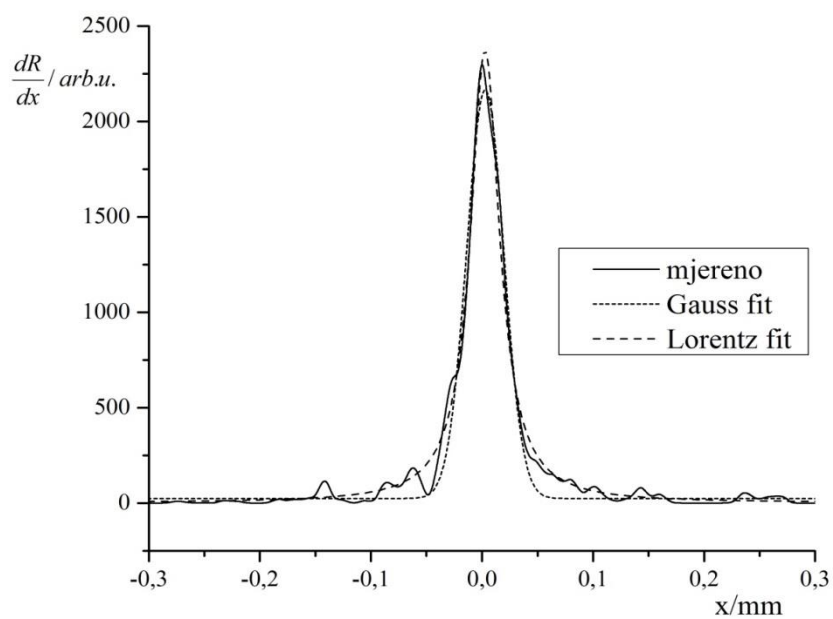


Slika 91. Canon IR - reflektancijski profil 0,1 mm

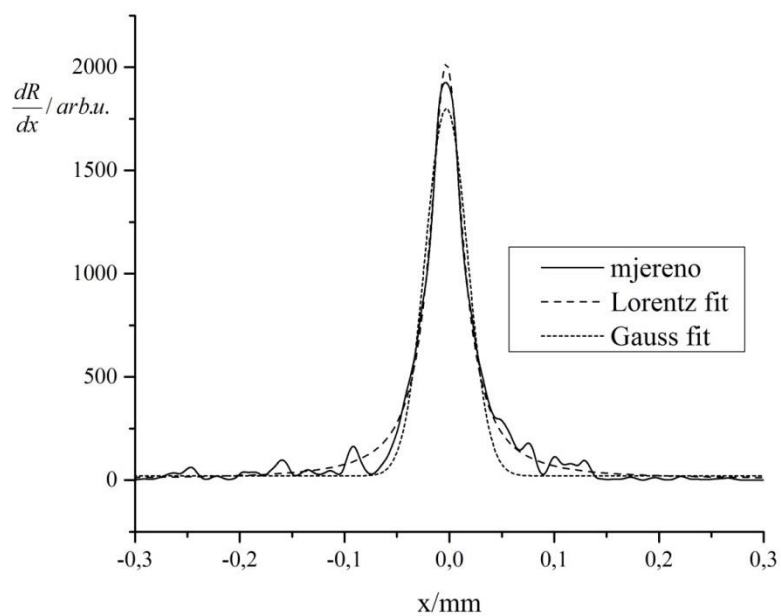
Reflektancijski profil otiska na uredskom papiru cijelim svojim profilom pokazuje 5% veću reflektanciju od preostala dva uzorka i nešto uži profil.

Dijagrami koji prikazuju profil optičkog prirasta rastertonske vrijednosti (slika 92.) potvrđuju bolju aproksimiranost profila Lorentzovom funkcijom u usporedbi s Gaussovom, pri čemu se potvrđuje da je najuži profil Lorentzove funkcije kod otiska na uredskom papiru, a najširi za otisak na papiru za digitalni tisak.

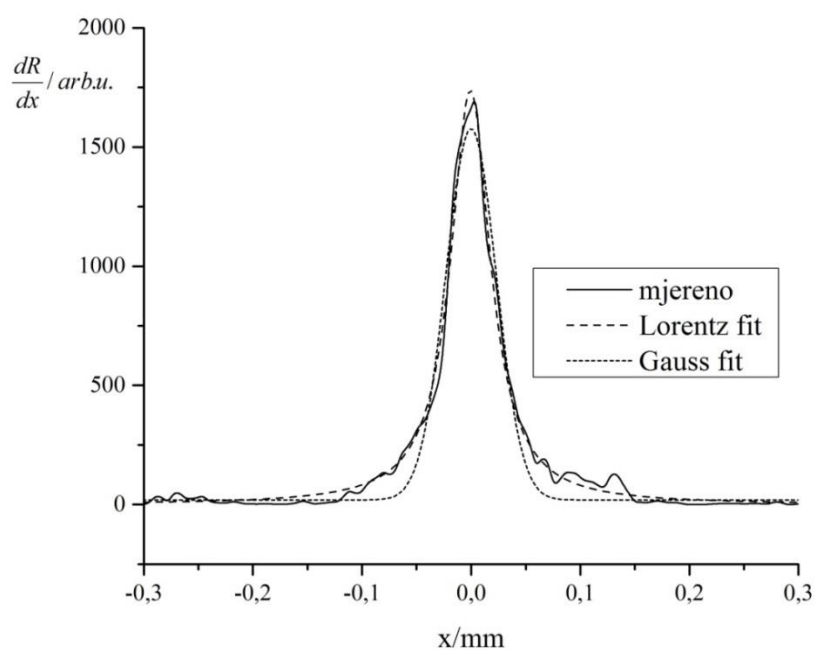
Profili mehaničkog prirasta otisaka na uredskom i ofsetnom papiru su idealno aproksimirani Gaussovom funkcijom (koeficijent korelacije  $>0,99$ ) dok se kod otiska na papiru digitalni tisak neznatno boljom pokazala Lorentzova funkcija (koef. korelacije 0,995), uz i dalje jako visak stupanj korelacije s Gaussovom funkcijom (koef. korelacije 0,985), zbog izraženijeg utjecaja samog papira.



Navigator-0,1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$W$	$A$
Lorentz	0,98442	1,616	0,003	0,0321	119,587
Gauss	0,97242	24,337	0,003	0,0334	89,651

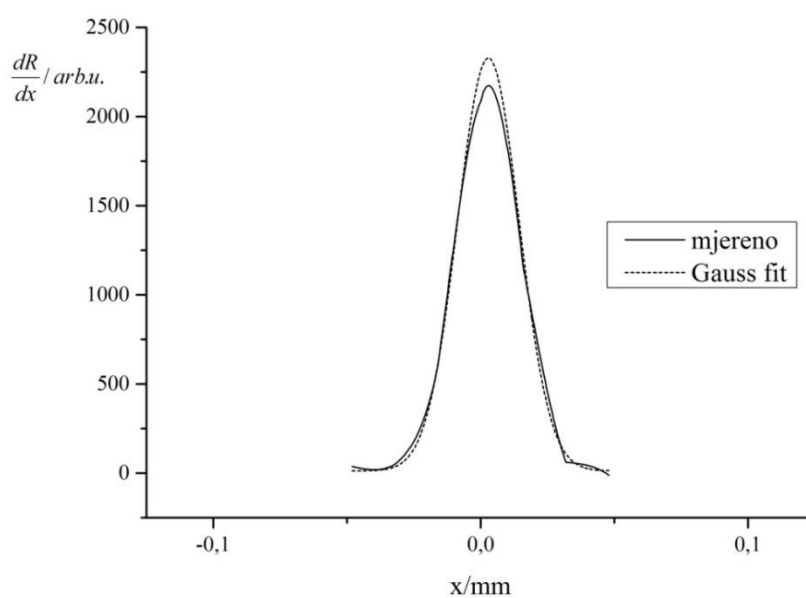


Arcoprint-0,1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$W$	$A$
Lorentz	0,98914	4,822	-0,003	0,0372	117,961
Gauss	0,96563	20,794	-0,003	0,0402	89,681

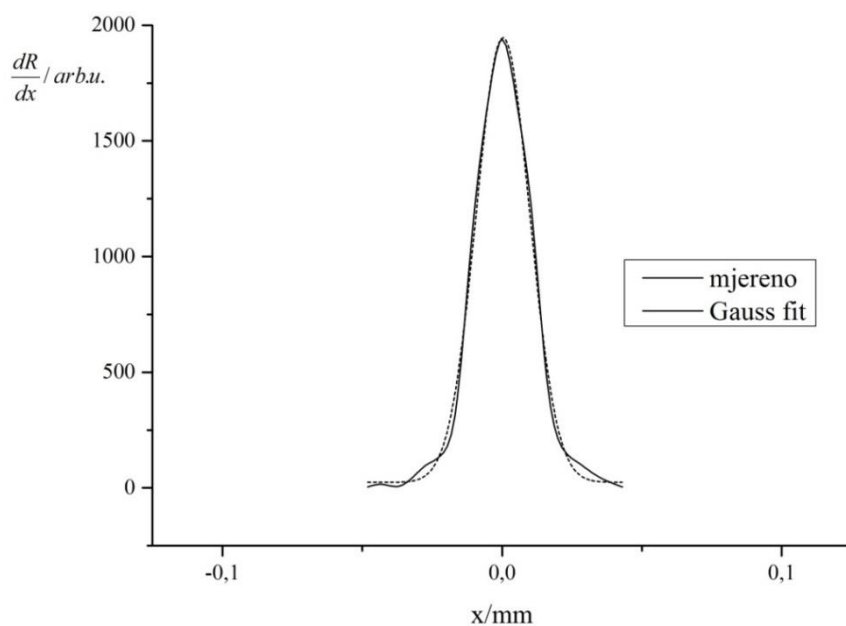


Splendorgel -0,1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$W$	$A$
Lorentz	0,98572	0,113	0	0,0444	121,311
Gauss	0,96275	19,169	0	0,0463	90,352

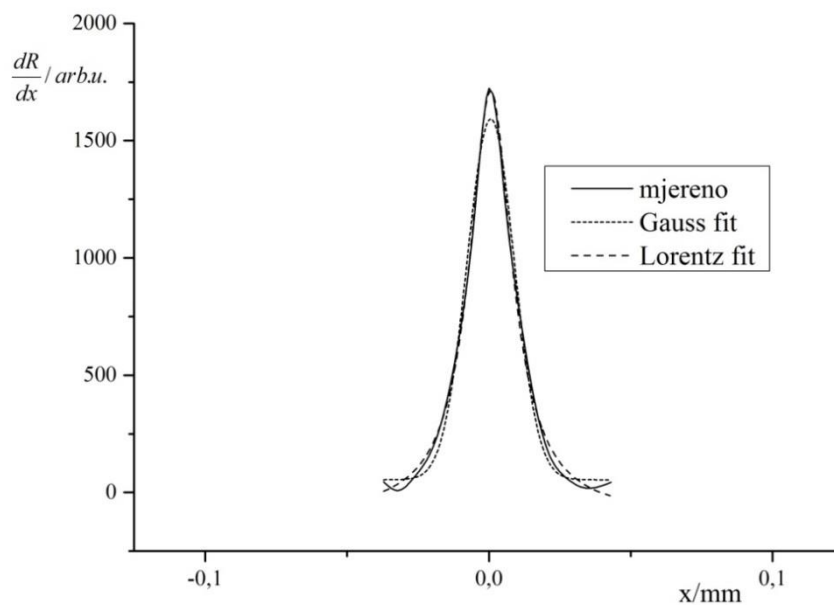
Slika 92. Canon IR - profil optičkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak



Navigator-0,1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,9931	13,194	0,003	0,023	66,771



Arcoprint-0,1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,99453	23,945	0	0,0192	46,238



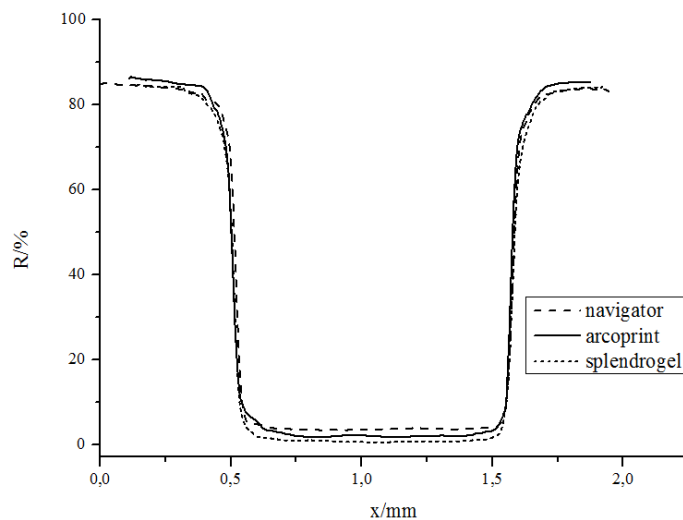
Splendorgel -0,1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,98516	54,155	0	0,0167	32,163
Lorentz	0,99517	96,013	0	0,0184	52,190

Slika 93. Canon IR - profil mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak



### 8.3.4. Xerox DC 250

#### 8.3.4.1. Nominalna debljina linije 1 mm

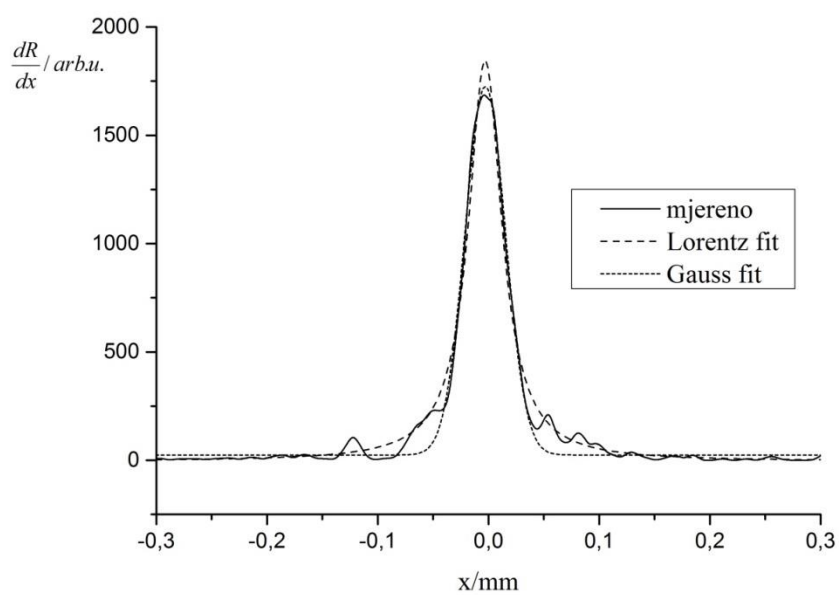


Slika 94. Xerox DC 250 - reflektancijski profil 1 mm

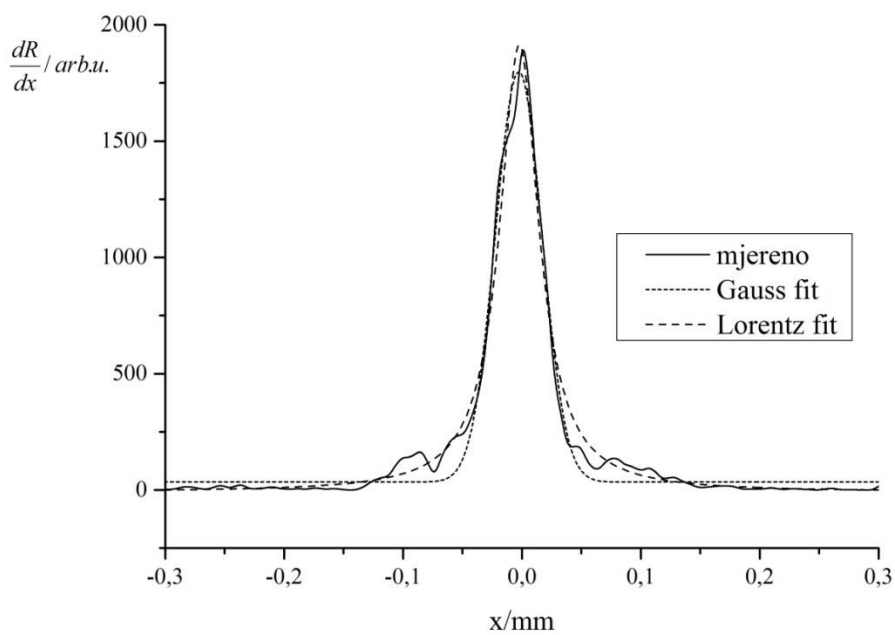
Reflektancijski profili otisaka (slika 94.) pokazuju ujednačenost izgleda profila uzoraka reproduciranih na uredskom papiru i papiru za digitalni tisak pri čemu je primjetna gotovo stopostotna apsorpcija, dok reflektancijski profil otiska na ofsetnom papiru pokazuje devijacije na dva karakteristična mjesta (položajima koji se nalaze na radijalnoj udaljenosti 0,4 odnosno 0,6 mm od ishodišta).

Dijagrami koji prokazuju profile optičkog prirasta rastertonske vrijednosti (slika 95.) ukazuju na inifinitezimalne razlike između Lorentzove i Gaussove aproksimacije za otiske na uredskom i ofsetnom papiru, ali i dalje veće vrijednosti korelacije za Lorentzovu funkciju, dok je za otisak na papiru za digitalni tisak aproksimacija opisana Lorentzovom funkcijom znatno bolja, te je ujedno i sam profil krivulje najuži.

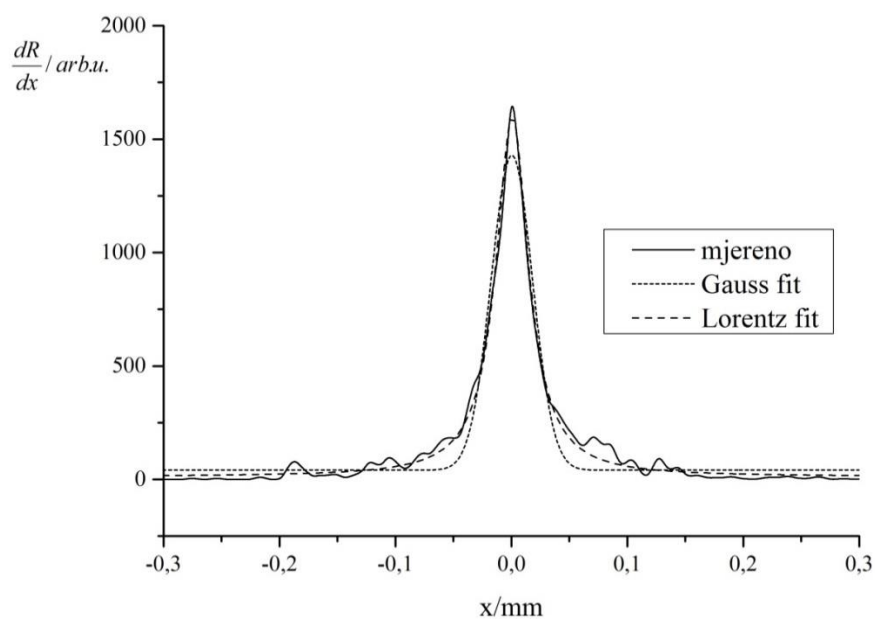
U sva tri slučaja (slika 96.) profil mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti aproksimiran Gaussovom funkcijom više je nego zadovoljavajući s minimalnim koeficijent korelacije 0,98.



Navigator-1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Lorentz	0,98376	4,705	0,003	0,0369	107,241
Gauss	0,98129	24,395	0,003	0,0366	77,921

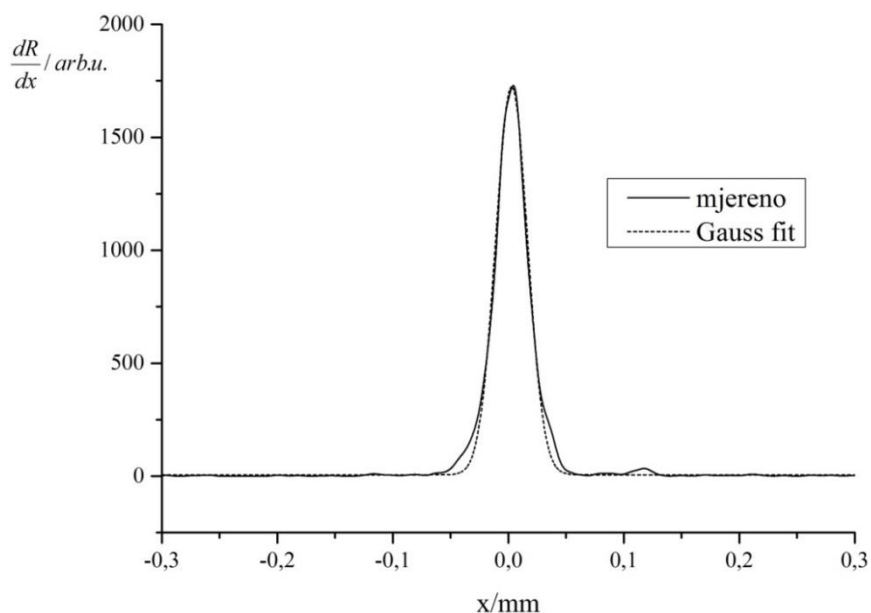


Arcoprint-1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Lorentz	0,97695	8,569	0,002	0,0404	121,986
Gauss	0,97605	34,175	0,002	0,0393	86,937

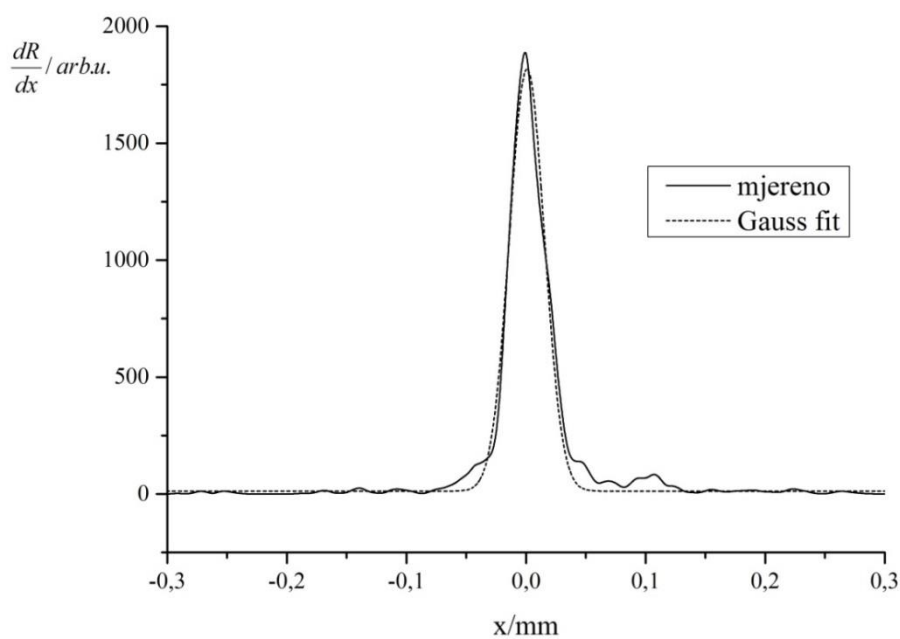


Splendorgel -1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Lorentz	0,98646	11,943	0	0,0343	85,414
Gauss	0,94422	40,628	0	0,0358	62,235

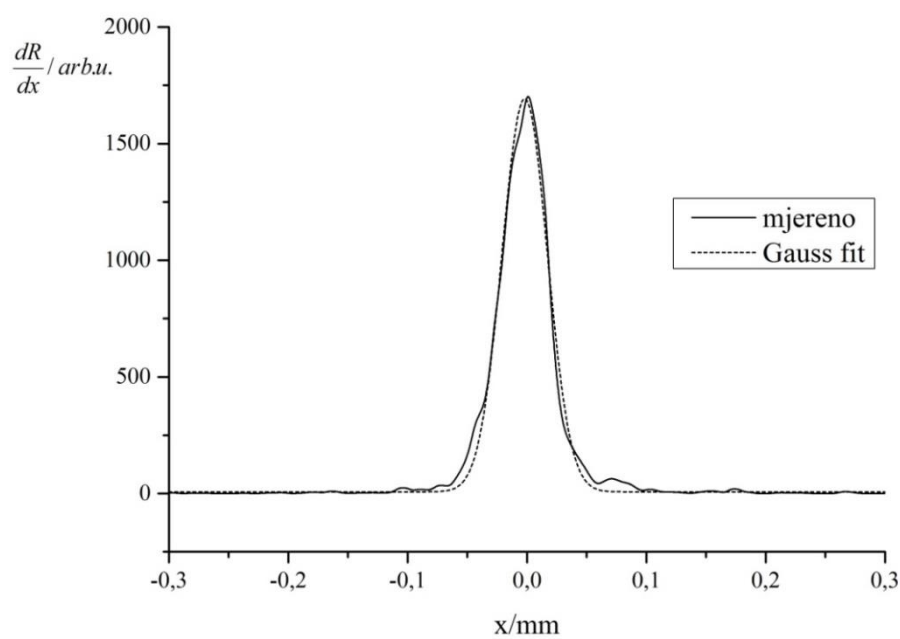
Slika 95. Xerox DC 250 - profil optičkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak



Navigator-1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,99153	5,507	0,003	0,0277	59,681



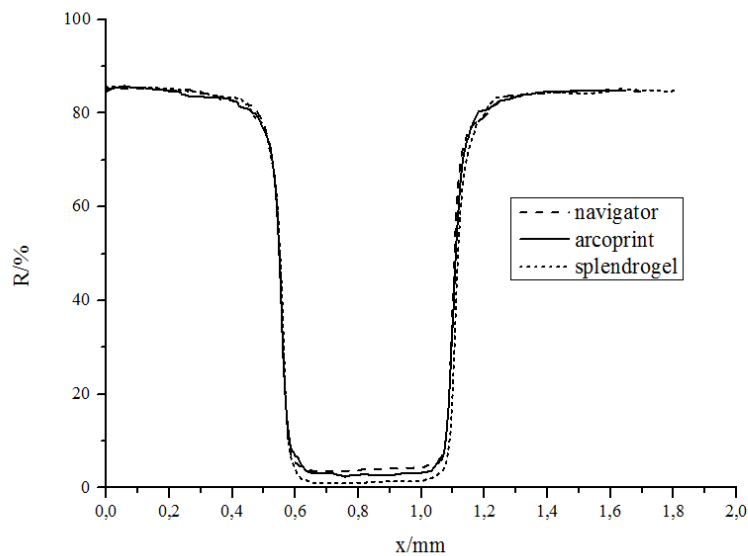
Arcoprint-1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,98102	12,352	0	0,0293	66,321



Splendorgel-1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,99012	7,146	0,002	0,0382	80,620

Slika 96. Xerox DC 250 - profil mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak

### 8.3.4.2. Nominalna debljina linije 0,5 mm

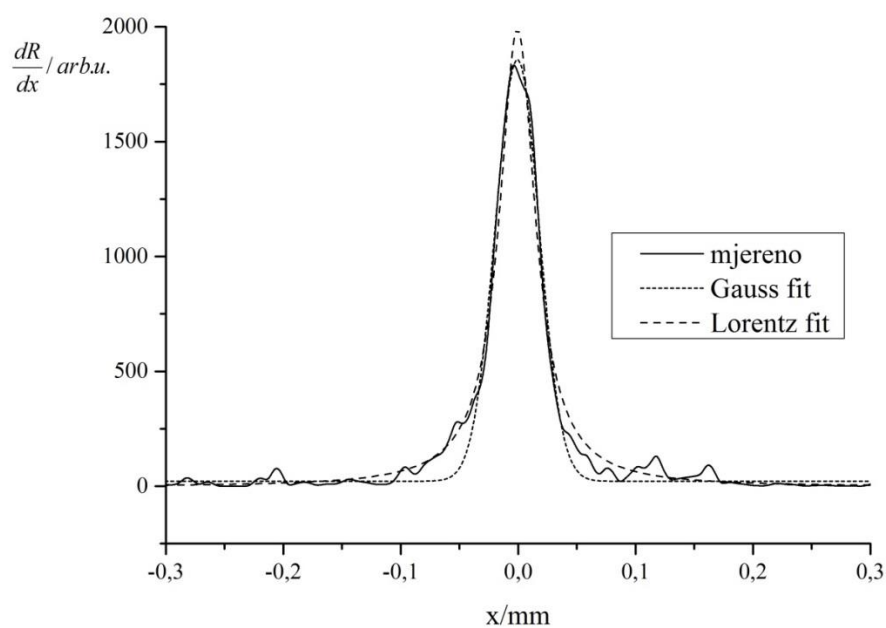


Slika 97. Xerox DC 250 - reflektancijski profil 0,5 mm

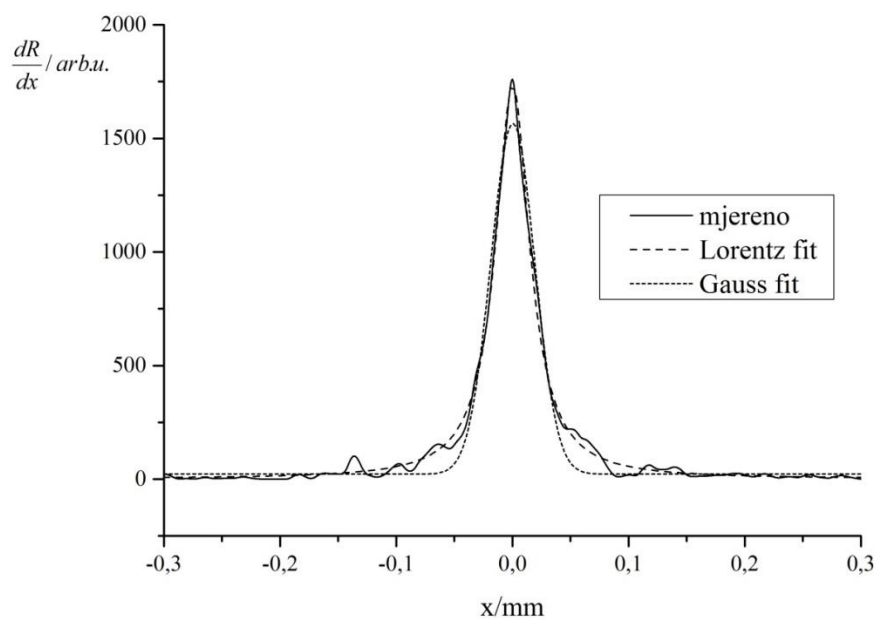
Kao i kod reflektancijskog profila nominalne širine 1mm, i u ovom slučaju (slika 97.) se vidi gotovo identičan izgled profila za otiske nastale na uredskom papiru s razlikom u intenzitetu duž otisnute linije u vrijednosti od 5%, također mogu se opet primijetiti strmi prijelazi u reflektancijskom profilu na položajima 0,6, 1,05 i 1,2 mm s obzirom na ishodište.

Pofili optičkog prirasta rastertonske vrijednosti (slika 98.) s visokim koeficijentima korelacije,  $>0,98$ , zadovoljavaju Lorentzovu funkciju, te pokazuju gotovo identične vrijednosti širine profila u sva tri slučaja.

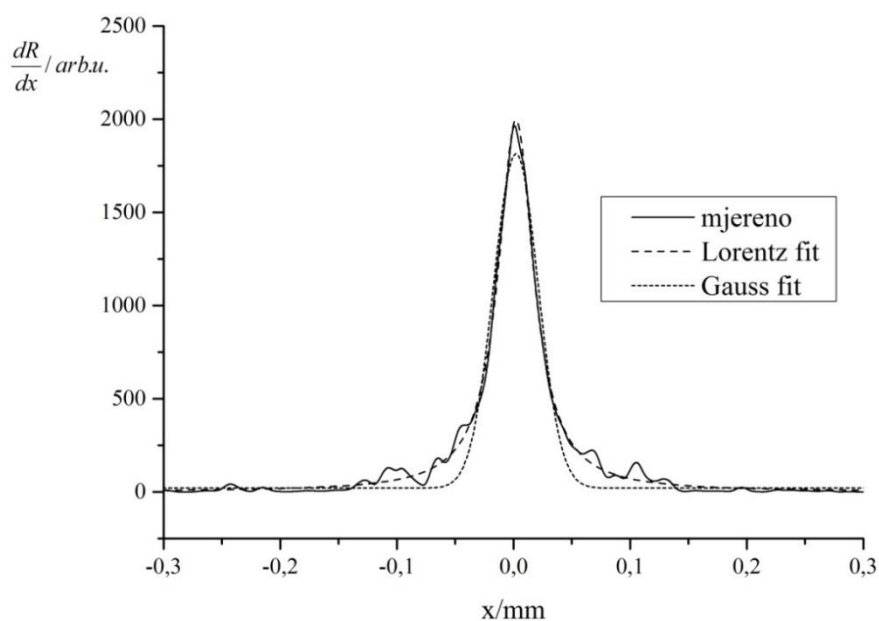
Kod razmatranja mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti, unatoč visokoj korelaciji svih profila s Gaussovom funkcijom ( $>0,98$ ) može se primijetiti očekivana nepravilnost u obliku profila mehaničkog prirasta za otisak reproduciran na ofetnom papiru, te je u skladu s tim i sama širina profila 40% veća od preostala dva.



Navigator-0,5mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Lorentz	0,98201	-3,15	0	0,0376	117,611
Gauss	0,97824	21,633	0	0,0375	86,239

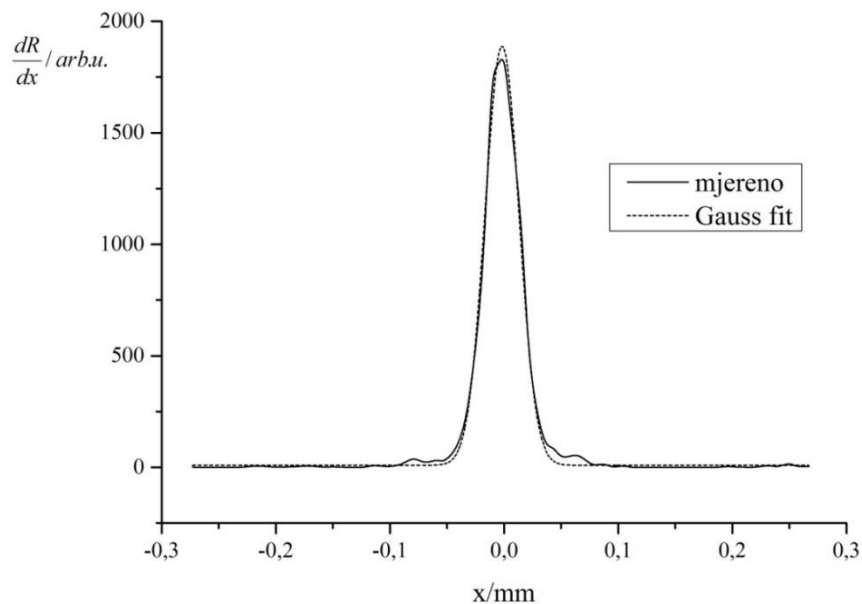


Arcoprint-0,5mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Lorentz	0,99018	1,312	0	0,0361	98,206
Gauss	0,9699	22,114	0	0,0379	73,431

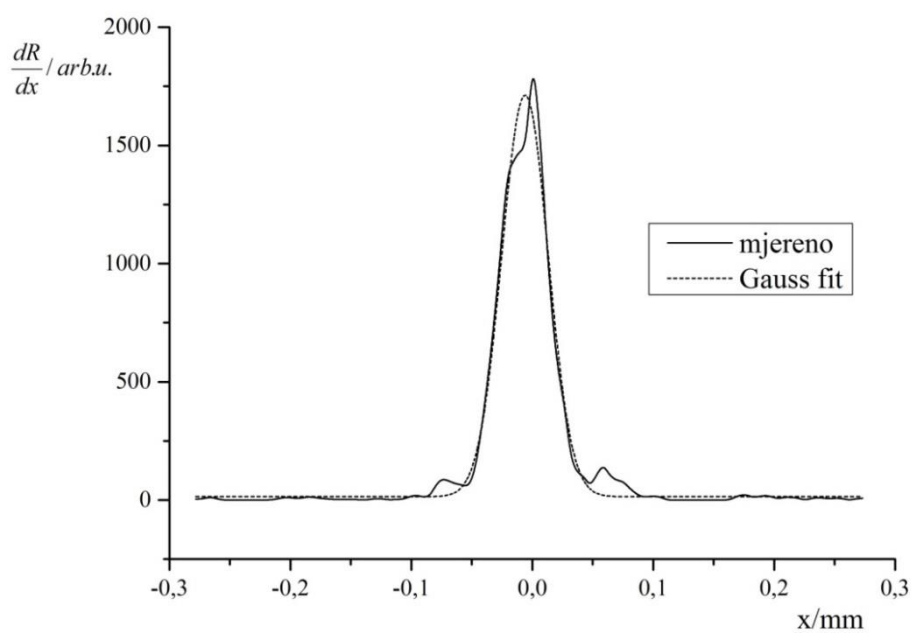


Splendorgel -0,5mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Lorentz	0,99183	2,230	0,002	0,0372	116,635
Gauss	0,96272	20,933	0,002	0,0384	86,480

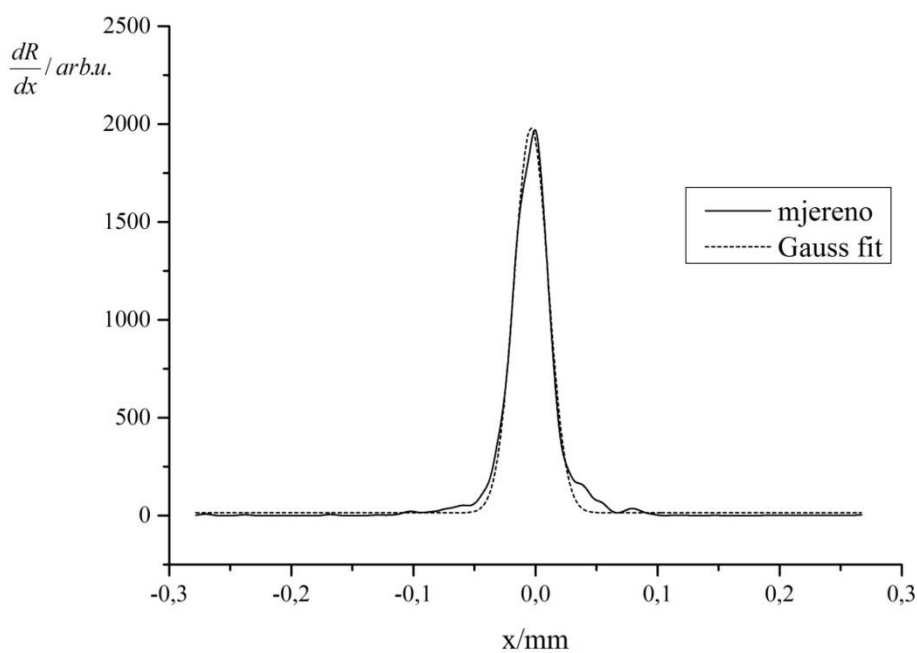
Slika 98. Xerox DC 250 - profil optičkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,5 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak



Navigator-0,5mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,99301	9,605	0,002	0,0297	70,031



Arcoprint-0,5mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,98108	14,498	0,006	0,0383	81,529

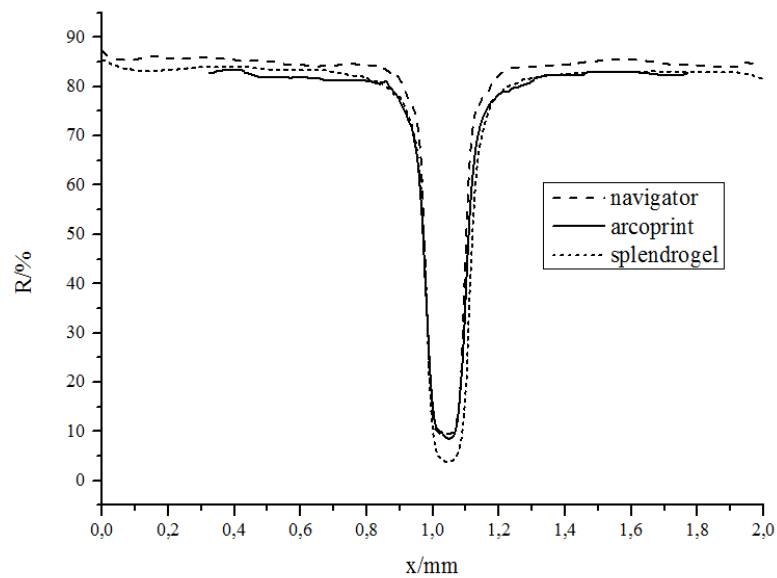


Splendorgel -0,5mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,99045	14,296	0,003	0,0279	68,859

Slika 99. Xerox DC 250 - profil mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,5 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak



### 8.3.4.3. Nominalna debljina linije 0,1 mm



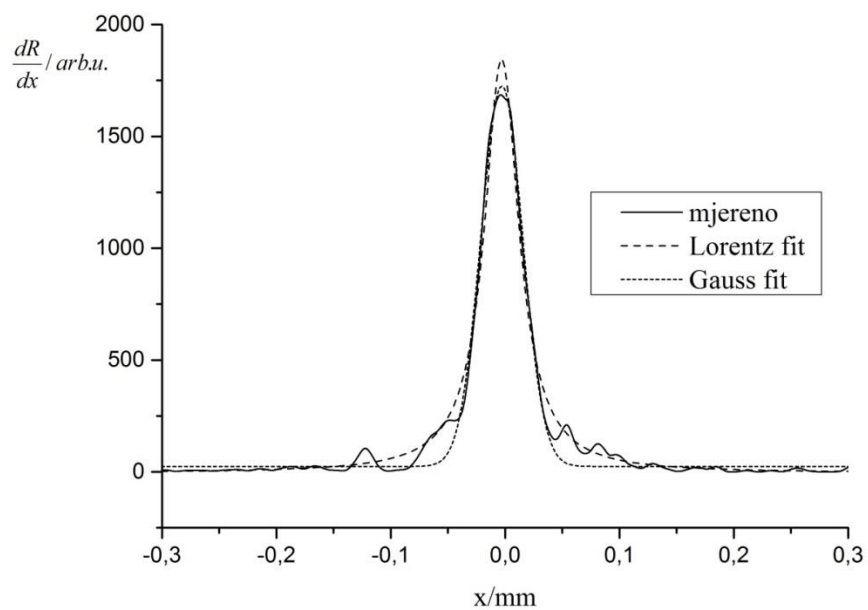
Slika 100. Xerox DC 250 - reflektancijski profil 0,1 mm

Iz slike 100. vidljivo je, kao i u prethodna dva slučaja, da otisak na papiru za digitalni tisak ima 5% veću apsorpciju, dok se kod otiska na ofsetnom papiru još jednom javljaju nagli prijelazi pri čemu se posebno ističe područje u kojem je refleksija 10%.

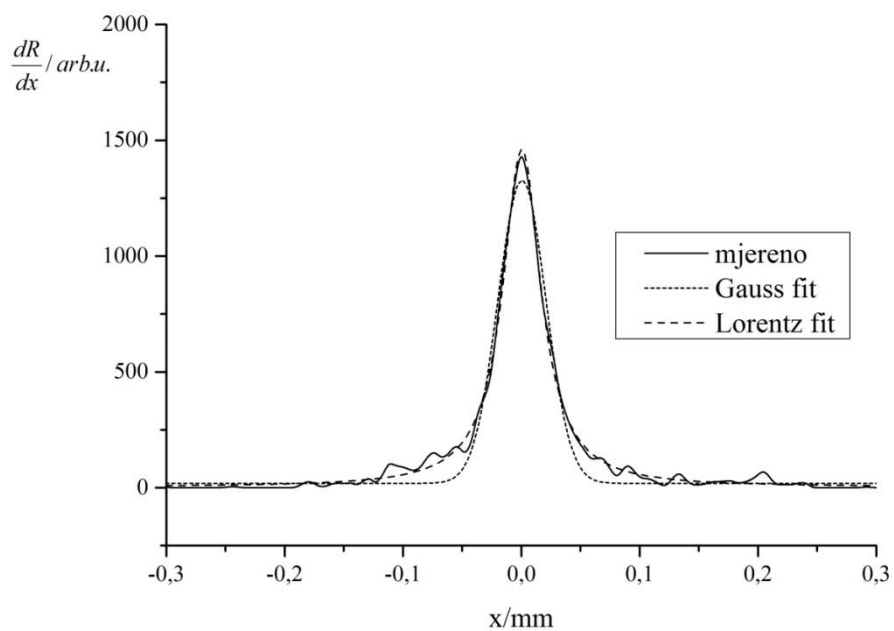
Za sva tri slučaja profil optičkog prirasta rastertonske vrijednosti (slika 101.) je pouzdanije opisan Lorentzovom funkcijom s približno konstantnom širinom profila.

Očekivano, profil mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti otiska na ofsetnom papiru pokazuje lagane nepravilnosti u svom izgledu ali unatoč tome i dalje je zadovoljavajuće opisan Gaussovom funkcijom (koeficijent korelacije  $>0,97$ ).

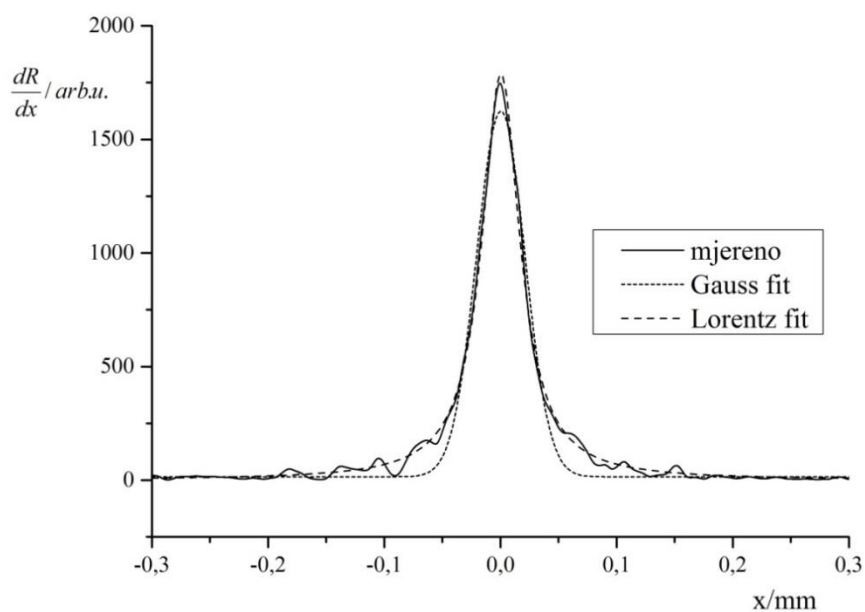
Za razliku od druga dva profila mehaničkog prirasta koji imaju približno jednaku širinu aproksimirane Gaussove funkcije, širina profila mehaničkog prirasta otiska na ofsetnom papiru je približno dvostruko veća.



Navigator-0,1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Lorentz	0,98331	14,806	0	0,0371	90,966
Gauss	0,97088	-1,143	0	0,0374	122,422

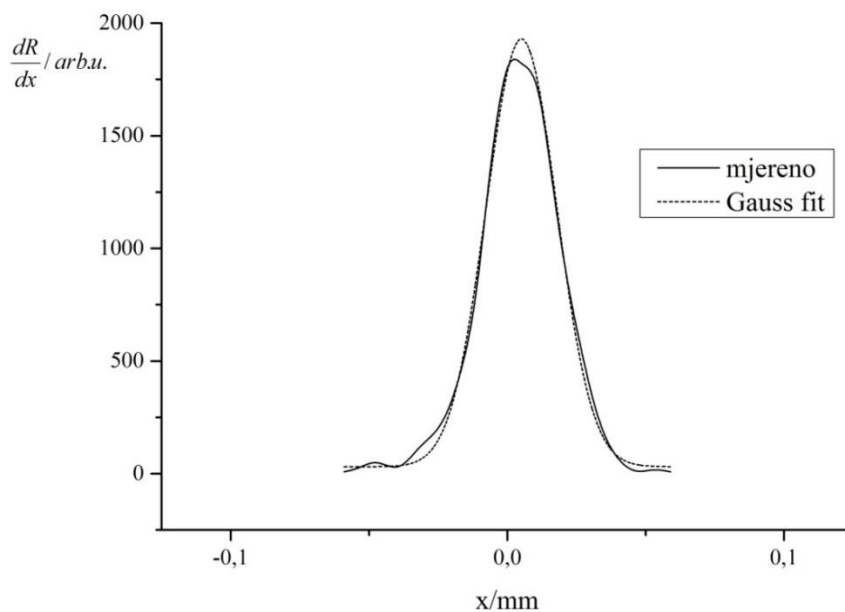


Arcoprint-0,1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Lorentz	0,99254	2,850	0	0,0392	88,817
Gauss	0,96962	19,029	0	0,0407	66,648

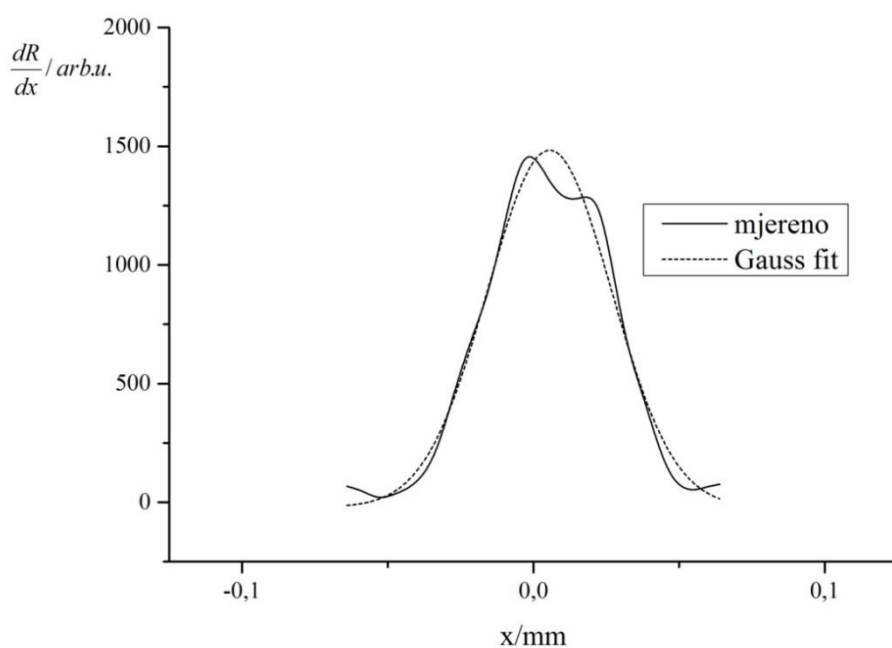


Splendorgel -0,1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Lorentz	0,9938	1,172	0	0,0399	112,216
Gauss	0,97466	15,109	0	0,0417	84,147

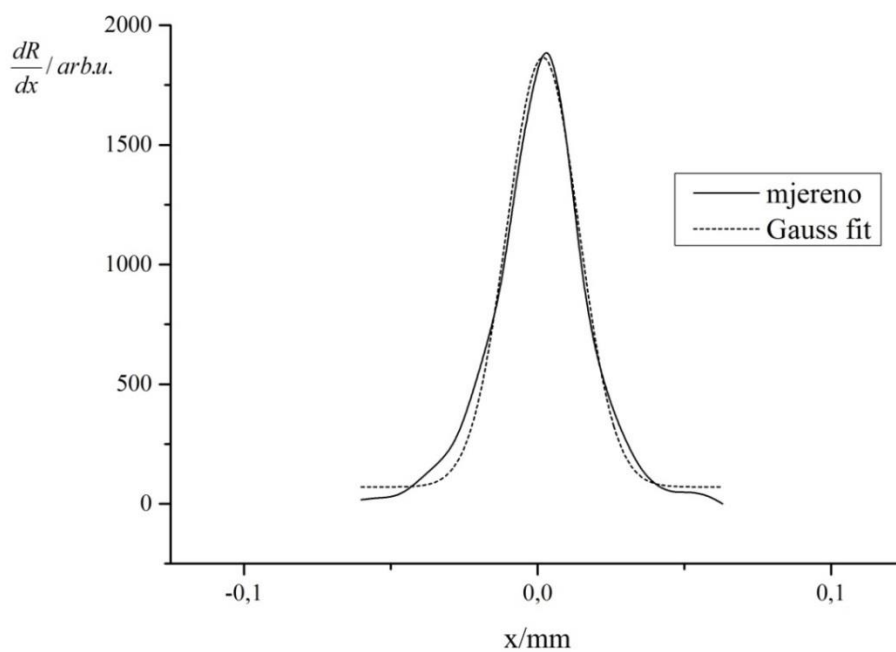
Slika 101. Xerox DC 250 - profil optičkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak



Navigator-0,1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,9923	30,792	0,005	0,0256	60,869



Arcoprint-0,1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,97355	20,993	0,006	0,0427	80,438

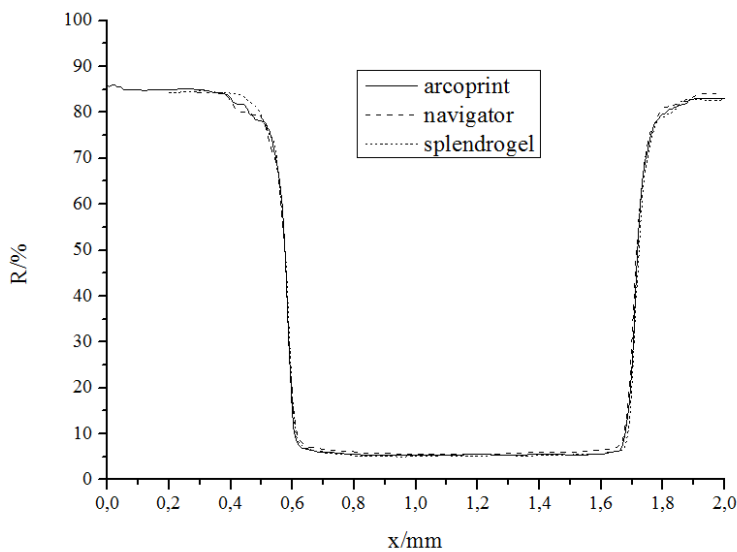


Splendorgel -0,1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,98548	70,667	0,002	0,0245	55,077

Slika 102. Xerox DC 250 - profil mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak

### 8.3.5. Xerox DT 6135

#### 8.3.5.1. Nominalna debljina linije 1 mm

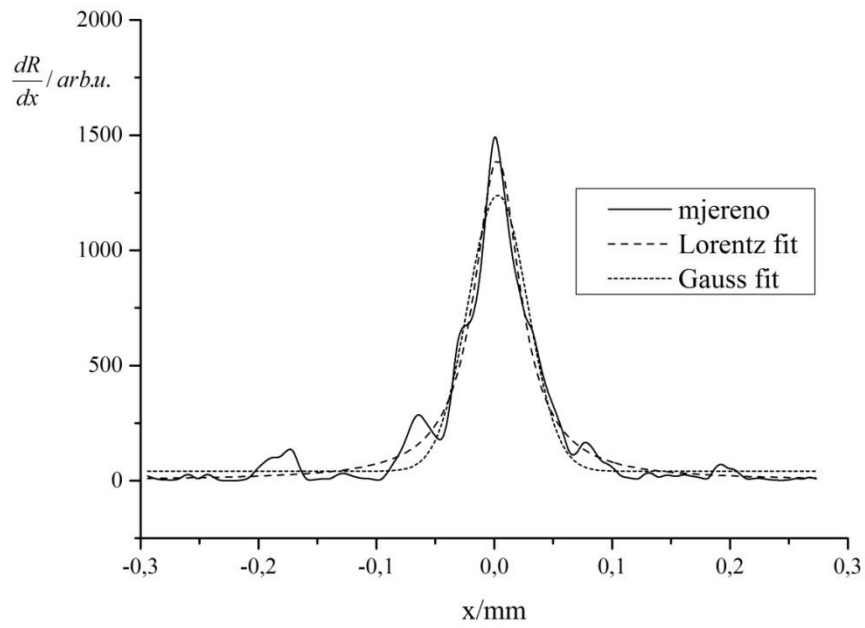


Slika 103. Xerox DT 6135 - reflektancijski profil 1 mm

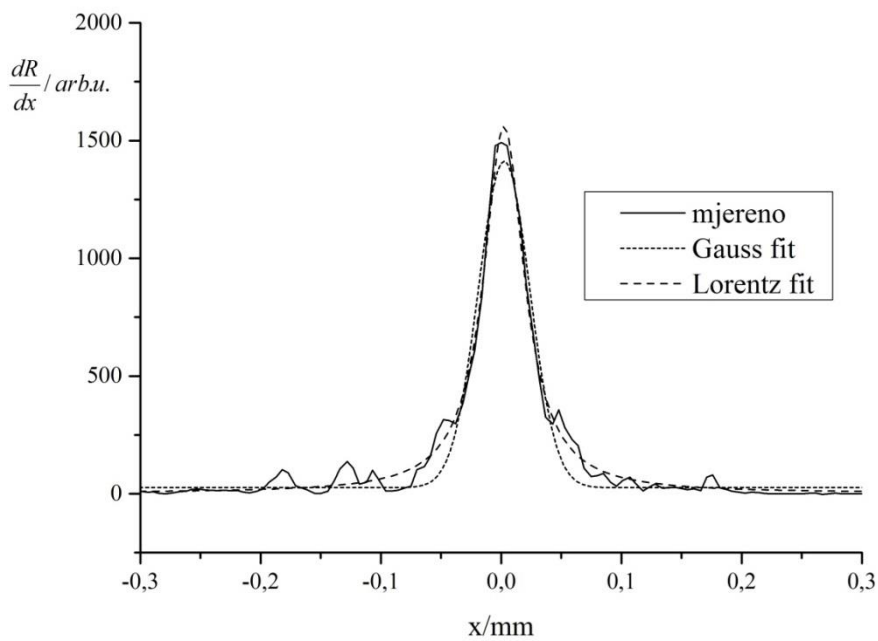
Reflektancijski profili svih otisaka (slika 103.) pokazuje ujednačenost svih triju profila s umjerenim nepravilnostima u području vrijednosti refleksije između 80 i 85% što će zasigurno utjecati na izgled profila optičkog prirasta rasteronske vrijednosti.

Sami oblici profila optičkog prirasta (slika 104.) jasno prikazuju izražen utjecaj šuma u području krila koji nedvojbeno smanjuje koeficijent korelacije s aproksimiranim funkcijama, ali unatoč tome i dalje se može uočiti bolja aproksimiranost Lorentzovom funkcijom.

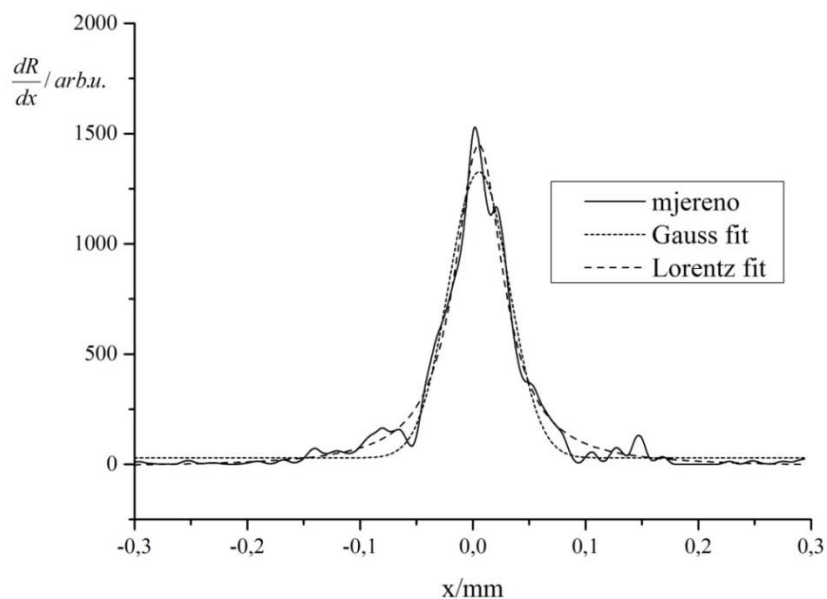
Budući da reflektancijski profili otisaka ne pokazuju šum u područjima koji pripadaju mehaničkom prirastu rasteronske vrijednosti, sva tri profila su gotovo idealno aproksimirana Gaussovom funkcijom, te imaju slične vrijednosti širine profila s tim sa mehanički profil otiska na ofetnom papiru lagano odstupa zbog nešto strmijeg prijelaza između otisnutog i neotisnutog dijela što se manifestira užim profilom.



Navigator-1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Lorentz	0,96759	0,849	0,003	0,048	104,933
Gauss	0,94366	41,1775	0,003	0,0508	76,262

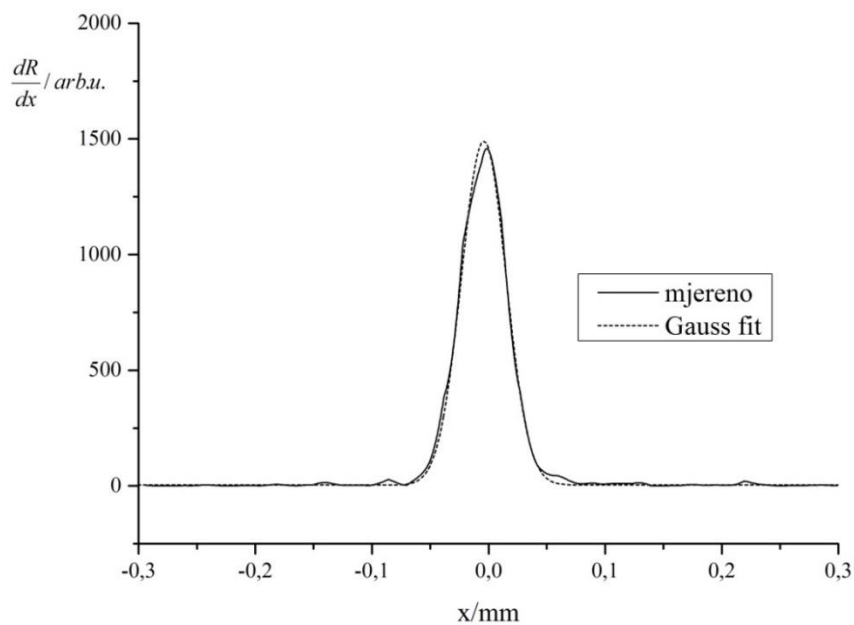


Arcoprint-1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Lorentz	0,98665	2,711	0,002	0,0414	101,245
Gauss	0,96353	26,236	0,002	0,0430	74,711

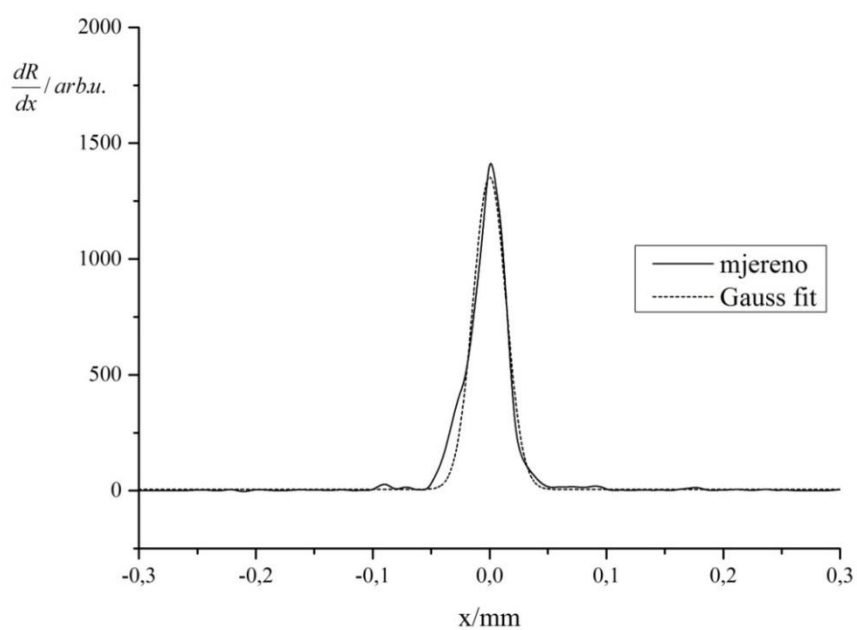


Splendorgel -1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Lorentz	0,97517	-12,986	0,005	0,0531	122,089
Gauss	0,96439	29,017	0,005	0,0536	87,187

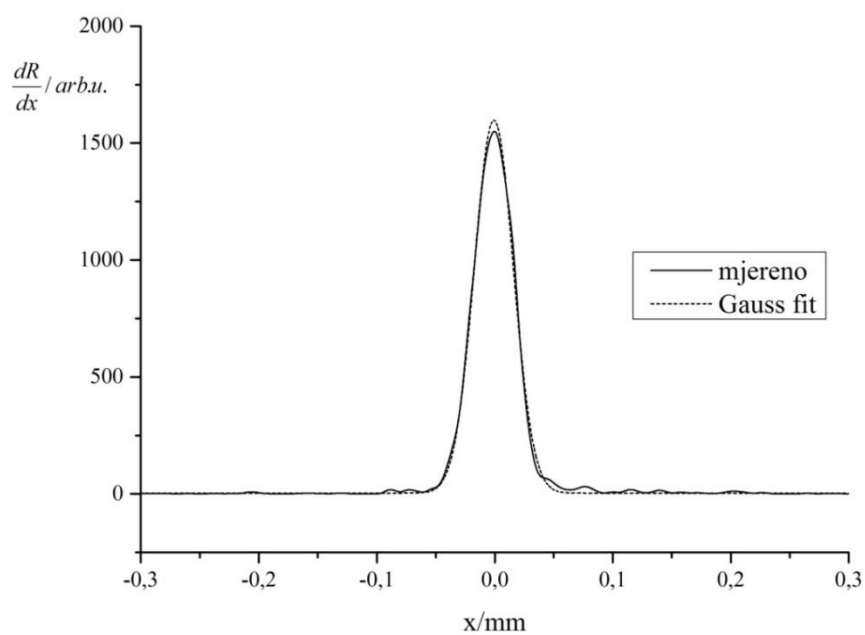
Slika 104. Xerox DT 6135 - profil optičkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak



Navigator-1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,99498	3,964	0,004	0,0384	71,543



Arcoprint-1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,9744	5,130	0	0,0281	47,595

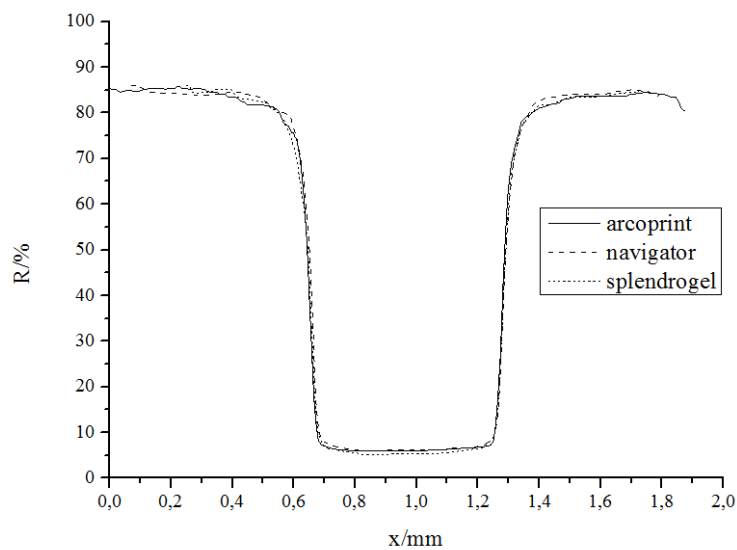


Splendorgel-1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,99718	3,653	0	0,0332	66,388

Slika 105. Xerox DT 6135 - profil mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak



### 8.3.5.2. Nominalna debljina linije 0,5 mm

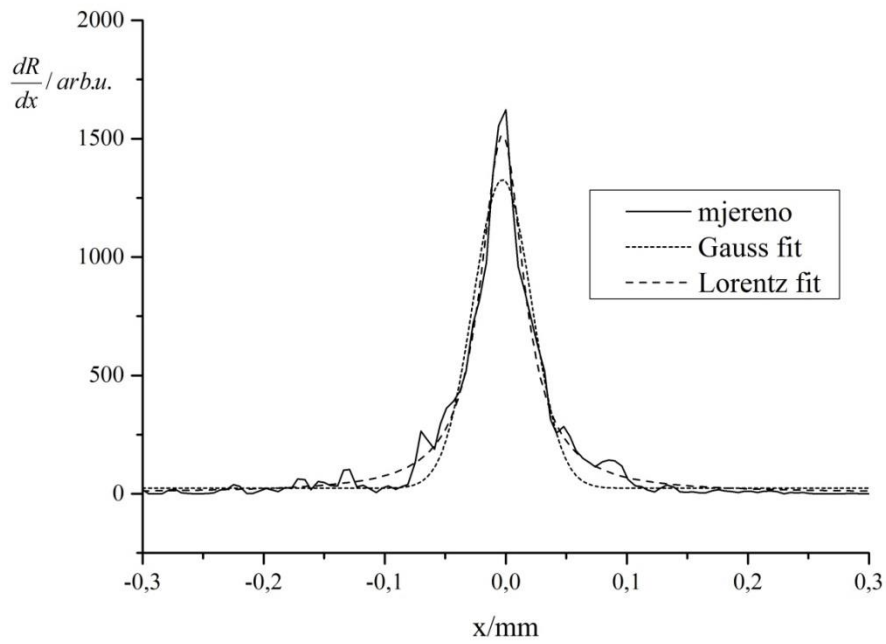


Slika 106. Xerox DT 6135 - reflektancijski profil 0,5 mm

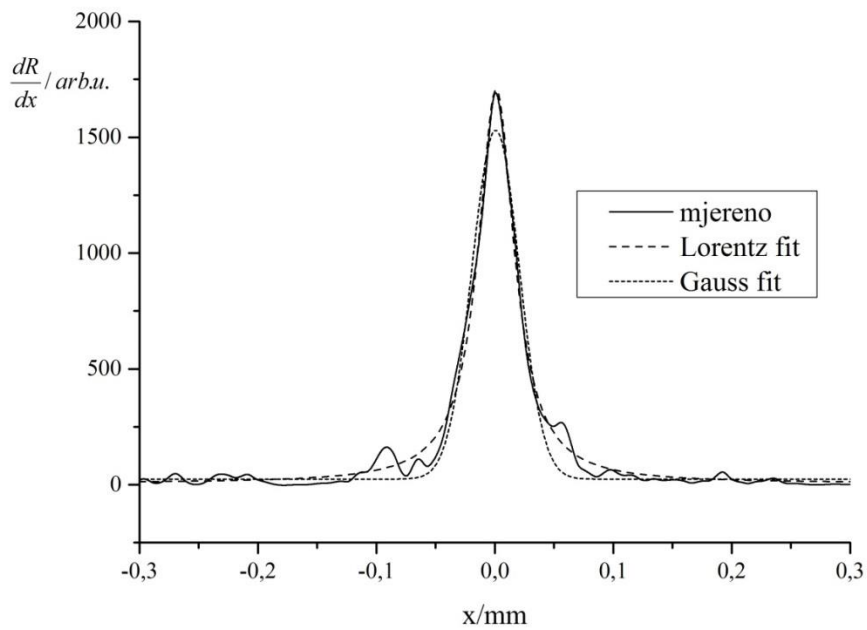
Kao i u slučaju reflektancijskih profila reproduciranih linija nominalne širine 1 mm, i ovdje se može uočiti konzistentnost otisaka u području do 70% reflektancije, iznad čega se uočava pojava šuma (slika 106.).

Samim time, profili optičkog prirasta rastertonske vrijednosti (slika 107.) sadrže određenu količinu šuma koja bitno ne utječe na superiornost Lorentzove funkcije (koeficijent korelacije je u sva tri slučaja veći za Lorentzovu funkciju u usporedbi s Gaussovom).

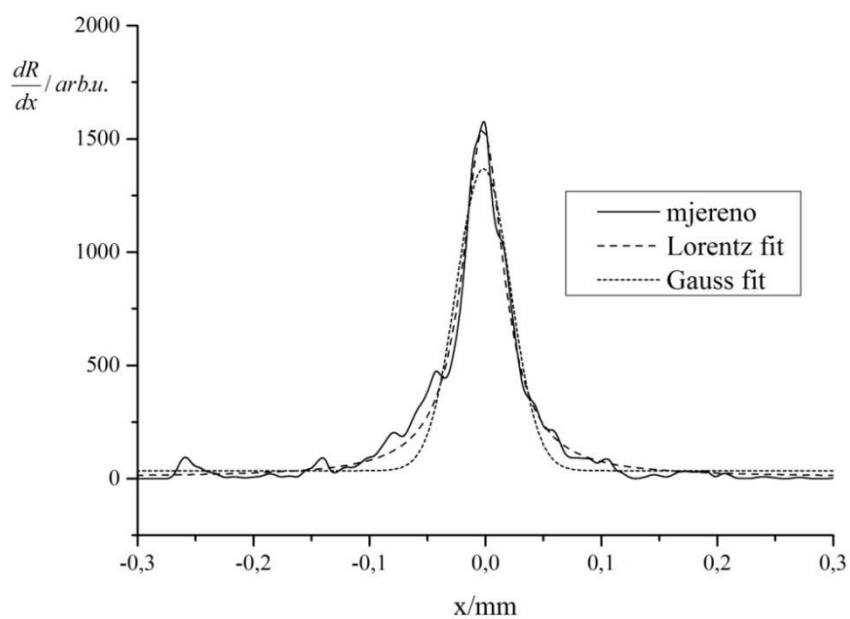
Mehanički prirast rastertonske vrijednosti (slika 108.) je za sva tri otiska u potpunosti opisan Gaussovom funkcijom (koeficijent korelacije  $>0,99$ ) s minimalnim razlikama u samoj širini profila.



Navigator-0,5mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Lorentz	0,98283	4,027	0,002	0,0436	103,556
Gauss	0,953	23,841	0,002	0,0483	78,883

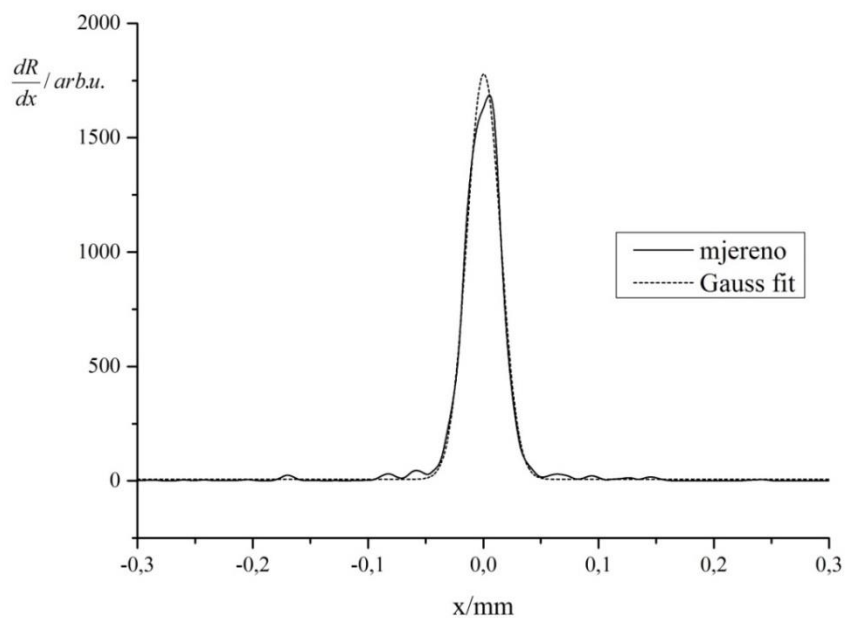


Arcoprint-0,5mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Lorentz	0,98385	6,362	0,001	0,0374	100,050
Gauss	0,96685	24,239	0	0,040	75,651

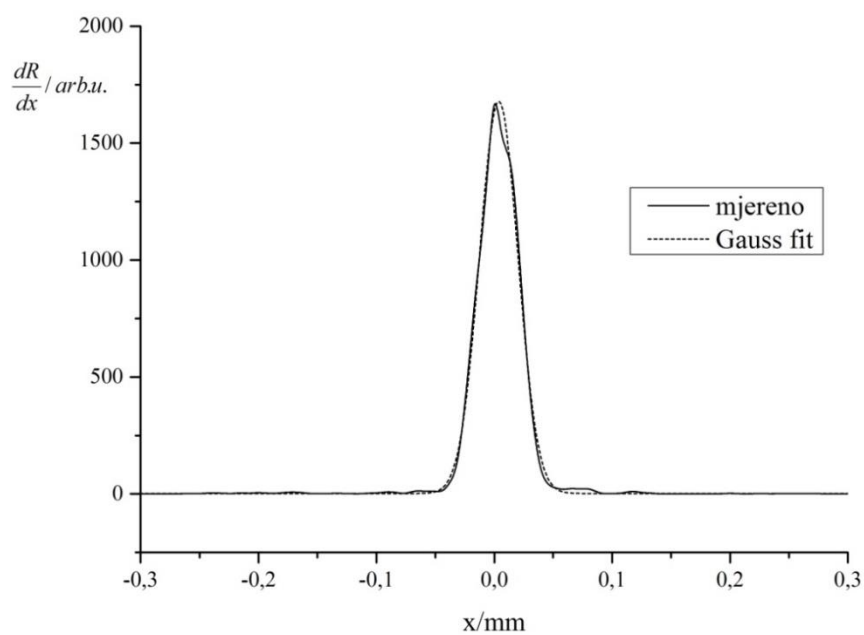


Splendorgel -0,5mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Lorentz	0,97557	6,458	0,002	0,0443	106,642
Gauss	0,93892	35,189	0,002	0,0469	78,467

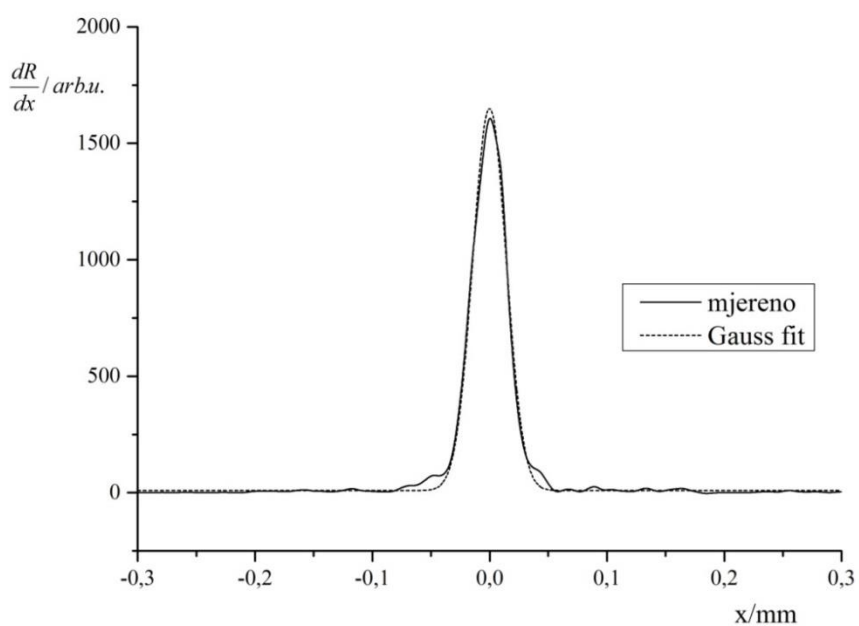
Slika 107. Xerox DT 6135 - profil optičkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,5 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak



Navigator-0,5mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,99062	6,714	0	0,0292	64,777



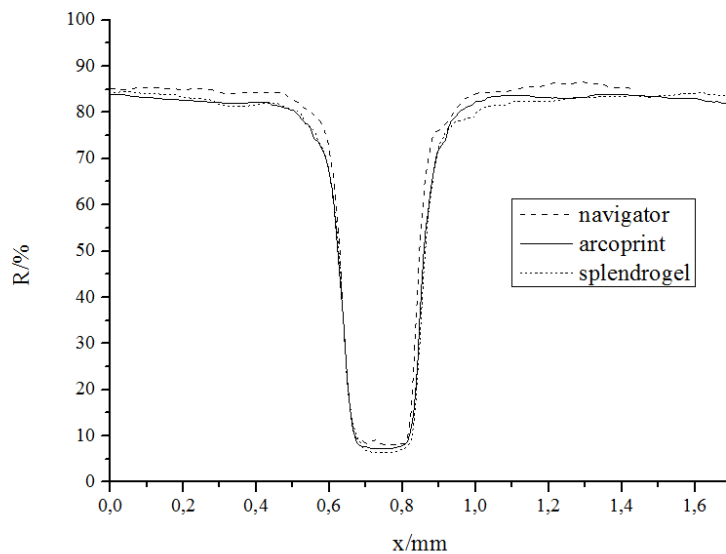
Arcoprint-0,5mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,99383	2,158	0,003	0,0328	68,879



Splendorgel -0,5mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,99379	9,413	0	0,0286	58,829

Slika 108. Xerox DT 6135 - profil mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,5 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak

### 8.3.5.3. Nominalna debljina linije 0,1 mm

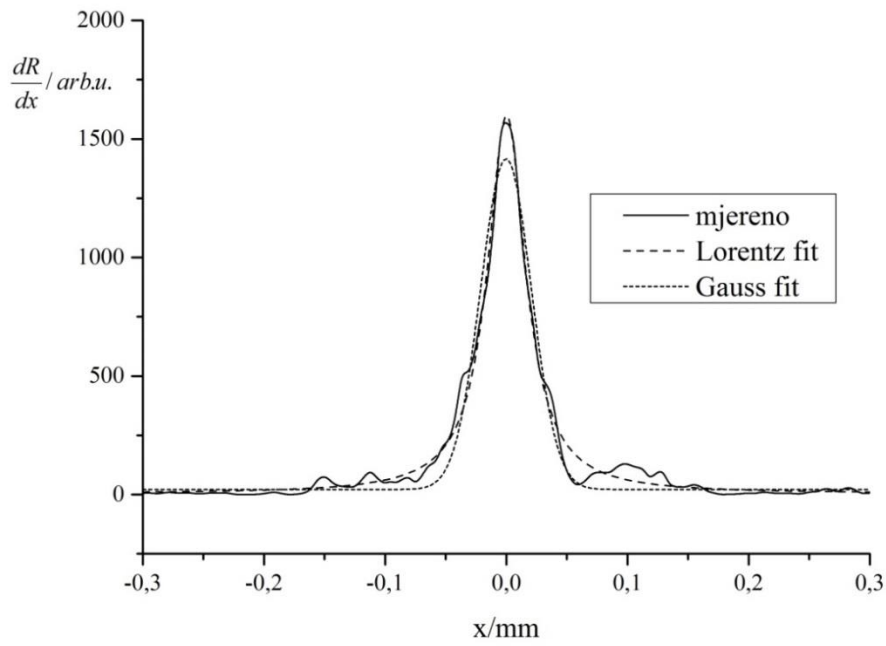


Slika 109. Xerox DT 6135 - reflektancijski profil 0,1 mm

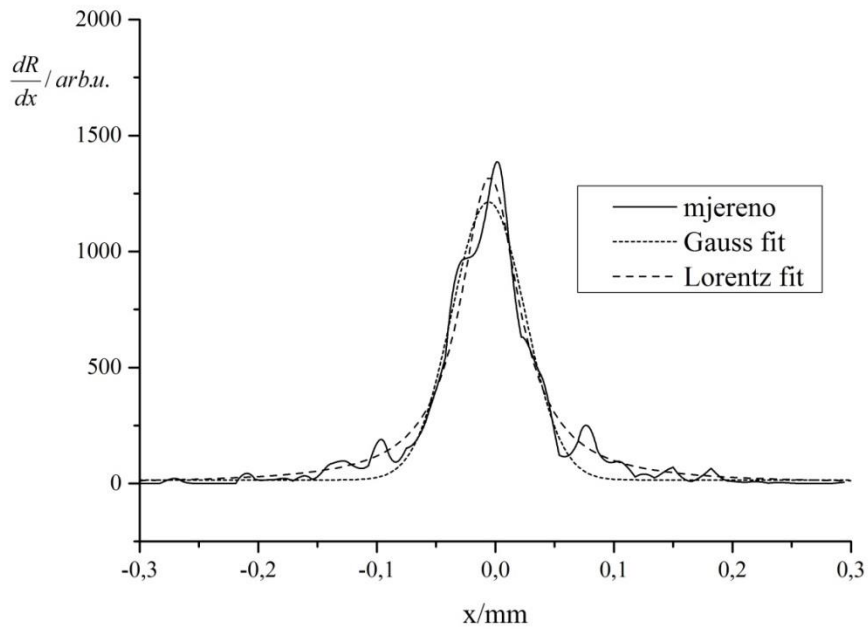
Reflektancijski profili (slika 109.) ukazuju na nešto veću refleksiju otiska na uredskom papiru, kao i uži profil, te neravnomjeran nanos bojila (područje <10% refleksije), dok se kod otisaka na ofsetnom papiru i papiru za digitalni tisak već uobičajeno uočava šum pri refleksiji svjetlosti iznad 75%.

Profili optičkih prirasta rastertonske vrijednosti su i dalje bolje aproksimirani Lorentzovom funkcijom (koeficijent korelacije 0,96-0,99). Same širine profila Lorentzovih funkcija se bitno razlikuju i kreću se u rasponu od 0,0385 mm za otisak na uredskom papiru do 0,060 mm za otisak na ofsetnom papiru.

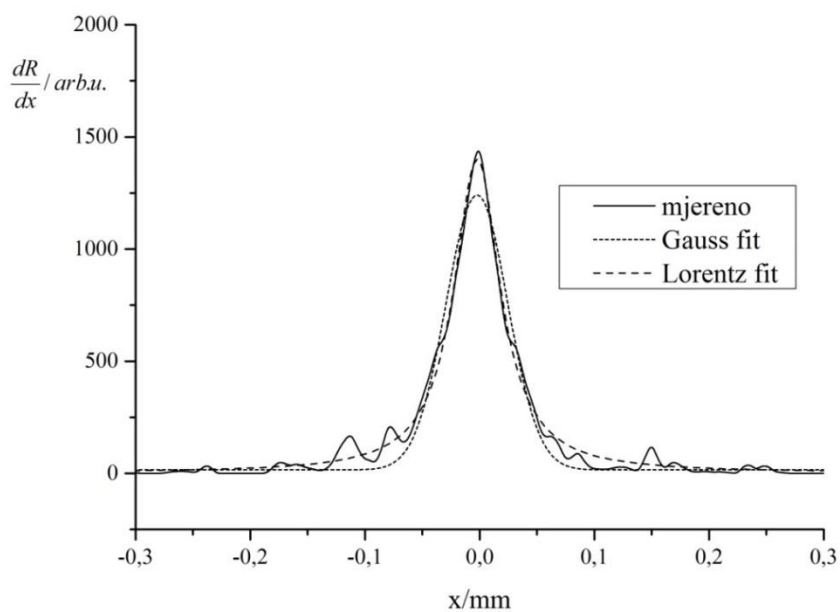
Dijagrami koji prikazuju profile mehaničkih prirasta rastertonske vrijednosti (slika 111.) izvrsno se podudaraju s Gaussovom funkcijom i imaju približno jednake vrijednosti širine profila.



Navigator-0,1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Lorentz	0,98437	4,578	0	0,0385	96,466
Gauss	0,9629	21,588	0	0,0421	73,573

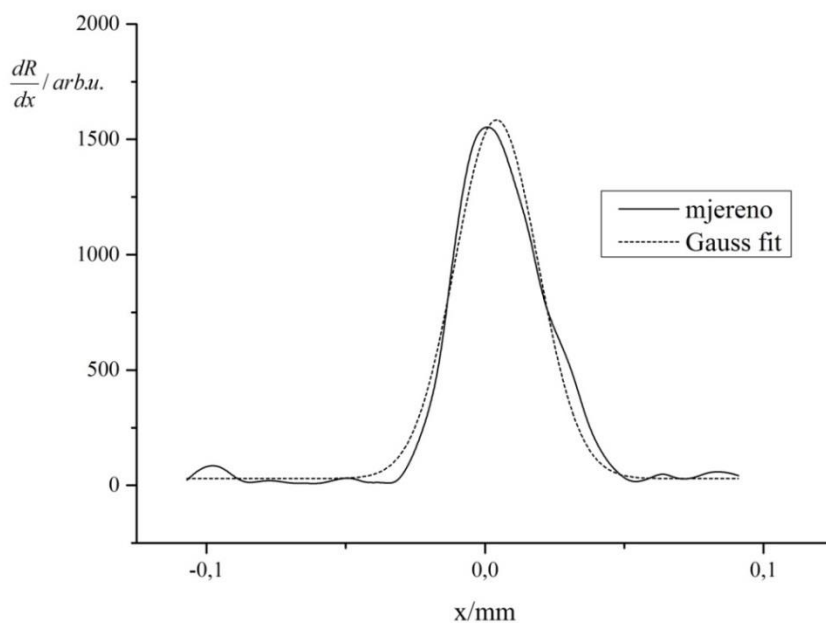


Arcoprint-0,1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Lorentz	0,96315	1,167	0,005	0,060	124,826
Gauss	0,95334	15,014	0,005	0,0615	92,371

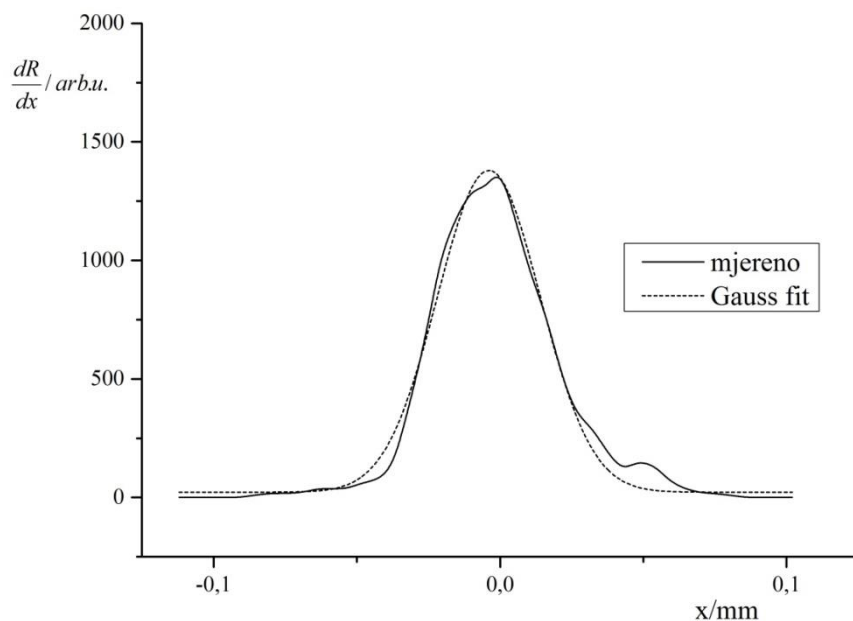


Splendorgel -0,1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Lorentz	0,98557	2,701	0,002	0,0492	108,083
Gauss	0,96457	15,441	0,002	0,0539	82,785

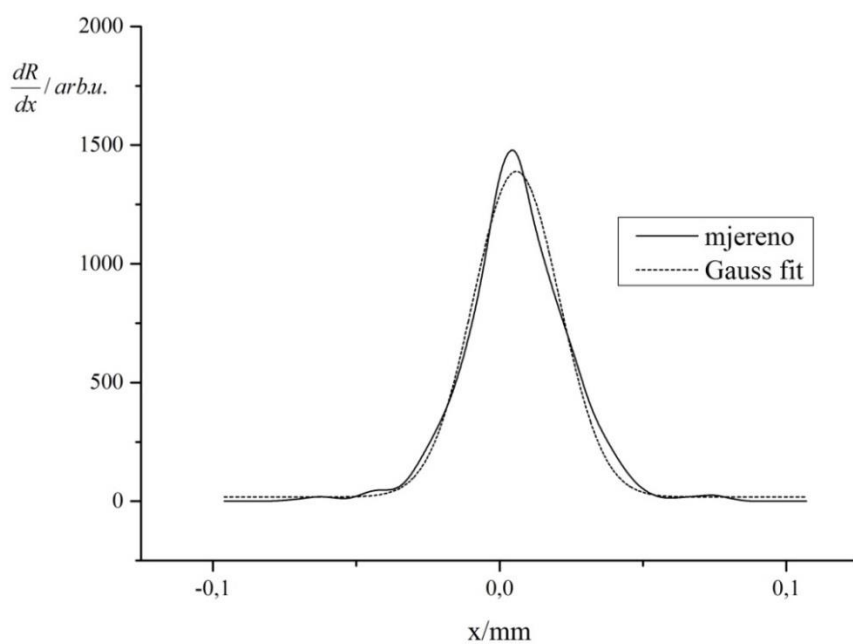
Slika 110. Xerox DT 6135 - profil optičkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak



Navigator-0,1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,97619	29,462	0,004	0,0297	57,890



Splendorgel -0,1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,98668	24,855	0,004	0,0352	61,691



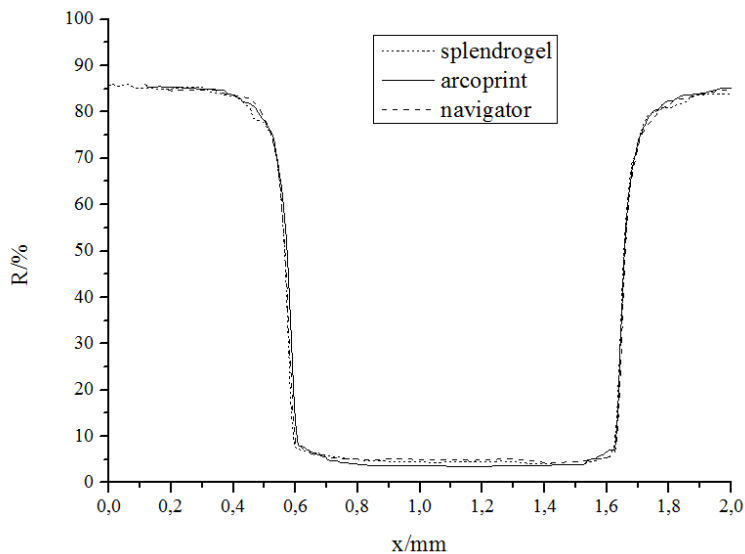
Arcoprint-0,1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,98431	18,239	0,005	0,0302	51,929

Slika 111. Xerox DT 6135 - profil mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak



### 8.3.6. HP 9050 Laser Jet

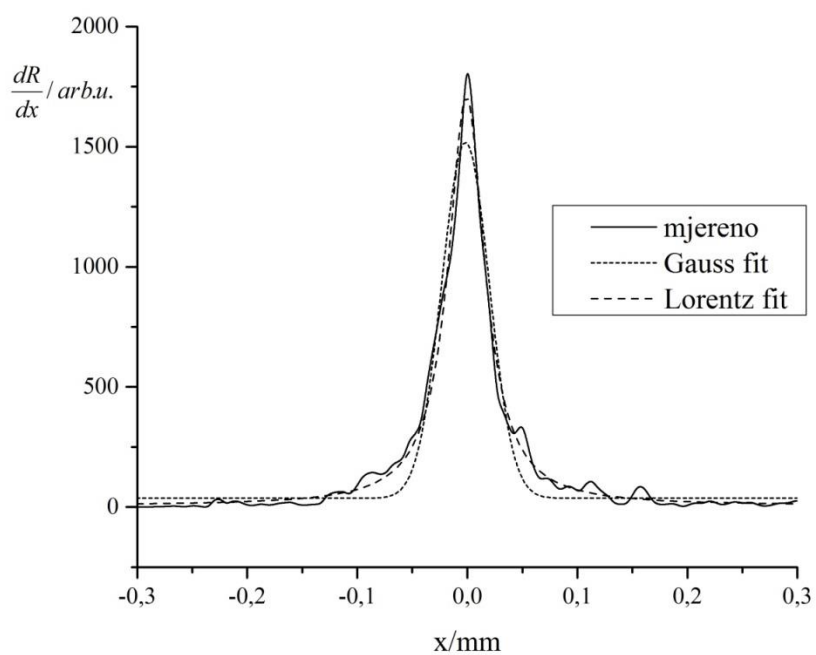
#### 8.3.6.1. Nominalna debljina linije 1 mm



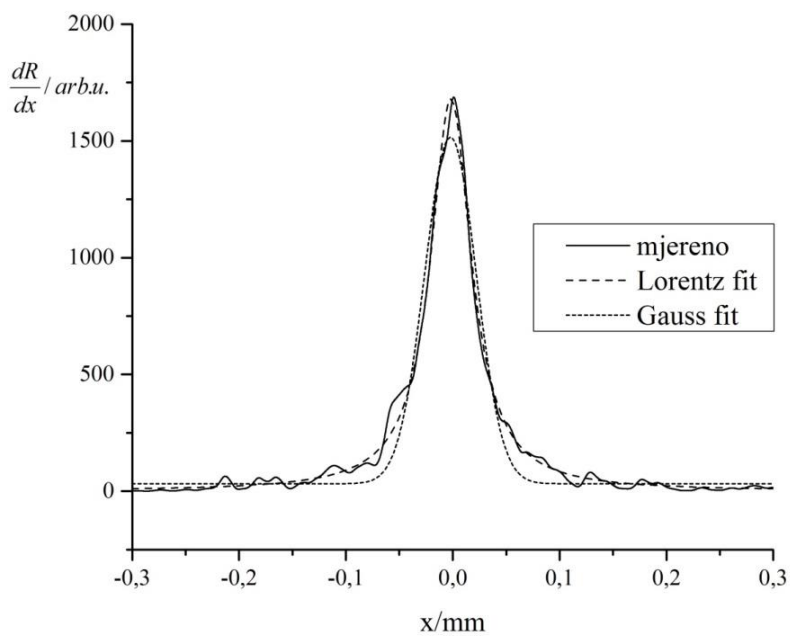
Slika 112. HP 9050 Laser Jet - reflektancijski profil 1 mm

Iz dijagrama reflektancijskih profila (slika 112.) primjećuje se nešto veća apsorpcija otiska na ofsetnom papiru koji ujedno ima drugačiji profil otiska u usporedbi s reprodukcijom na uredskom papiru i papiru za digitalni tisak. Pri vrijednostima refleksije od 80% uočava se lagani šum koji nije previše utjecao na izgled profila optičkih prirasta (slika 113.) koji u sva tri slučaja odgovarajuće koreliraju s Lorentzovom funkcijom (koeficijent korelacije  $>0,97$ ).

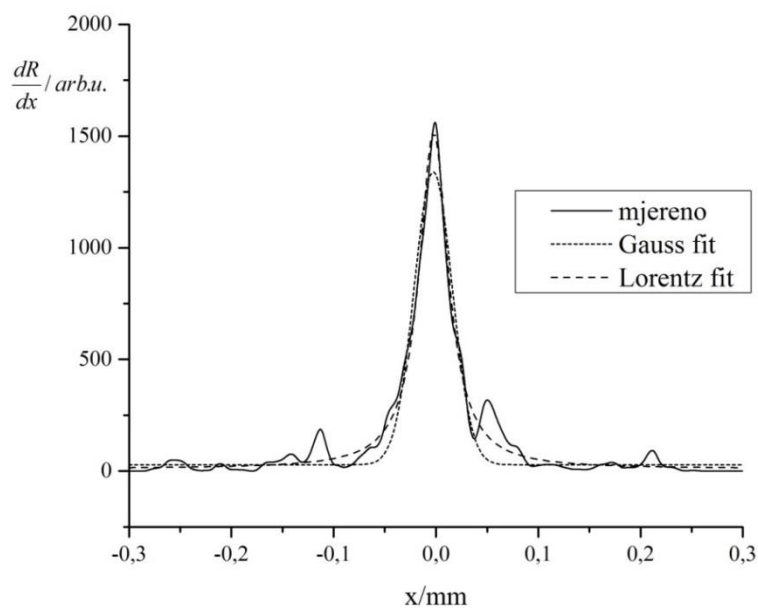
Mehanički prirast rastertonske vrijednosti je u sva tri slučaja adekvatno opisan Gaussovom funkcijom (koeficijent korelacije  $>0,97$ ), s očekivanim razlikama širine profila mehaničkog prirasta otiska na ofsetnom papiru u komparaciji s preostala dva otiska, za koja možemo ustvrditi konstantnu širinu profila.



Navigator-1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Lorentz	0,98344	5,745	0	0,0405	108,126
Gauss	0,95009	36,754	-0,002	0,0431	79,902

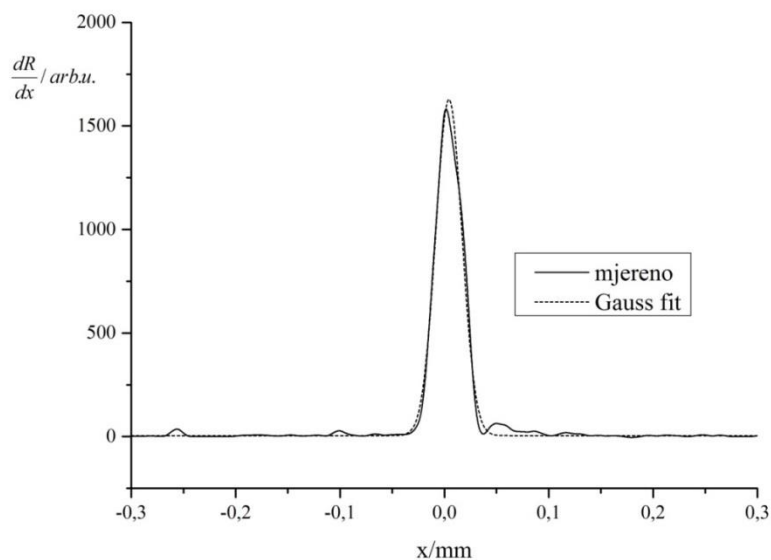


Arcoprint-1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Lorentz	0,98983	0,855	-0,002	0,0465	122,749
Gauss	0,96226	32,303	-0,002	0,0483	89,719

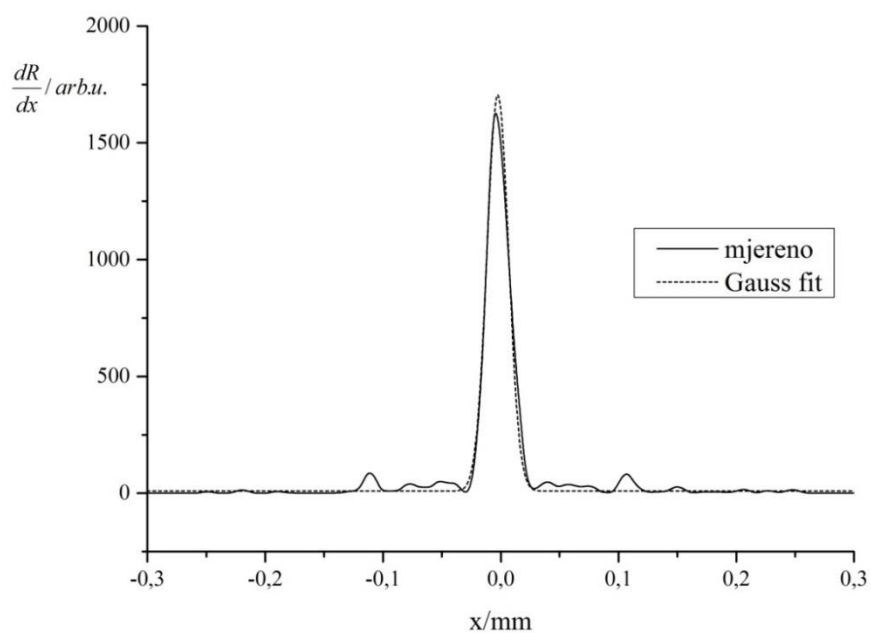


Splendorgel -1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Lorentz	0,9708	10,433	-0,002	0,0345	81,728
Gauss	0,93233	28,504	-0,003	0,0372	61,077

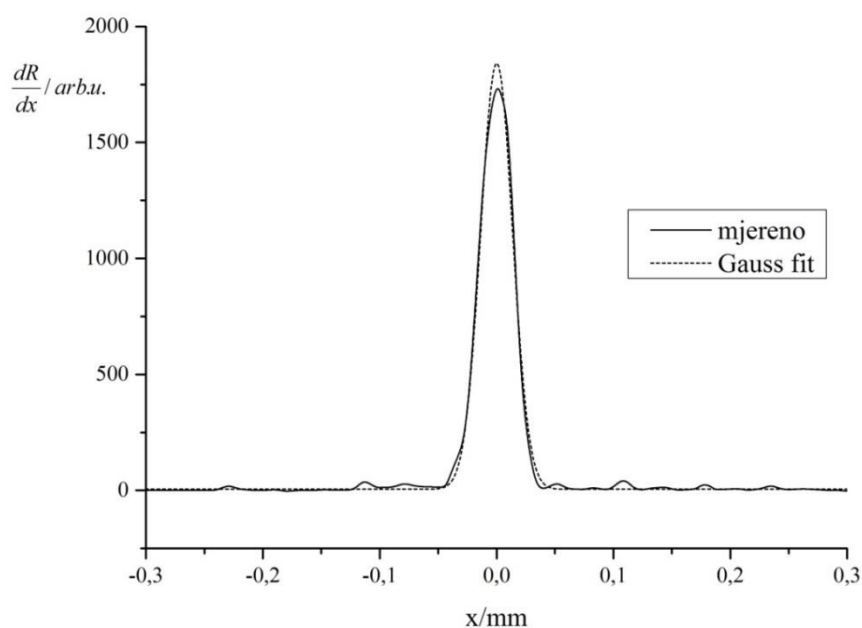
Slika 113. HP 9050 Laser Jet - profil optičkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak



Navigator-1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,98852	4,886	0,004	0,0251	51,087



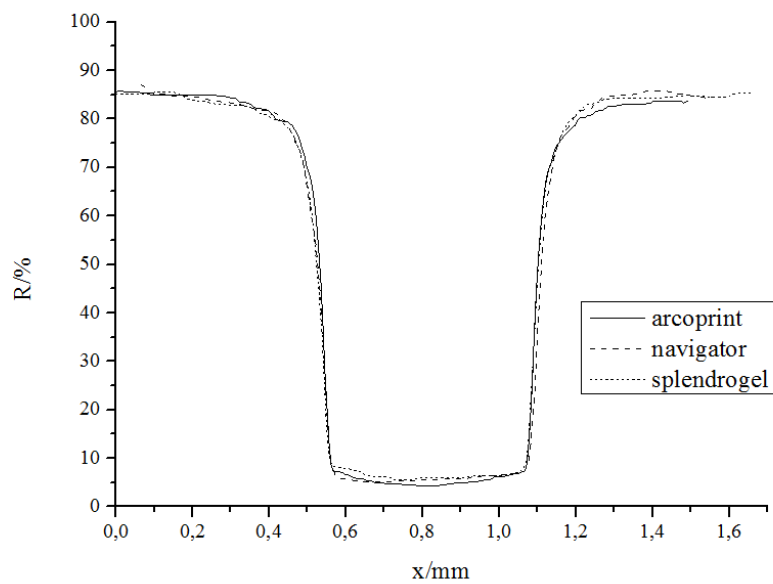
Arcoprint-1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,98526	8,841	-0,002	0,0183	38,959



Splendorgel -1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,9943	5,149	0	0,0274	63,054

Slika 114. HP 9050 Laser Jet - profil mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak

### 8.3.6.2. Nominalna debljina linije 0,5 mm

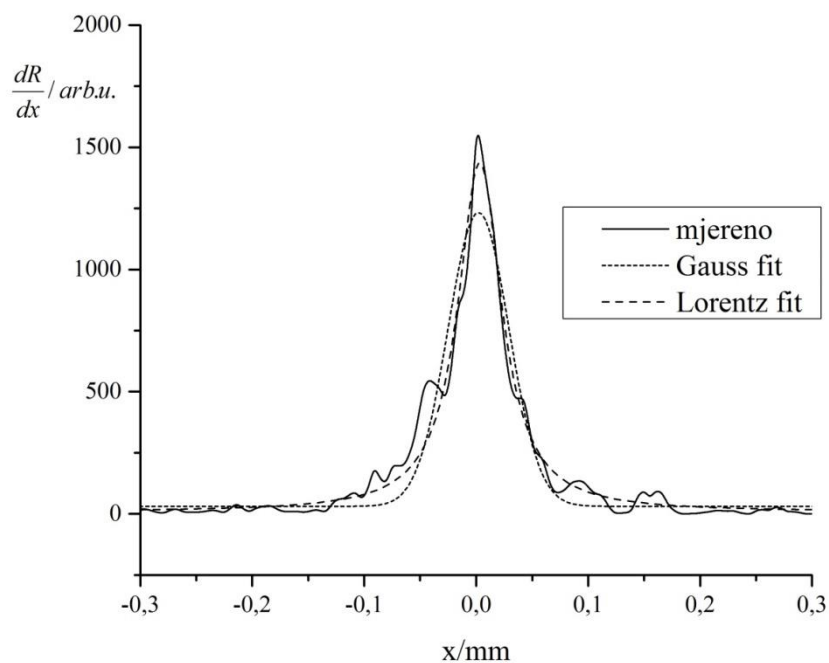


Slika 115. HP 9050 Laser Jet - reflektancijski profil 0,5 mm

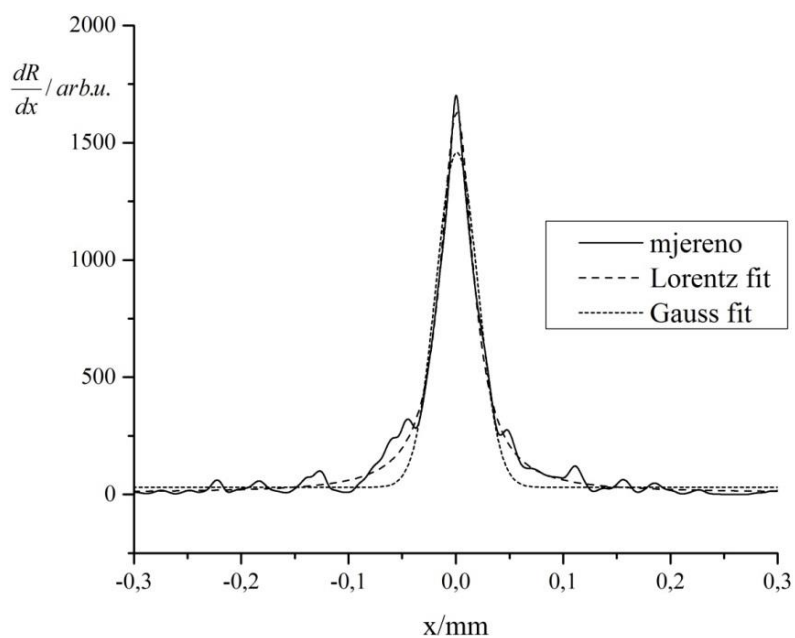
Dijagrami reflektancijskih profila otisaka (slika 115.) naznačuju nešto širi profil otiska na uredskom papiru uz šum na desnom krilu (područje iznad 80% reflektirane svjetlosti) i konstantne vrijednosti u području visoke apsorpcije. Otisci na ofsetnom papiru i na papiru za digitalni tisak imaju jednak izgled profila na otisnutom dijelu uz infinitezimalnu razliku u količini apsorpcije.

Profili optičkog prirasta rastertonske vrijednosti imaju nešto niži stupanj korelacije s Lorentzovom funkcijom ali i dalje veći o odnosu na Gaussovu funkciju pri čemu je razlika u samoj širini profila Lorentzovih funkcija unutar 30% (slika 116.).

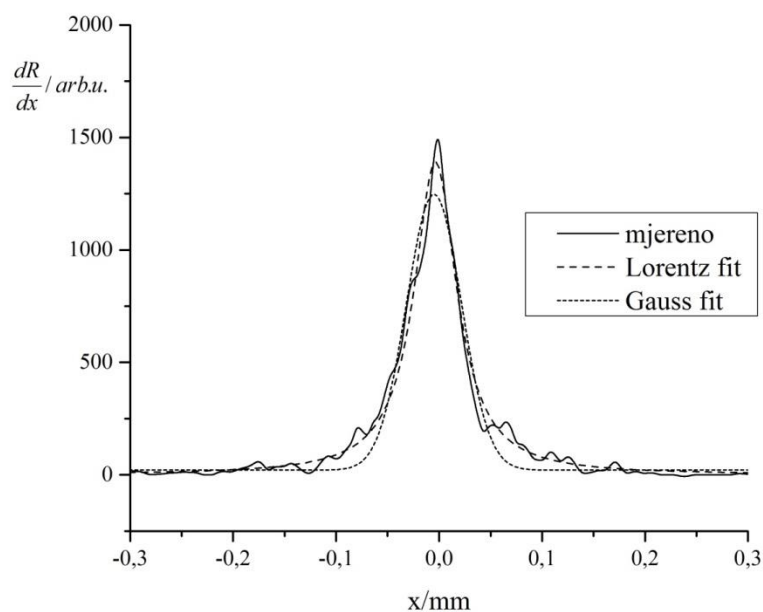
Iz slike 117. vidljiva je izuzetno visoka podudarnost profila mehaničkog prirasta i Gaussove funkcije što se manifestira visokim koeficijentima korelacije ( $> 0,98$ ).



Navigator-0,5mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$W$	$A$
Lorentz	0,96425	8,084	0,003	0,0475	106,794
Gauss	0,92387	31,066	0,002	0,0543	81,731

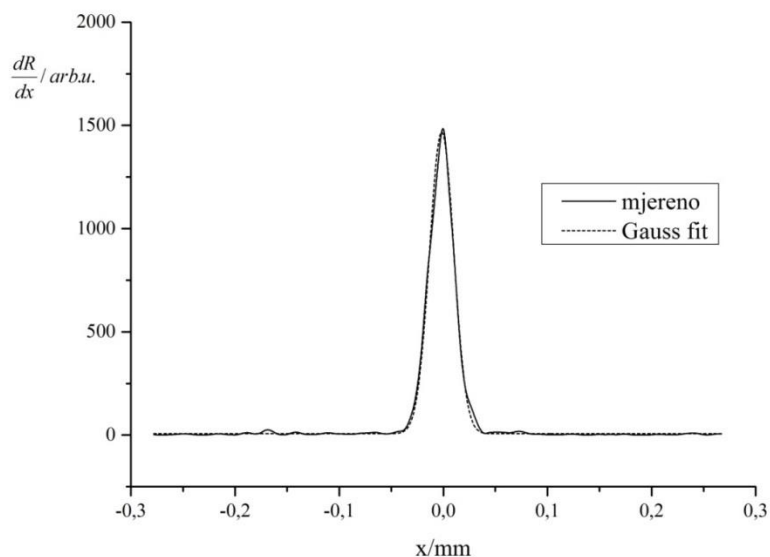


Arcoprint-0,5mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$W$	$A$
Lorentz	0,98541	7,375	0	0,0371	94,468
Gauss	0,94913	31,019	0	0,0389	69,721

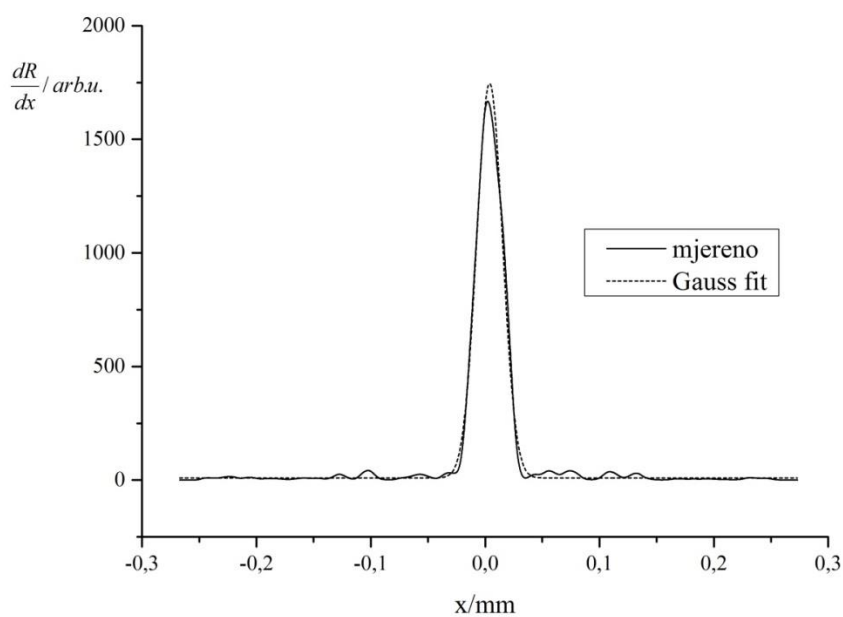


Splendorgel -0,5mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$W$	$A$
Lorentz	0,9785	0,3534	-0,003	0,0505	110,331
Gauss	0,95227	21,024	-0,005	0,0533	81,926

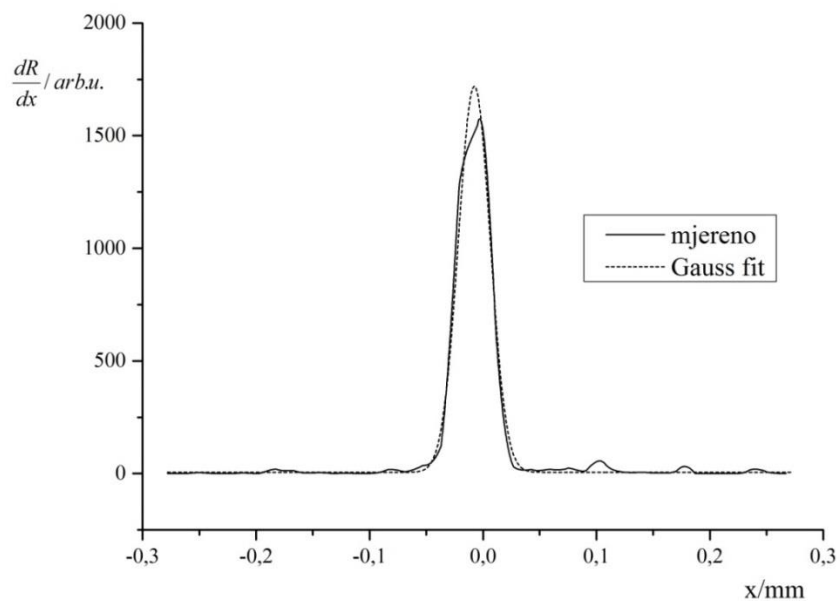
Slika 116. HP 9050 Laser Jet - profil optičkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,5 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak



Navigator-0,5mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,99355	6,561	-0,001	0,0223	42,737



Arcoprint-0,5mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,99114	9,549	0,003	0,0226	49,227

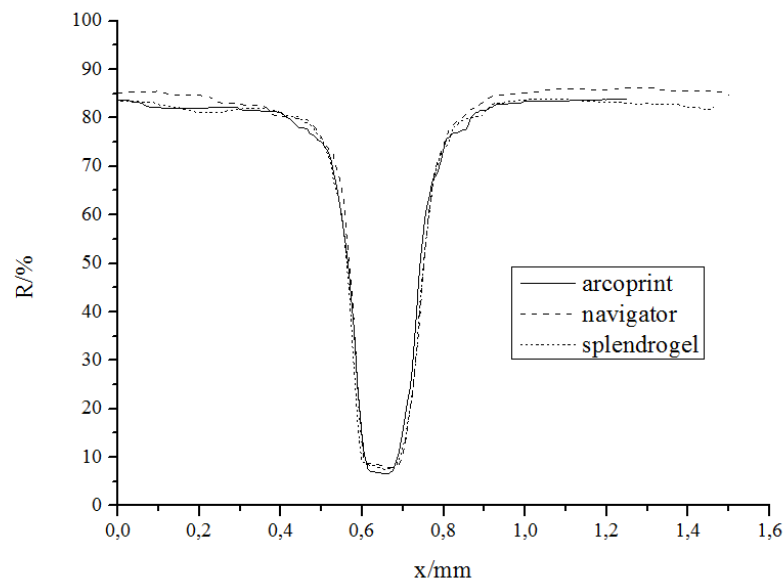


Splendorgel -0,5mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,98139	5,881	0,007	0,0279	60,081

Slika 117. HP 9050 Laser Jet - profil mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,5 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak



### 8.3.6.3. Nominalna debljina linije 0,1 mm

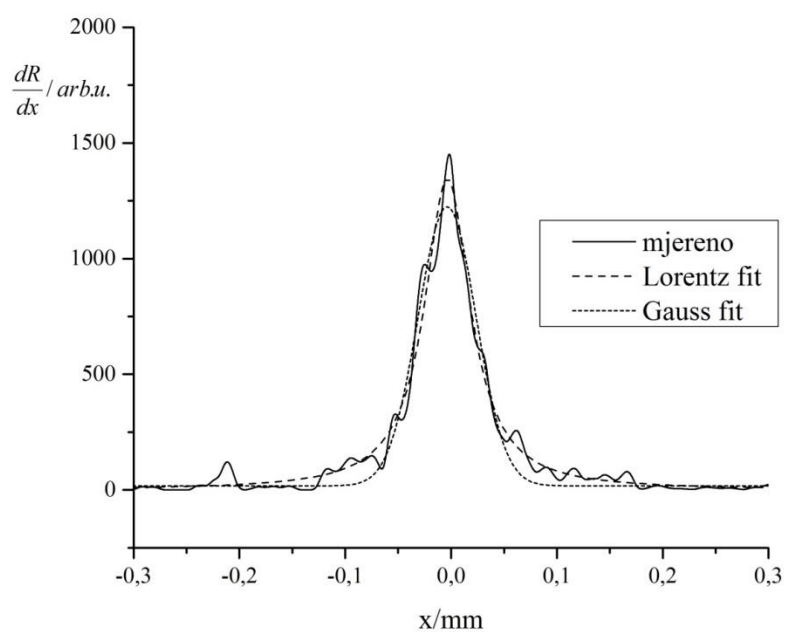


Slika 118. HP 9050 Laser Jet - reflektancijski profil 0,1 mm

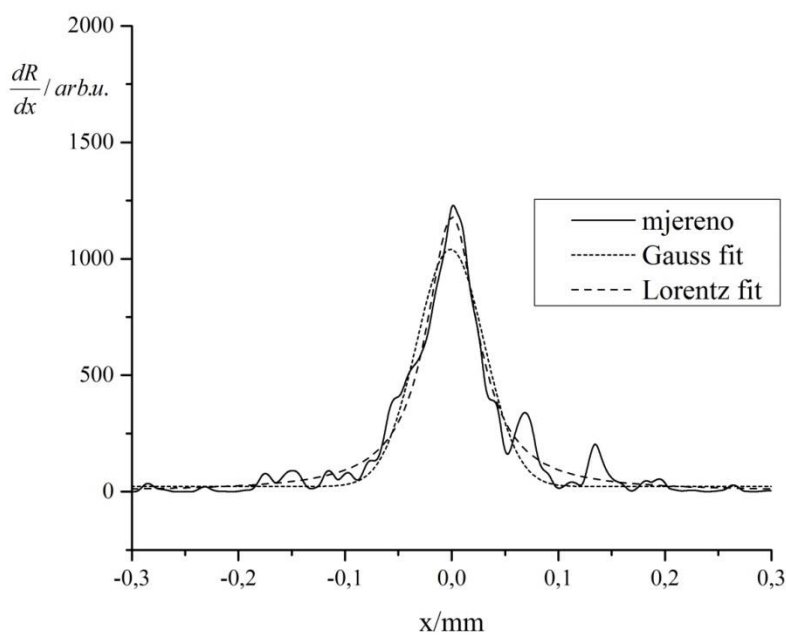
Za reflektancijske profile (slika 118.) svih triju otisaka karakteristična je nesimetričnost lijeve i desne polovine otiska kao i izraženi skokovi u vrijednostima duž samih profila.

Profili optičkih prirasta rastertonske vrijednosti, iako minimalno, potvrđuju veću korelaciju s Lorentovom funkcijom ( $> 0,96$ ) s dosta ujednačenom širinom profila (slika 119.)

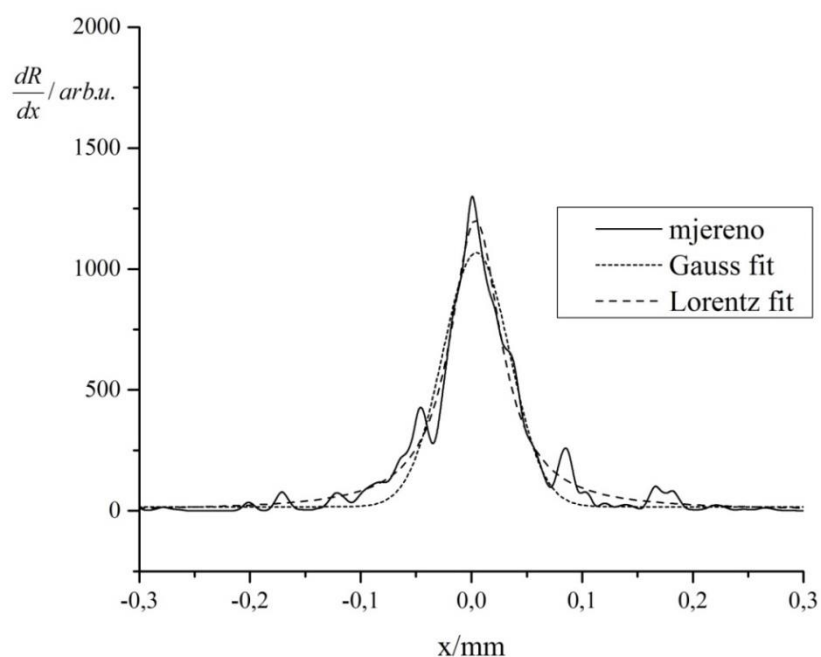
Za razliku od zadovoljavajućih profila optičkih prirasta, mehanički prirasti (slika 120.) ponajviše zbog nesimetričnost u samom otisku pri reprodukciji na uredskom papiru i papiru za digitalni tisak, pokazuje različite karakteristike lijevog i desnog profila koje bitno smanjuju koeficijent korelacije Gaussovom funkcijom, dok je kod otiska na ofsetnom papiru primijećena dominacija karakteristika podloge nad onima uređaja, što je rezultiralo boljom aproksimacijom Lorentzovom funkcijom.



Navigator-0,1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Lorentz	0,96924	0,164	-0,003	0,0527	111,391
Gauss	0,95404	17,738	-0,003	0,0548	82,793

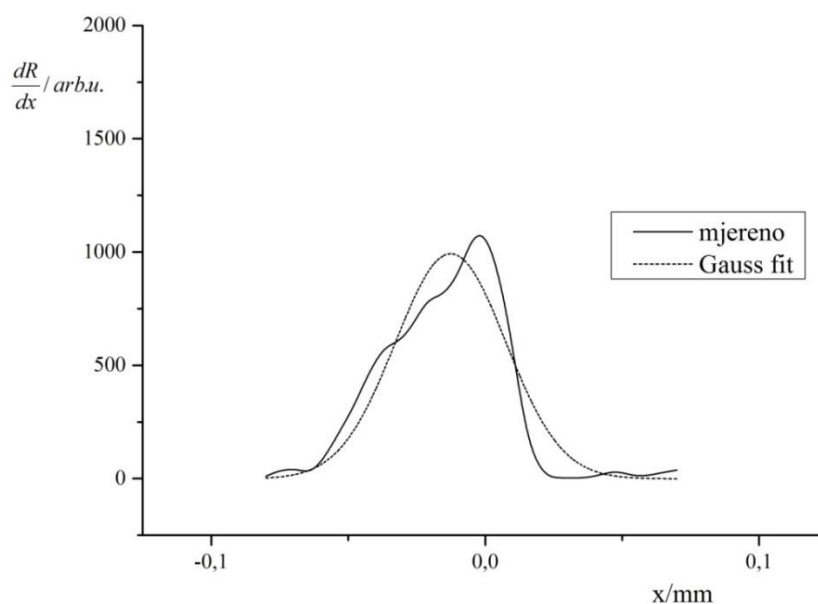


Arcoprint-0,1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Lorentz	0,96422	1,198	0	0,0583	107,971
Gauss	0,95332	22,407	-0,001	0,0633	80,768

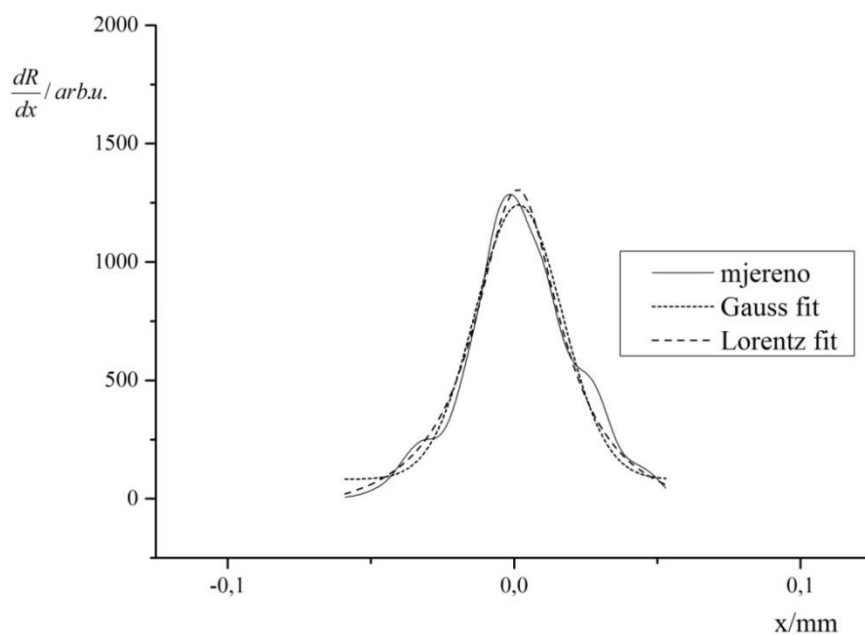


Splendorgel -0,1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Lorentz	0,96863	1,733	0,003	0,0558	105,149
Gauss	0,94296	16,886	0,004	0,0604	79,555

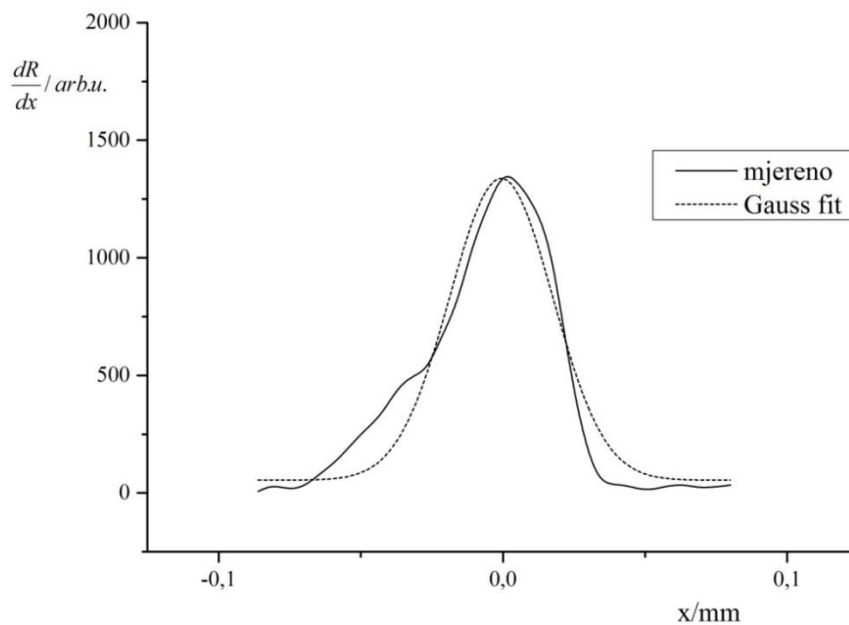
Slika 119. HP 9050 Laser Jet - profil optičkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,1 mm



Navigator-0,1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,88899	0,644	-0,01	0,0404	50,245



Arcoprint-0,1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,91072	55,541	-0,0,03	0,0405	56,391
Lorentz	0,92139	-112,905	-0,002	0,0483	102,132

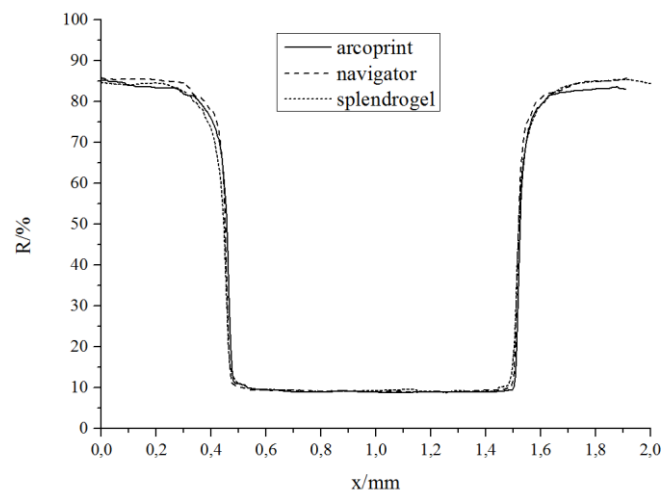


Splendorgel -0,1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,9351	54,547	0	0,0363	58,435

Slika 120. HP 9050 Laser Jet - profil mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak

### 8.3.7. Oce2110 Vario

#### 8.3.7.1. Nominalna debljina linije 1 mm

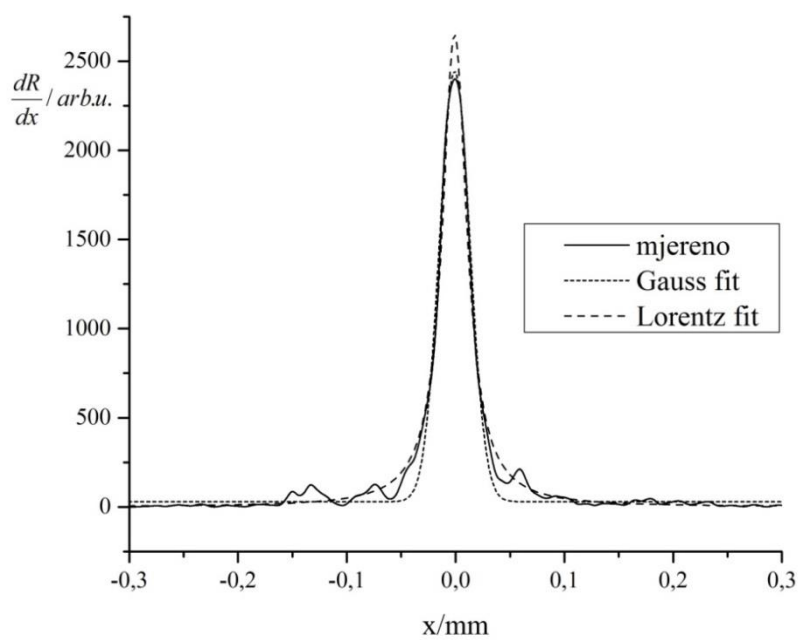


Slika 121. Oce2110 Vario - reflektancijski profil 1 mm

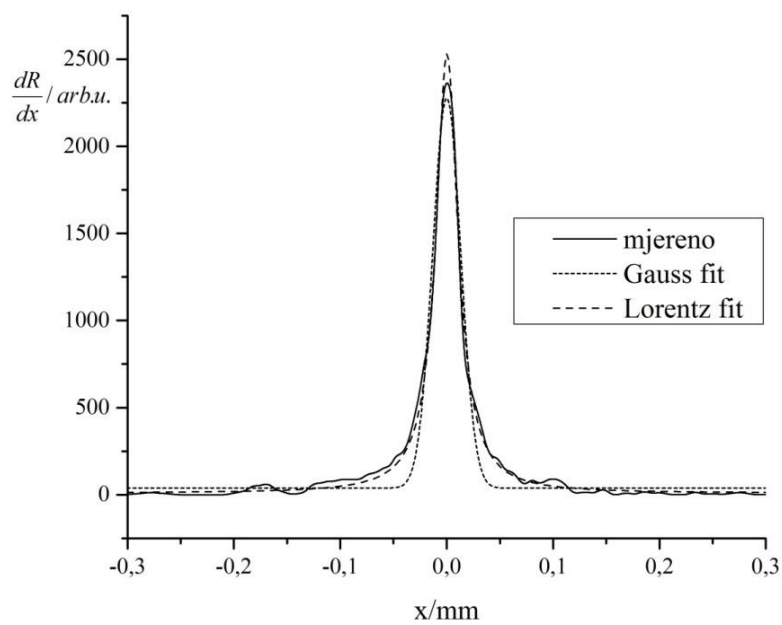
Pri vrijednostima refleksije do 50%, sva tri otiska slijede podjednak profil, dok se za veće vrijednosti refleksije, 50-85 % uočavaju značajnija neslaganja u samom izgledu profila (slika 121.)

Dijagrami koji prikazuju profile optičkog prirasta rasteronske vrijednosti (slika 122.) još jednom potvrđuju bolju aproksimiranost profila optičkog prirasta Lorentzovom funkcijom, unatoč minimalnoj razlici između Lorentzove i Gaussove funkcije u slučaju otiska na uredskom papiru (0,987 naprema 0,981 za Lorentzovu funkciju).

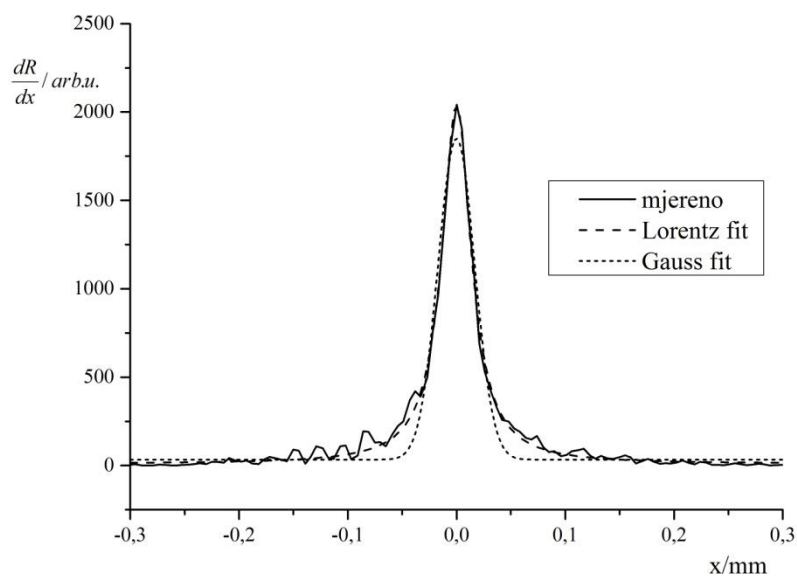
Profili mehaničkih prirasta rasteronske vrijednosti demonstriraju iznimno visoko slaganje sa Gaussovom funkcijom s približno konstantnom širinom profila za sva tri otiska.



Navigator-Imm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Lorentz	0,98746	0,006	0	0,0274	114,230
Gauss	0,98146	29,612	0	0,0279	84,576

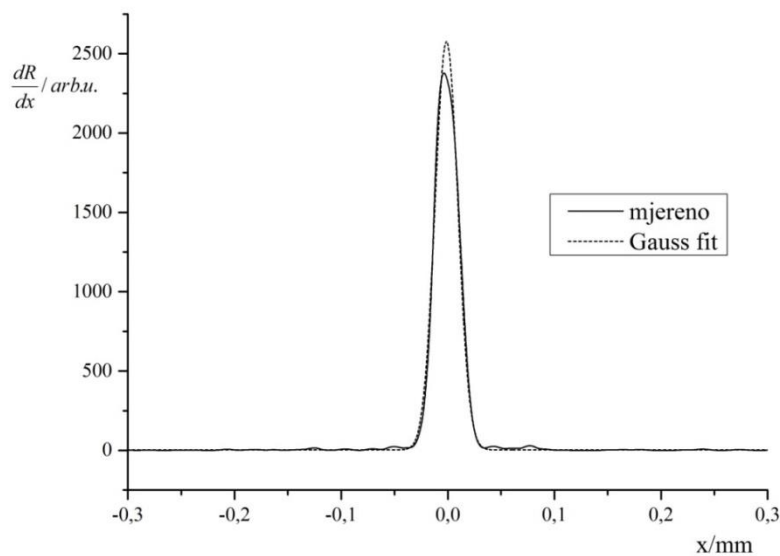


Arcoprint-Imm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Lorentz	0,99065	9,244	0	0,0253	100,407
Gauss	0,95411	37,545	0	0,0264	74,06

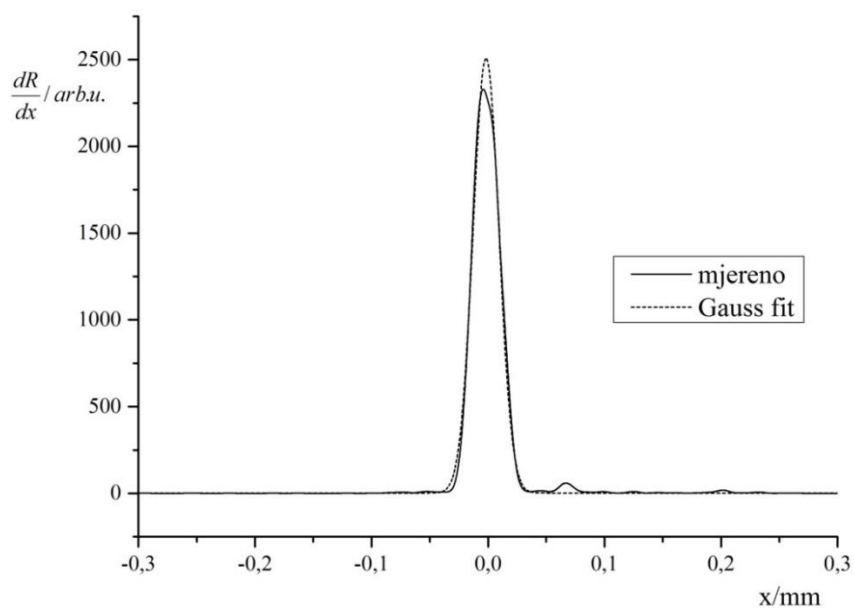


Splendorgel -1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Lorentz	0,99325	9,568	0	0,0329	104,955
Gauss	0,9569	33,595	0	0,0337	76,885

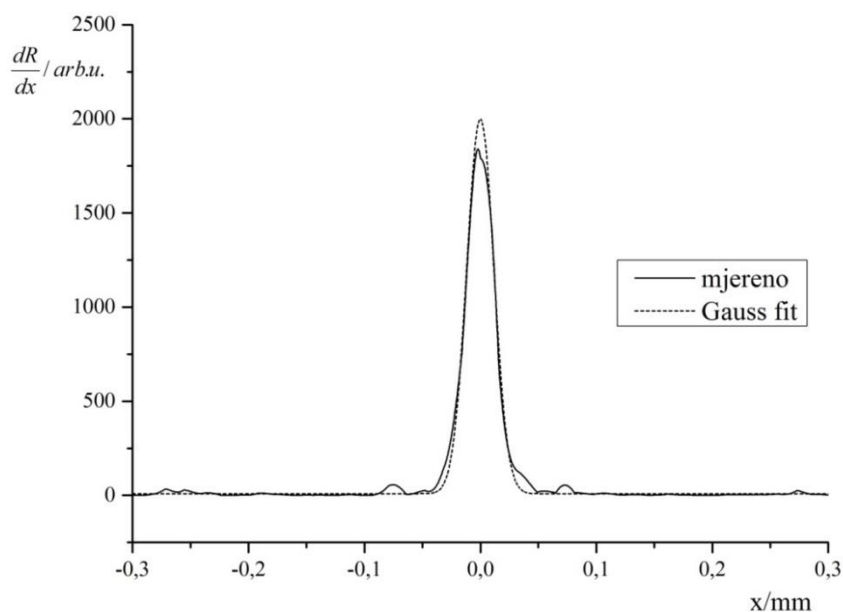
Slika 122. Oce2110 Vario - profil optičkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak



Navigator-1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,99043	2,382	0,001	0,0213	68,979



Arcoprint-1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,99261	2,229	0,002	0,0222	69,756

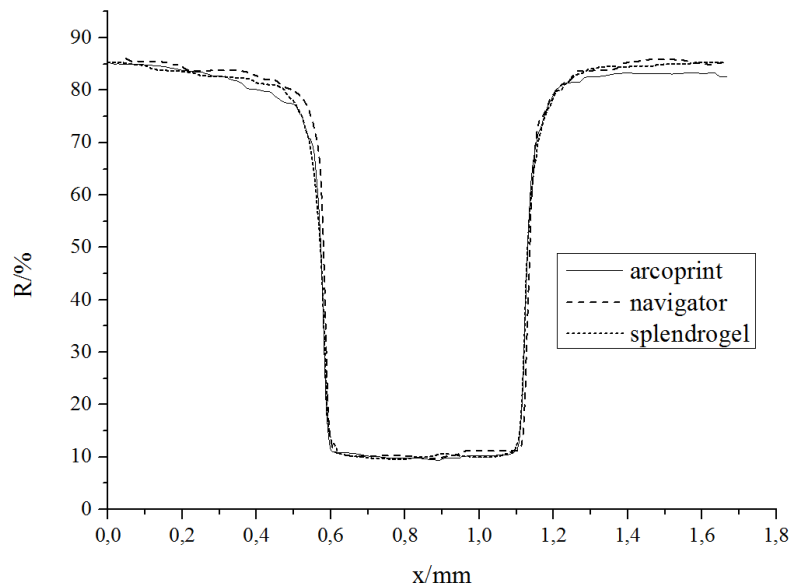


Splendorgel-1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,98579	8,993	0	0,0234	58,340

Slika 123. Oce2110 Vario - profil mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak



### 8.3.7.2. Nominalna debljina linije 0,5 mm

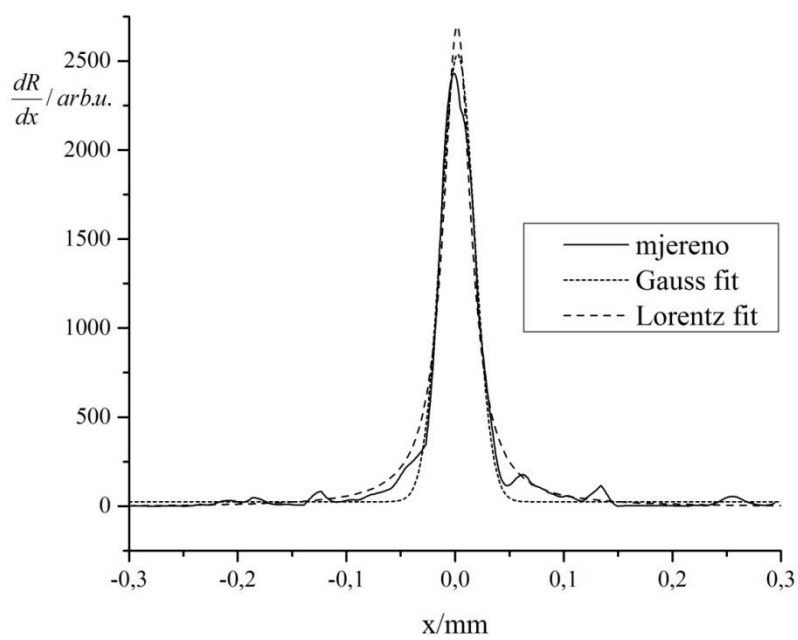


Slika 124. Oce2110 Vario - reflektancijski profil 0,5 mm

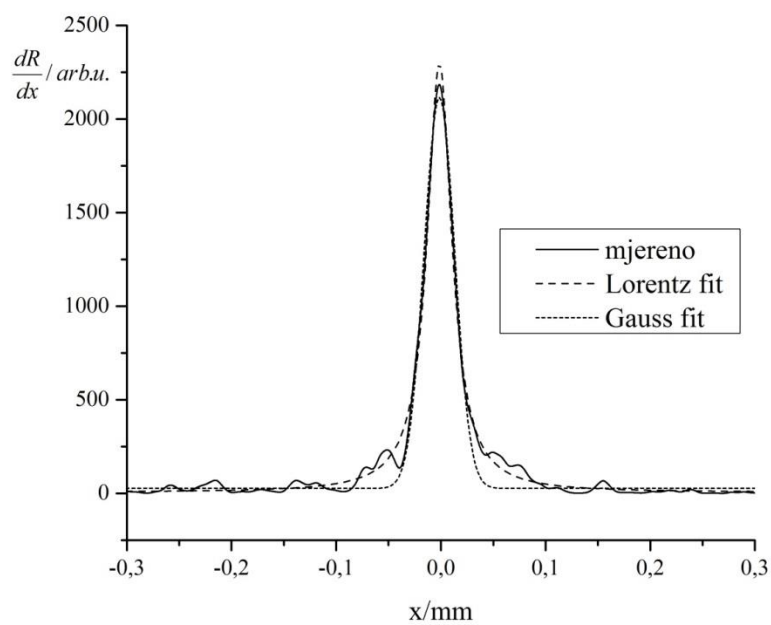
Reflektancijski profili (slika 124.) demonstriraju ujednačenost svih triju otisaka u području do 50% refleksije, iznad koje vrijednosti dolazi do postupnog neslaganja u izgledu profila.

Profili optičkih prirasta rastertonske vrijednosti (slika 125.) su bolje aproksimirani Lorentzovom funkcijom (koeficijent korelacije između 0,97 i 0,99) nego Gaussovom s najvećom širinom profila na otisku reproduciranom na papiru za digitalni tisak.

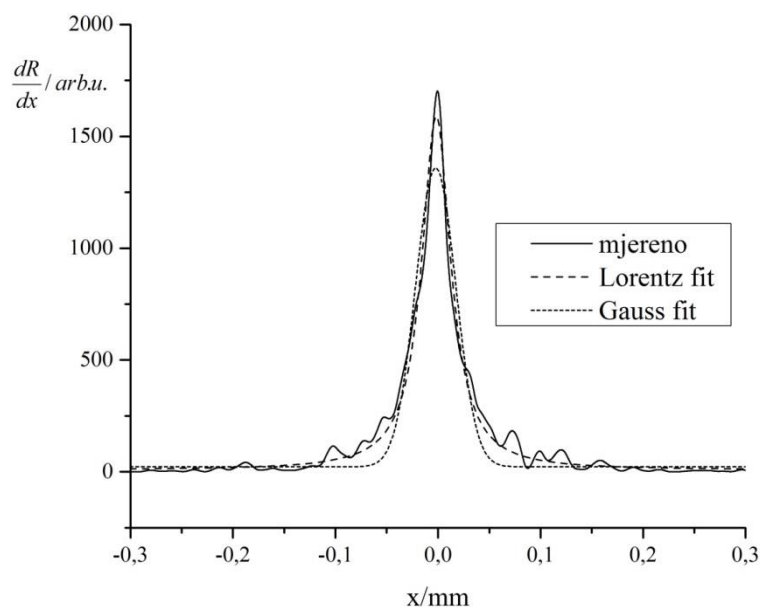
Mehanički prirasti svih triju uzoraka je nedvojbeno odgovarajuće opisan Gaussovom funkcijom pri čemu je širina Gaussove funkcije jednaka za profile mehaničkih prirasta na uredskom i ofsetnom papiru.



Navigator-0,5mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$W$	$A$
Lorentz	0,97429	-5,211	0,002	0,0311	131,876
Gauss	0,84903	24,629	0,002	0,0309	97,410

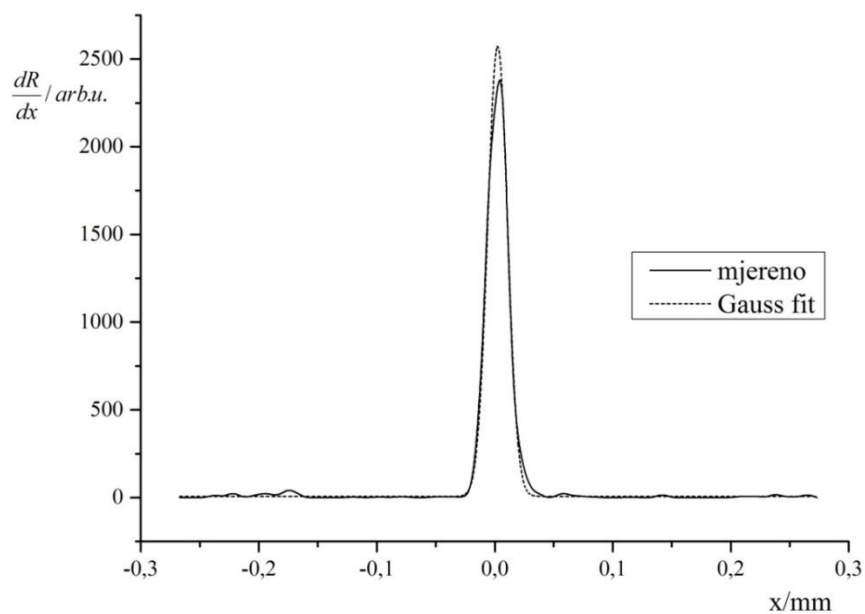


Arcoprint-0,5mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$W$	$A$
Lorentz	0,99081	4,801	0,001	0,0285	102,810
Gauss	0,97249	26,943	0,001	0,0291	76,227

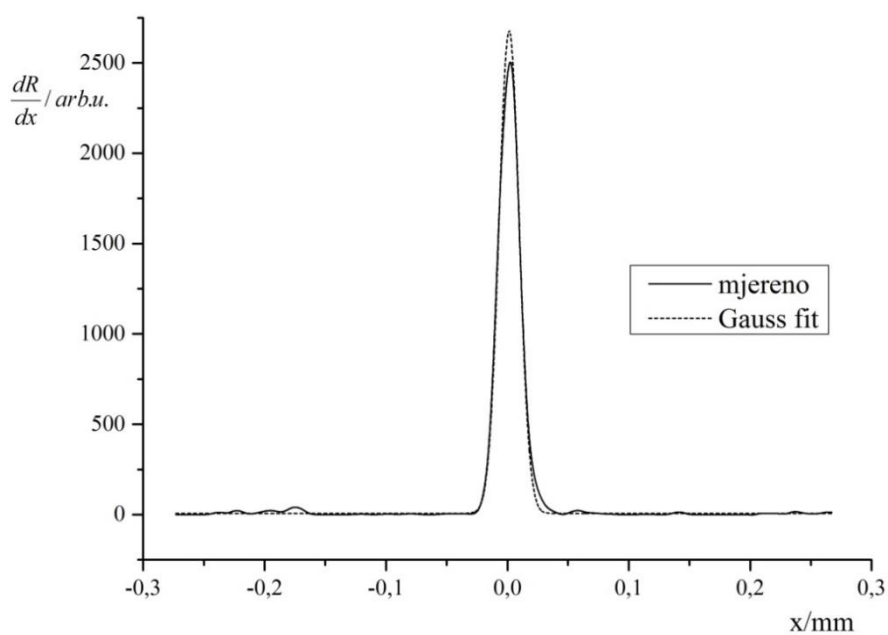


Splendorgel -0,5mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$W$	$A$
Lorentz	0,97344	8,179	-0,001	0,0343	85,191
Gauss	0,92373	22,658	-0,002	0,0392	65,679

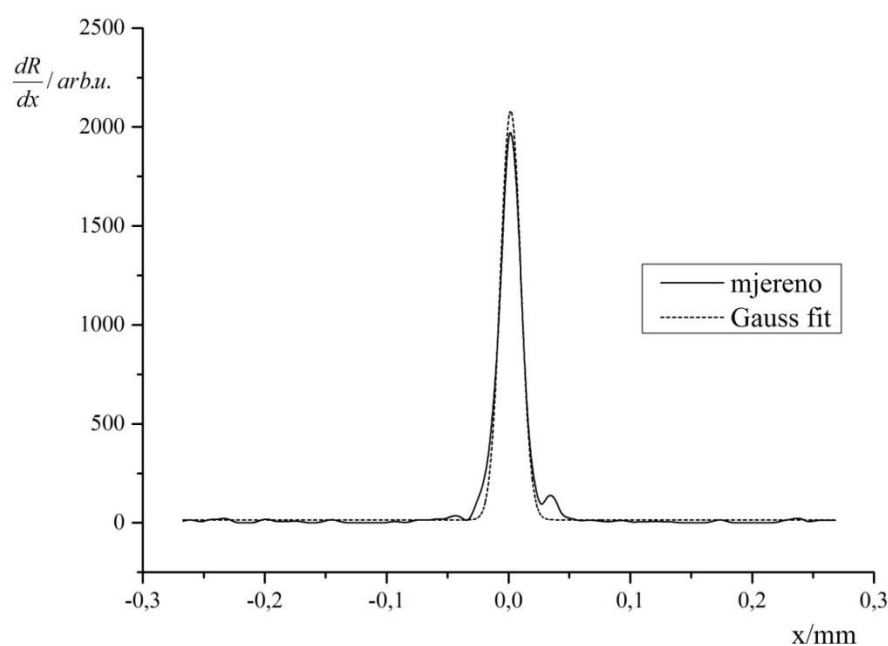
Slika 125. Oce2110 Vario - profil optičkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,5 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak



Navigator-0,5mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,99017	6,887	0,002	0,0168	54,097



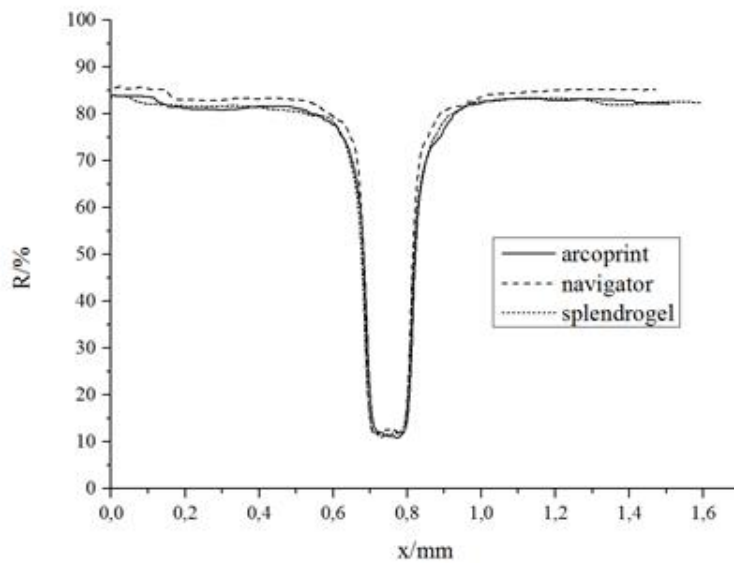
Arcoprint-0,5mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,99673	6,879	0,001	0,0166	55,607



Splendorgel -0,5mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,98852	12,148	0,002	0,0208	54,412

Slika 126. Oce2110 Vario - profil mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,5 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak

### 8.3.7.3. Nominalna debljina linije 0,1 mm

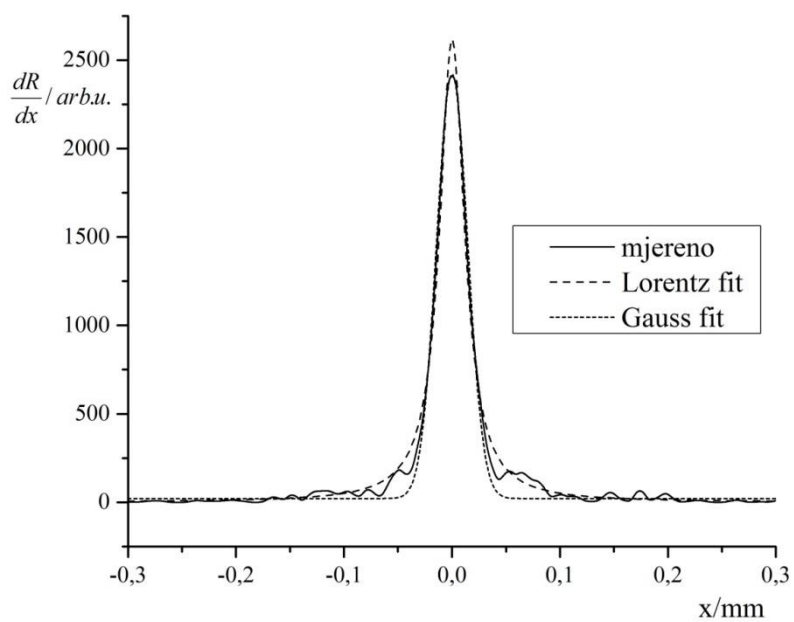


Slika 127. Océ2110 Vario - reflektancijski profil 0,1 mm

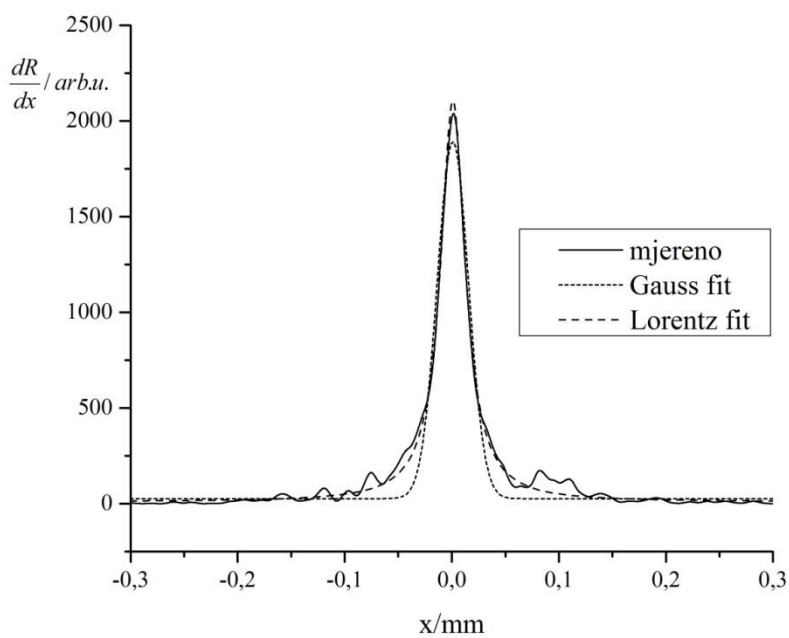
Reflektancijski profili reproduciranih otisaka pokazuju ujednačen izgled profila u području refleksije nižem od 55%, iznad čega se uočava nešto uži profil refleksije otiska na uredskom papiru, te izraženija deformacija otiska na ofsetnom papiru u području refleksije između 75 i 80 % na desnoj polovici profila.

Slika 128. koja prikazuje profile optičkih prirasta rastertonske vrijednosti potvrđuje adekvatniju aproksimaciju profila Lorentzovom funkcijom, s infinitezimalnom razlikom u koeficijentu korelacije između Gaussovog i Lorentzovog profila za otisak na uredskom papiru.

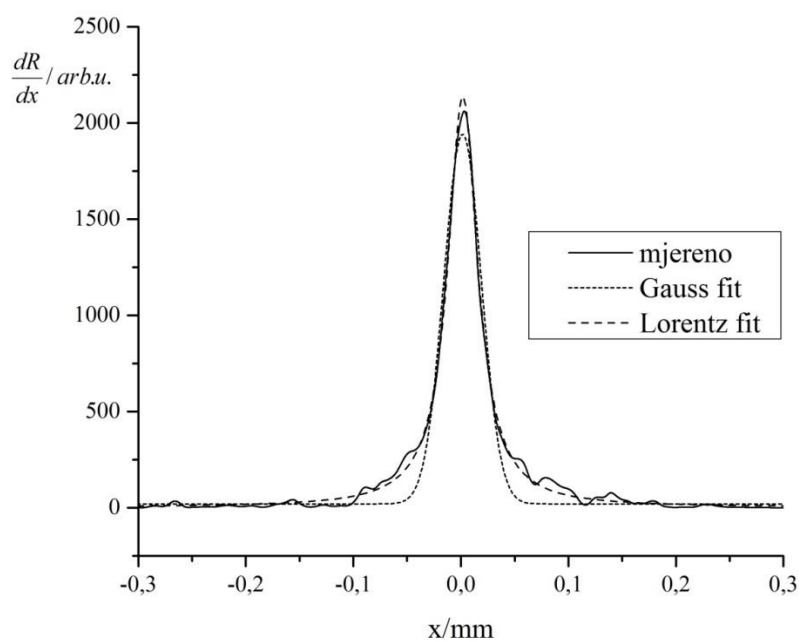
Mehanički prirast je idealno opisan Gaussovom funkcijom (koeficijent korelacije > 0,99) s gotovo identičnom širinom profila.



Navigator-0,1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Lorentz	0,98909	11,118	0	0,0279	114,796
Gauss	0,98514	21,235	0	0,0287	86,379

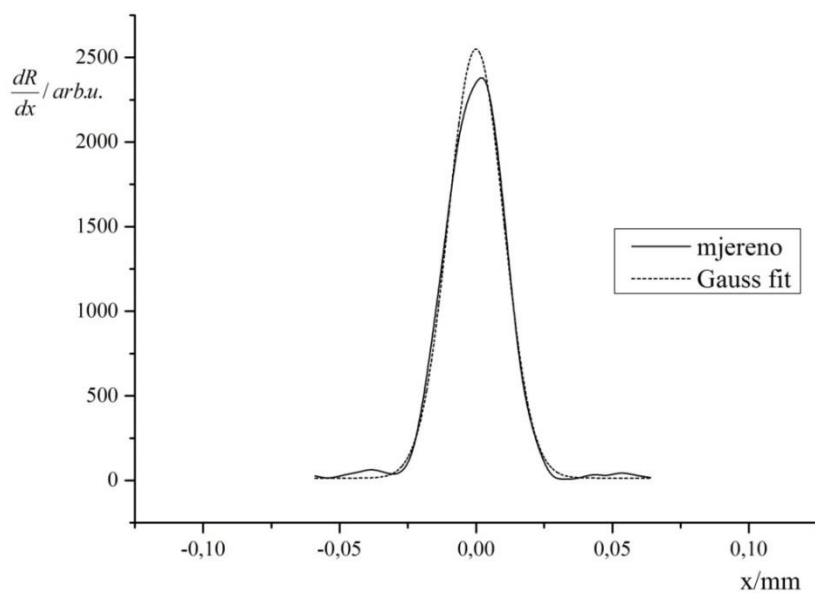


Arcoprint-0,1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Lorentz	0,99031	9,821	0	0,0279	92,225
Gauss	0,95017	26,052	0	0,0292	68,401

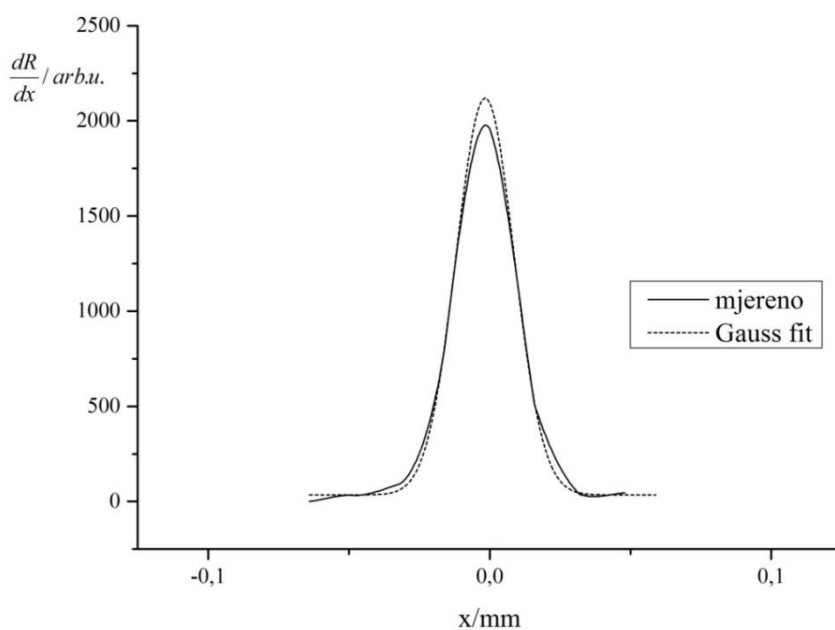


Splendorgel -0,1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Lorentz	0,99454	3,03	0,002	0,0338	113,359
Gauss	0,96343	19,666	0,001	0,0349	84,112

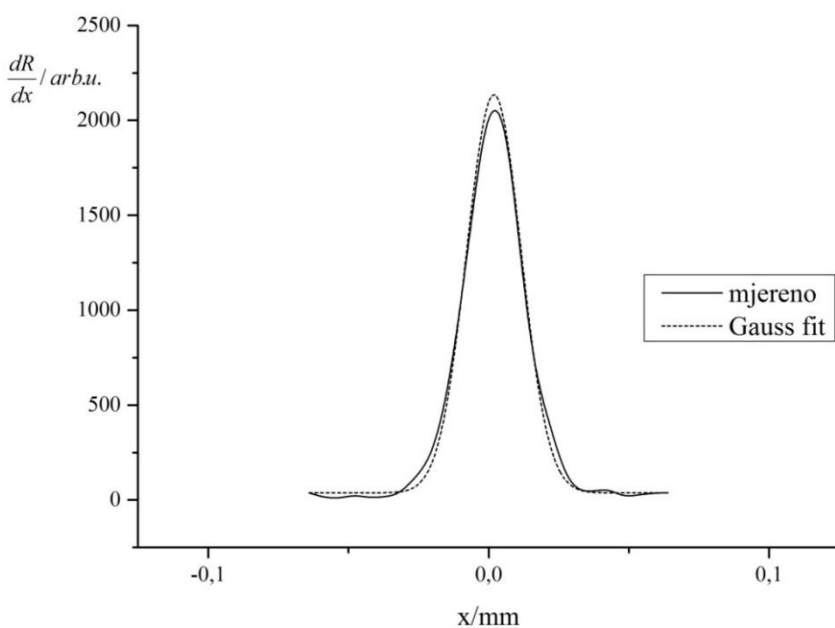
Slika 128. Oce2110 Vario - profil optičkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak



Navigator-0,1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,99212	13,837	0	0,0203	64,538



Arcoprint-0,1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,99452	34,696	0,002	0,0206	53,791



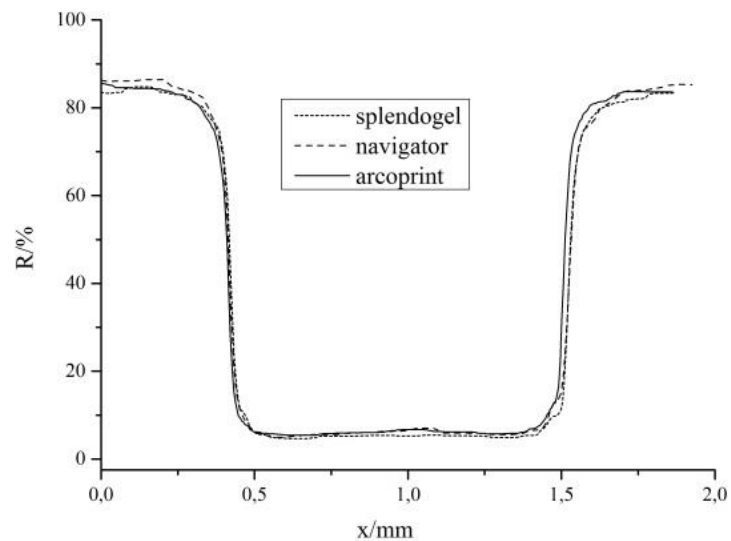
Splendorgel -0,1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,99596	37,716	0,002	0,0195	51,194

Slika 129. Oce2110 Vario - profil mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak



### 8.3.8. Indigo Turbo Stream

#### 8.3.8.1. Nominalna debljina linije 1 mm



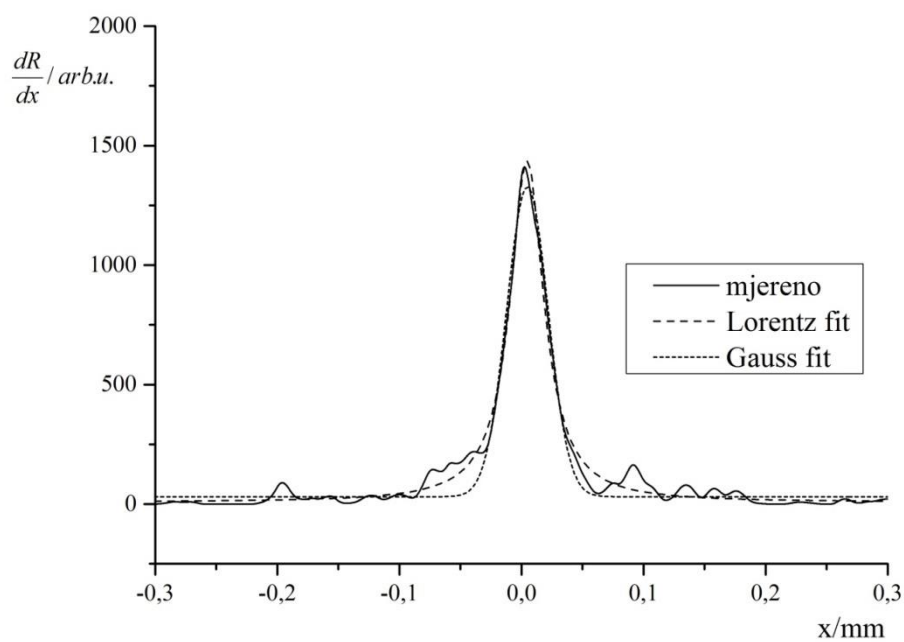
Slika 130. Indigo Turbo Stream - reflektancijski profil 1 mm

Kao što je vidljivo iz slike 130., rubni dijelovi reflektancijskih profila ukazuju na značajna odstupanja u izgledu profila koji će zasigurno bitno utjecati na profile mehaničkih prirasta rastertonskih vrijednosti.

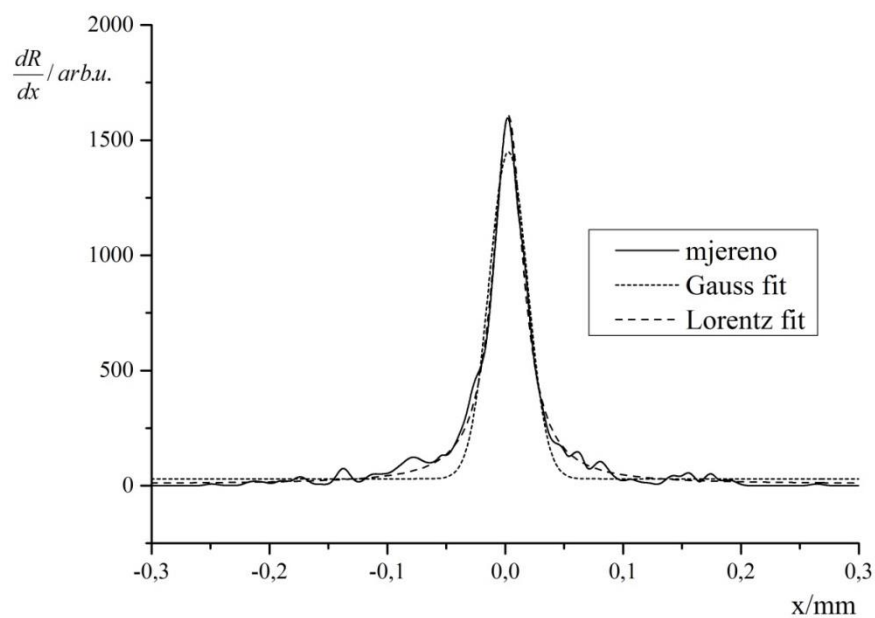
Profili optičkih prirasta rastertonske vrijednosti (slika 131.) u sva tri slučaja potvrđuju veću korelaciju s Lorentzovom funkcijom (koeficijent korelacije  $> 0,98$ ).

S druge strane, profili mehaničkih prirasta rastertonske vrijednosti karakterizirani su izraženim područjima šuma, te se sa lijeve i desne strane maksimuma funkcija javljaju sekundarni maksimumi koji utječu na mogućnost kvalitetne aproksimacije profila Gaussovom funkcijom što rezultira laganom dominacijom Lorentzovog profila za reprodukcije na uredskom i ofestnom papiru.

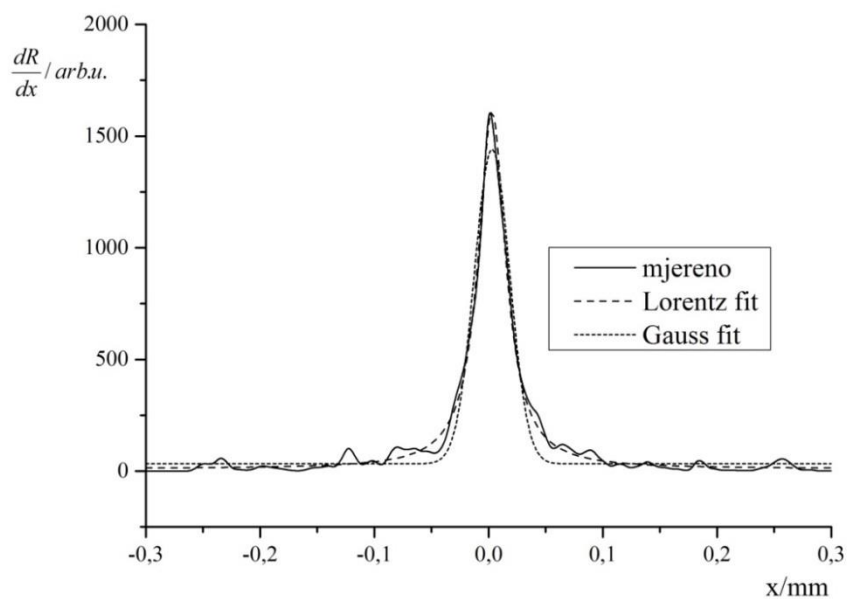
Uzorak otisnut na papiru za digitalni tisak, unatoč zadovoljavajućem koeficijentu korelacije s Gaussovom funkcijom, i dalje vidljivo svojim izgledom odstupa od Gaussove funkcije, tako da je upitna opravdanost ove aproksimacije.



Navigator-1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Lorentz	0,98115	7,620	0,004	0,0339	76,198
Gauss	0,96085	30,933	0,004	0,0339	55,196

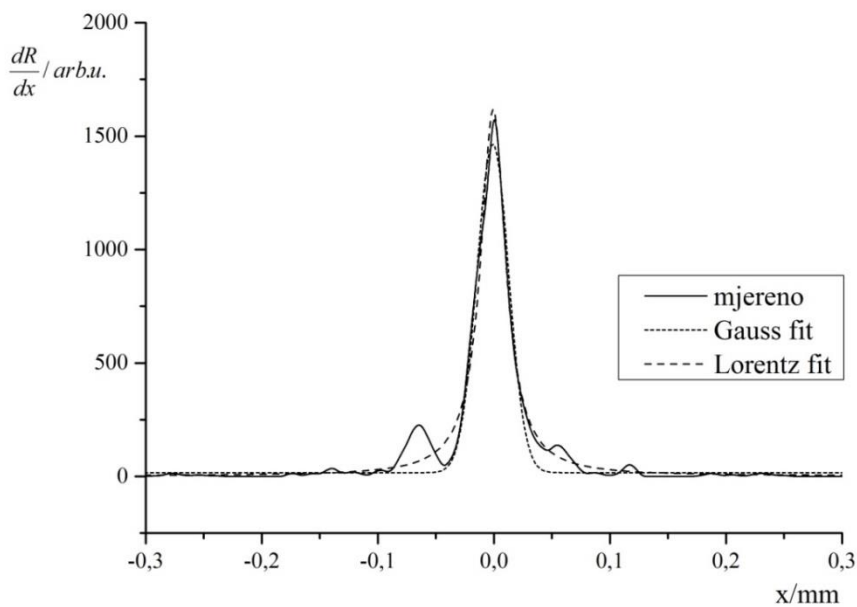


Arcoprint-1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Lorentz	0,98926	7,251	0,002	0,0311	78,278
Gauss	0,95919	29,907	0,002	0,0325	57,842

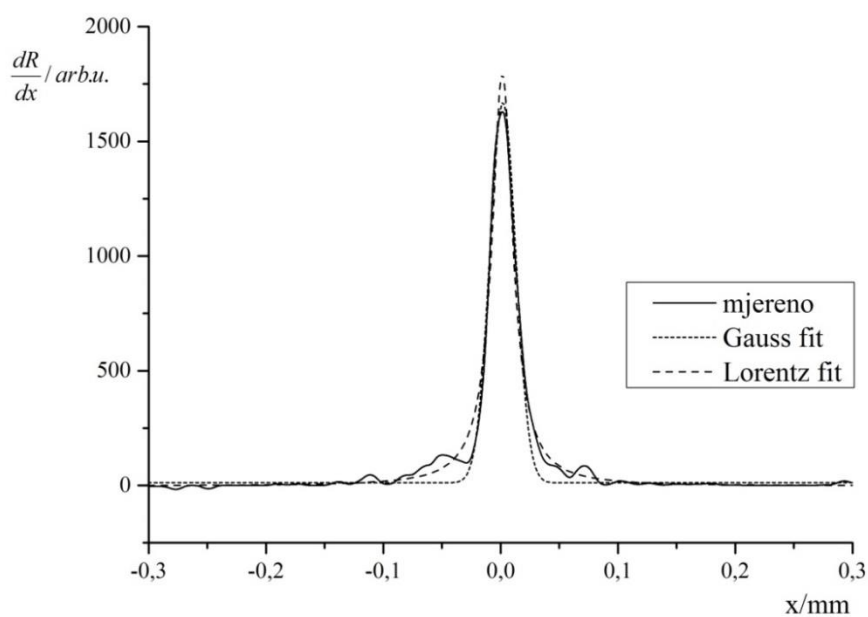


Splendorgel -1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Lorentz	0,98675	10,366	0,003	0,0293	73,456
Gauss	0,95727	32,583	0,003	0,0311	54,853

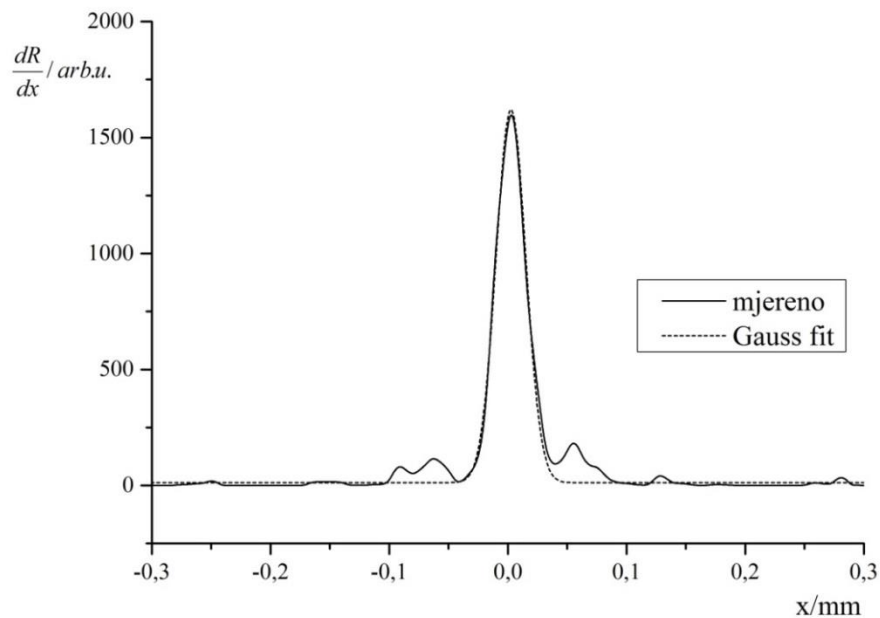
Slika 131. Indigo Turbo Stream - profil optičkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak



Navigator-1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,95833	16,509	0	0,0276	50,082
Lorentz	0,97637	2,259	0	0,0263	66,790



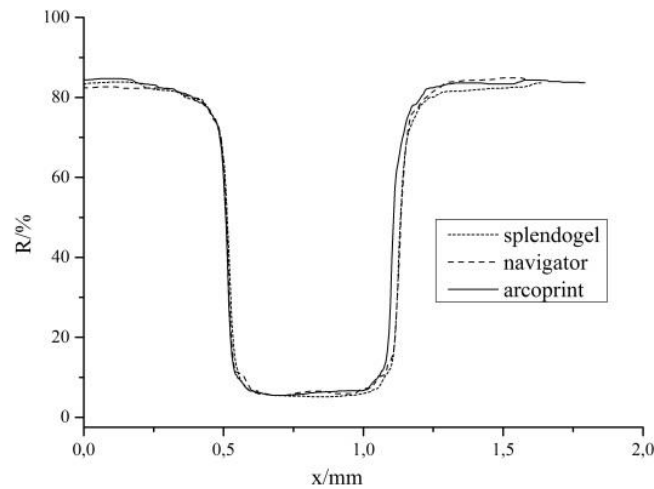
Arcoprint-1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,97538	11,327	0,002	0,0221	46,027
Lorentz	0,98048	2,506	0,001	0,219	61,839



Splendorgel-1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,98029	12,351	0,003	0,0251	50,565

Slika 132. Indigo Turbo Stream - profil mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak

### 8.3.8.2. Nominalna debljina linije 0,5 mm

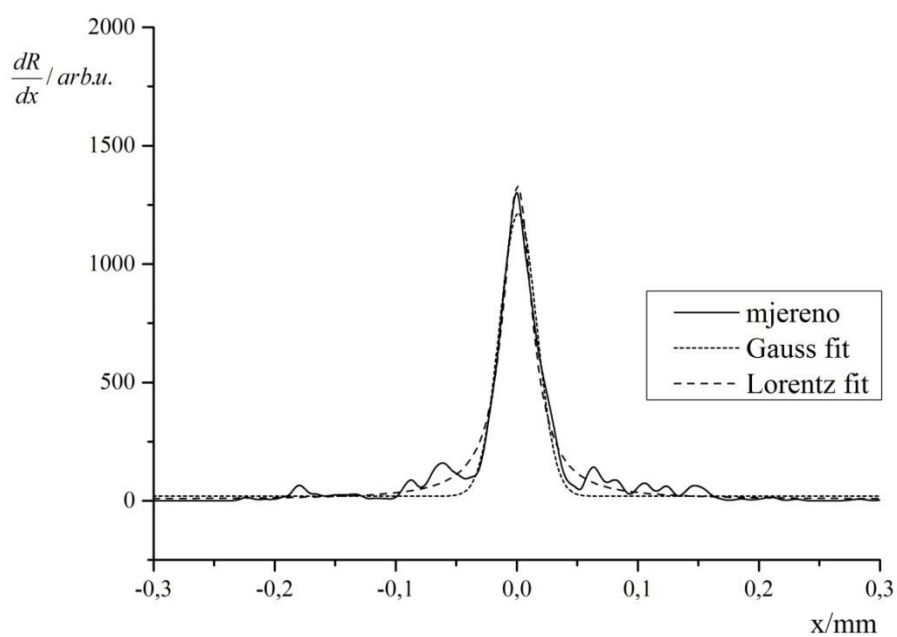


Slika 133. Indigo Turbo Stream - reflektancijski profil 0,5 mm

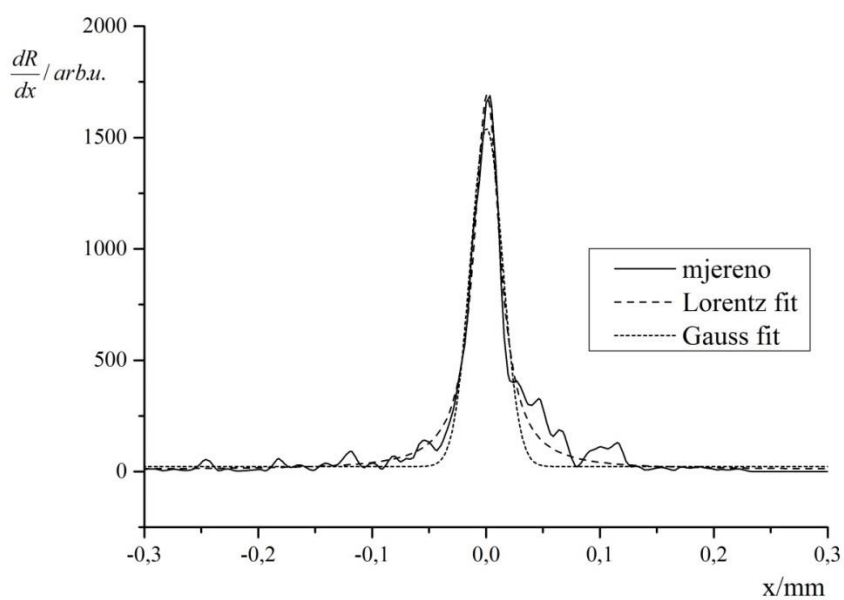
U reflektancijskim profilima otisnutih linija (slika 133.) do izražaja dolaze zaobljenost rubova i općenita neujednačenost otisaka u područjima reflektancije niže od 10% i više od 75%.

Sva tri profila optičkih prirasta rastertonskih vrijednosti (slika 134.) pokazuju bolje slaganje s Lorentzovom funkcijom nego s Gaussovom, pri čemu profili optičkih prirasta na uredskom i ofsetnom papiru imaju približno jednaku širinu, dok je profil Lorentzove funkcije za otisak na papiru za digitalni tisak 20% širi.

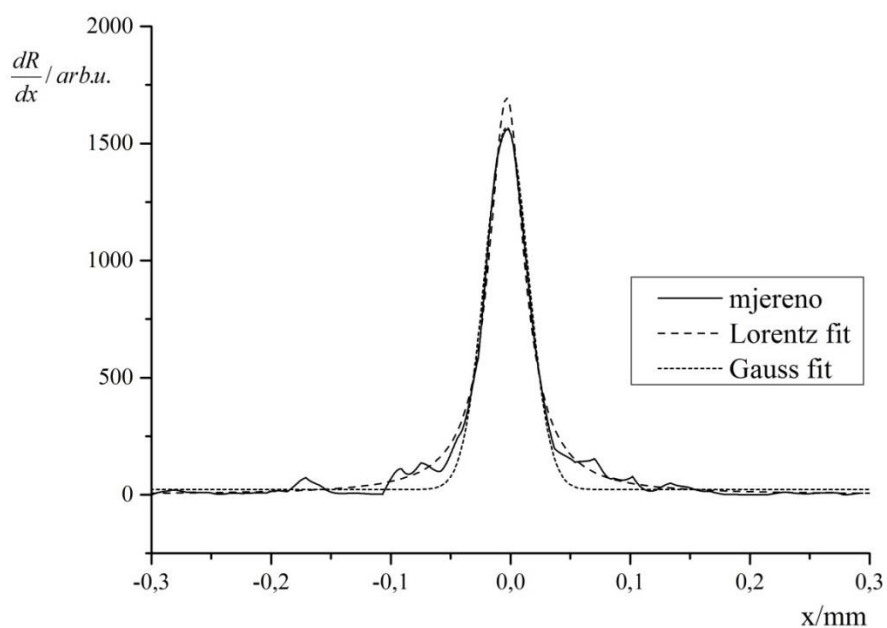
Mehanički prirast rastertonske vrijednosti je ponovno u dva slučaja (otisak na papiru za digitalni tisak i otisak na ofsetnom papiru) potvrdio izuzetno slaganje s Lorentzovom funkcijom, dok su kod uredskog papira opet jasno uočeni sekundarni vrhovi koji unatoč zadovoljavajućoj aproksimaciji s Gaussovom funkcijom, impliciraju daljnju potrebu za istraživanjem njihovog porijekla.



Navigator-0,5mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Lorentz	0,97744	5,848	0,001	0,0297	61,829
Gauss	0,96103	19,658	0,001	0,0307	45,978

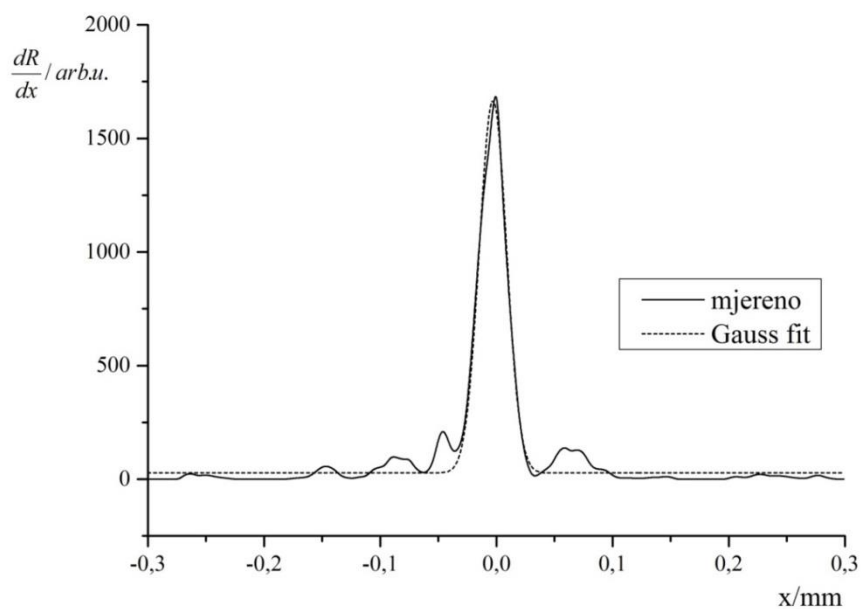


Arcoprint-0,5mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Lorentz	0,97722	9,062	0	0,028	74,041
Gauss	0,93641	22,910	0	0,0285	54,156

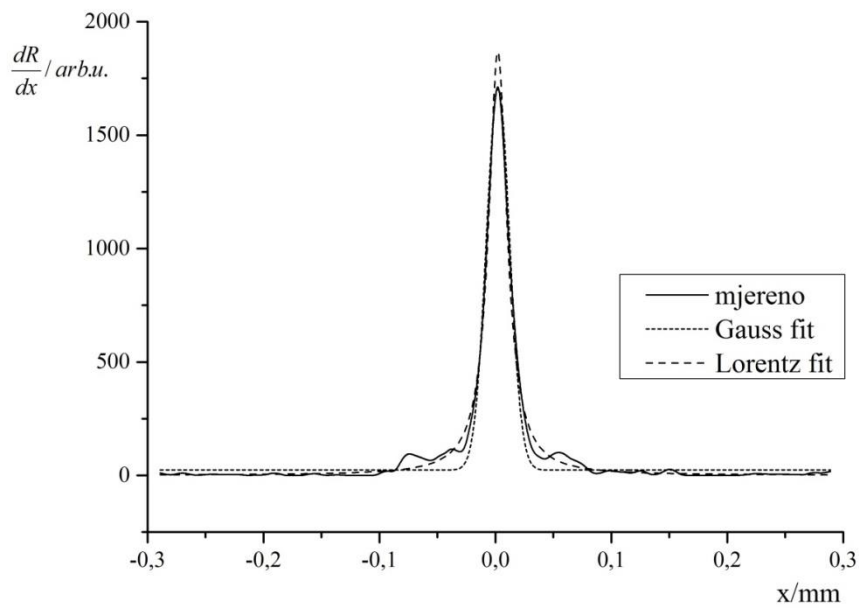


Splendorgel -0,5mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Lorentz	0,98948	0,237	0,003	0,0359	95,548
Gauss	0,97937	22,717	0,003	0,0362	70,095

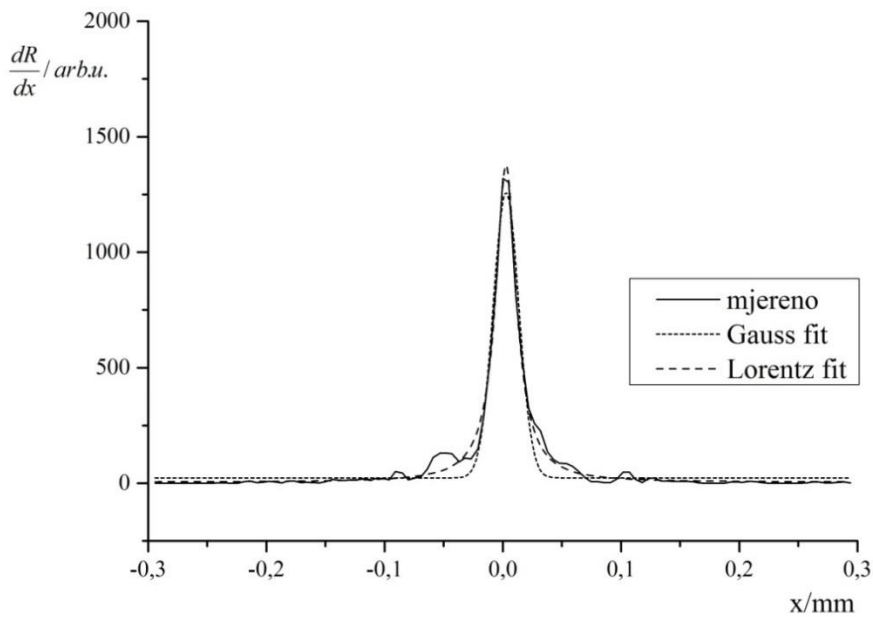
Slika 134. Indigo Turbo Stream - profil optičkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,5 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak



Navigator-0,5mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,97095	27,385	0,003	0,0234	48,011



Arcoprint-0,5mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,98044	23,722	0,002	0,0202	42,500
Lorentz	0,99333	0,903	0,002	0,0194	56,927

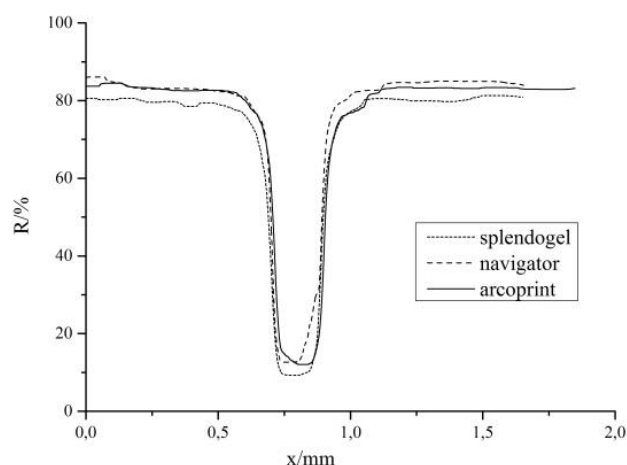


Splendorgel -0,5mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,96015	23,114	0,003	0,0217	33,504
Lorentz	0,99061	4,269	0,003	0,0211	45,596

Slika 135. Indigo Turbo Stream - profil mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,5 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak



### 8.3.8.3. Nominalna debljina linije 0,1 mm

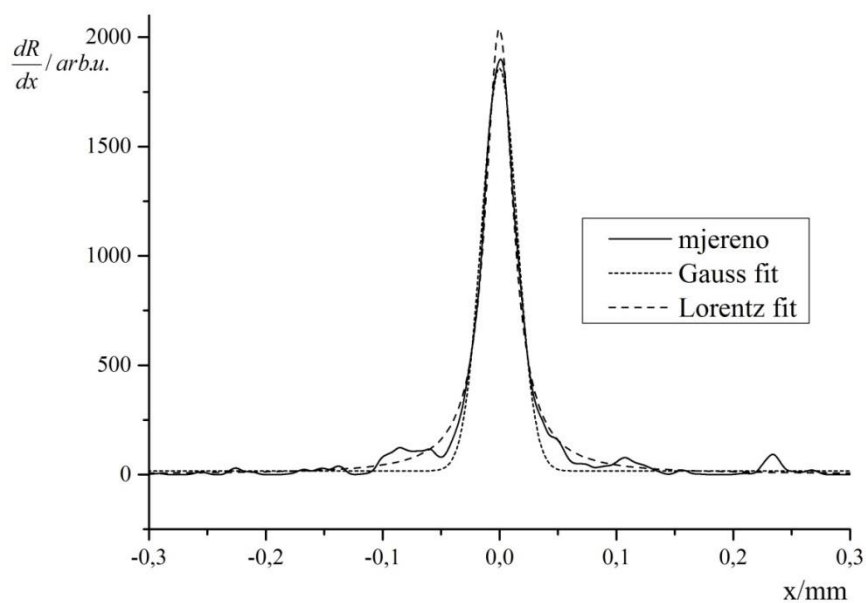


Slika 136. Indigo Turbo Stream - reflektancijski profil 0,1 mm

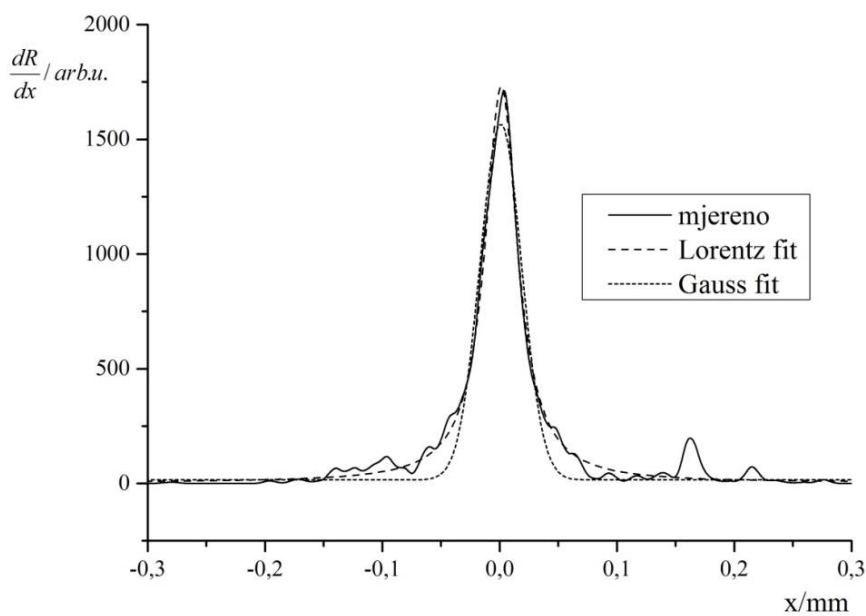
Iz slike 136. zamjetna je u prosjeku 5% veća apsorpcija svjetlosti uzorka reproduciranog na papiru za digitalni tisak, koji je ujedno i jedini koji pokazuje jasnu simetričnost lijeve i desne polovine profila. Otisak na uredskom papiru najviše odstupa izgledom svog profila od idealnog u području otiska.

Lorentzova funkcija u sva tri slučaja pouzdanije opisuje profile optičkih prirasta rastertonske vrijednosti (koeficijent korelacije  $>0,99$ ), s najvećom širinom profila za otisak na papiru za digitalni tisak,  $0,0418\text{ mm}$ , a najužim profilom za otisak na uredskom papiru,  $0,0289\text{ mm}$ .

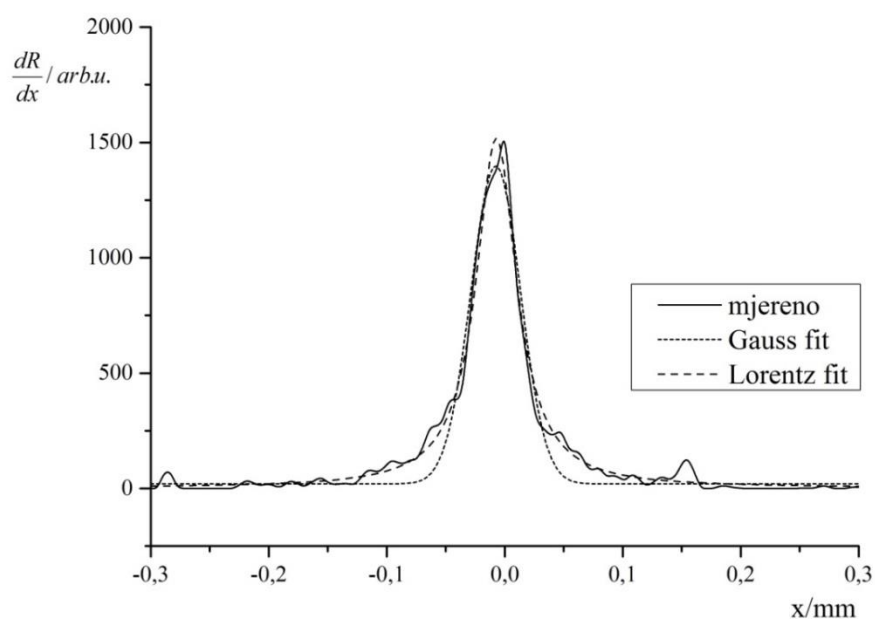
Profili mehaničkih prirasta rastertonskih vrijednosti u slučaju otiska na ofsetnom papiru i papiru za digitalni tisak demonstriraju visok stupanj korelacije s Gaussovom funkcijom ( $>0,99$ ). Očekivano, profil mehaničkog prirasta otiska na uredskom papiru sadrži iznadprosječan nudio šuma koji ima enorman utjecaj na svojstva aproksimirane funkcije, te je samim time utvrđen koeficijent korelacije s Gaussovom funkcijom  $0,91$ , što nije zadovoljavajuće.



Navigator-0,1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Lorentz	0,98989	2,383	0	0,0289	92,803
Gauss	0,97948	16,368	0	0,0304	70,097

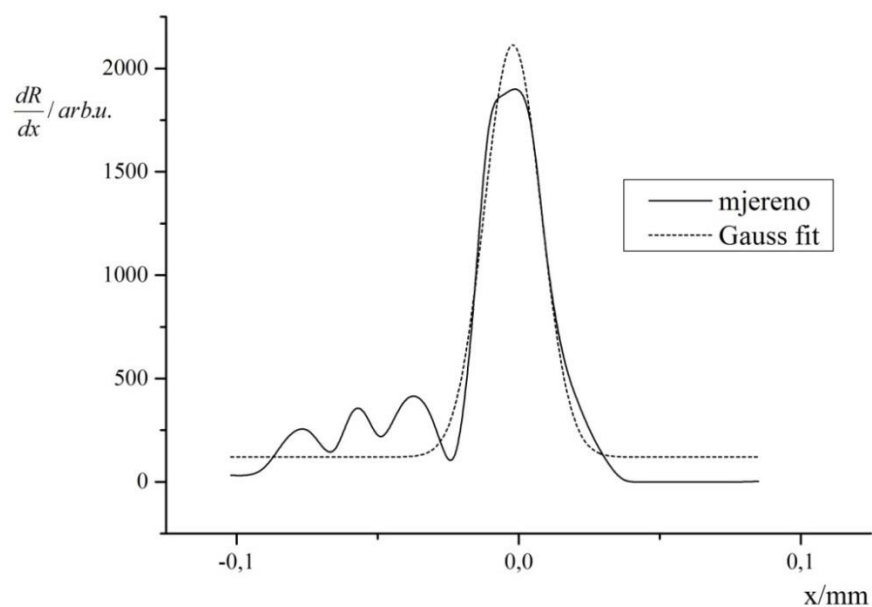


Arcoprint-0,1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Lorentz	0,98442	4,129	0,001	0,0339	92,356
Gauss	0,9567	15,464	0	0,0356	69,302

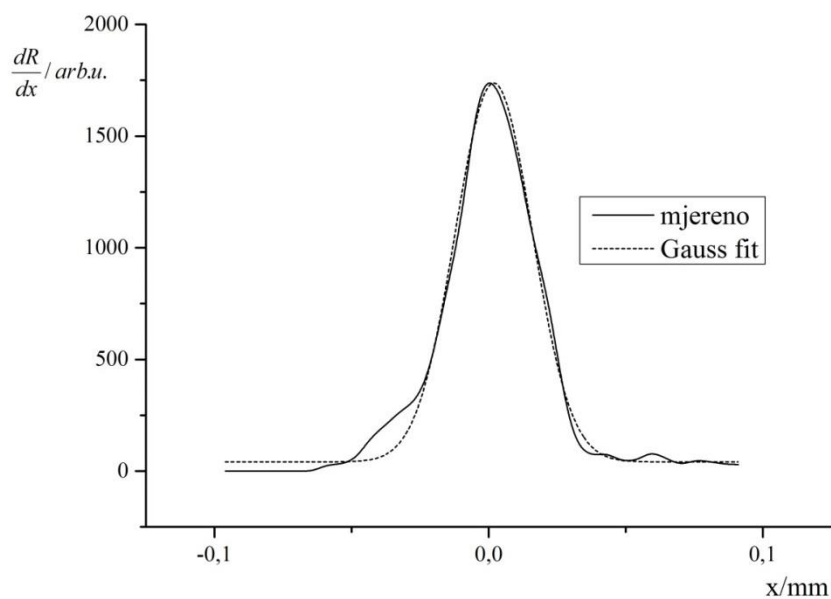


Splendorgel -0,1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Lorentz	0,98082	2,671	0,007	0,0418	99,659
Gauss	0,95407	19,703	0,007	0,0421	72,767

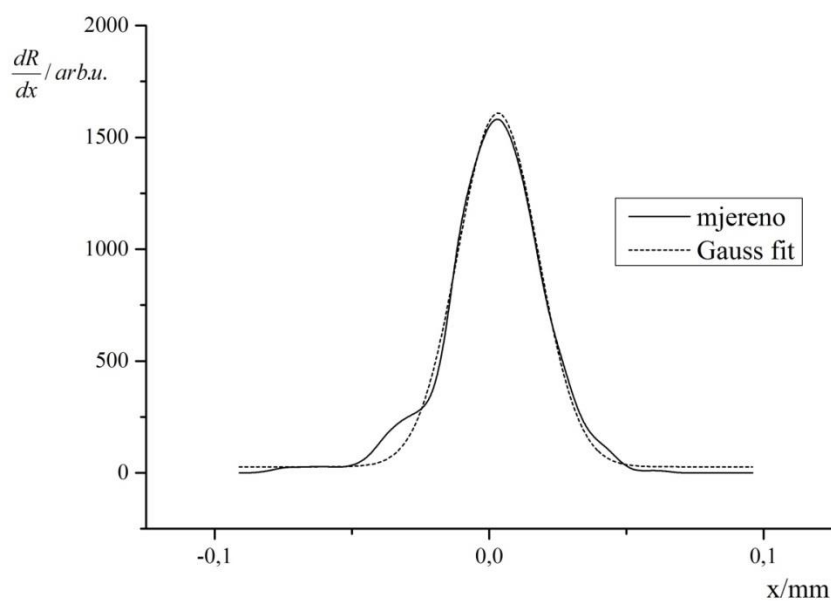
Slika 137. Indigo Turbo Stream - profil optičkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak



Navigator-0,1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,91508	120,567	0,002	0,0201	50,105



Arcoprint-0,1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,98718	41,387	0,002	0,0281	59,817

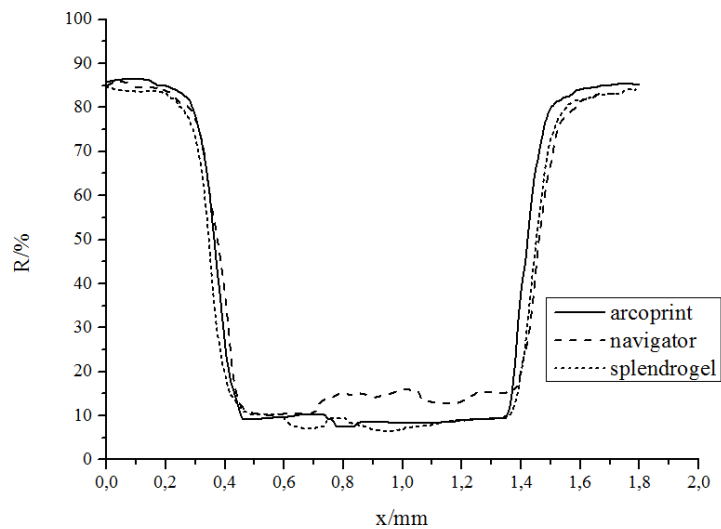


Splendorgel -0,1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,99013	27,183	0,003	0,0293	58,042

Slika 138. Indigo Turbo Stream - profil mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak

### 8.3.9. Epson Stylus Pro 7000

#### 8.3.9.1. Nominalna debljina linije 1 mm



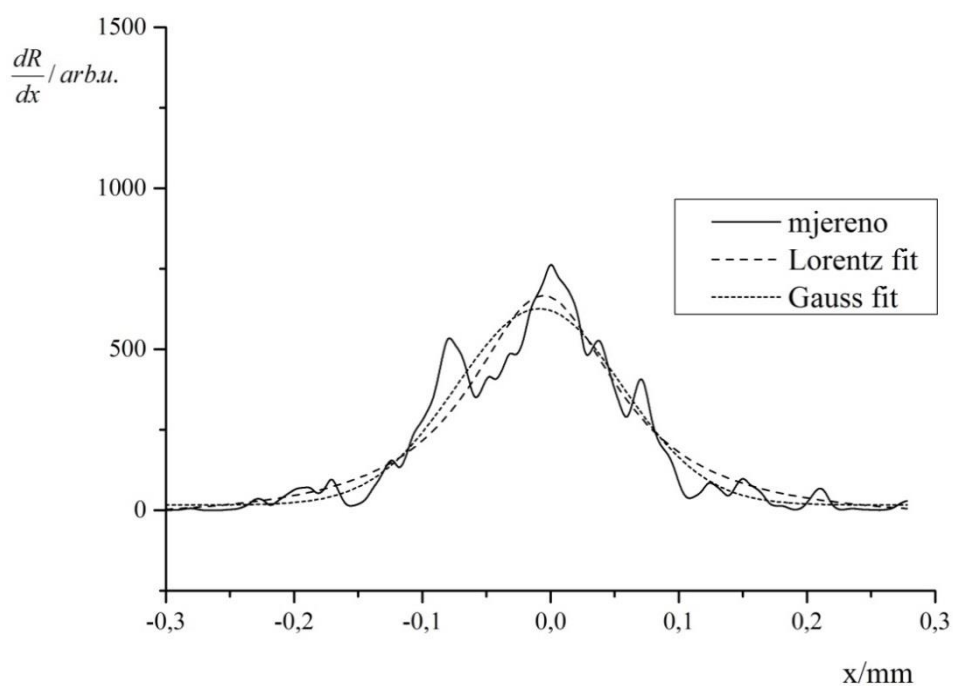
Slika 139. Epson Stylus Pro 7000 - reflektancijski profil 1 mm

Već na prvi pogled jasno se uočava neujednačenost reflektancijskih profila (slika 139.), što je posljedica nekonzistentnosti tehnike tiska, te značajna količina šuma.

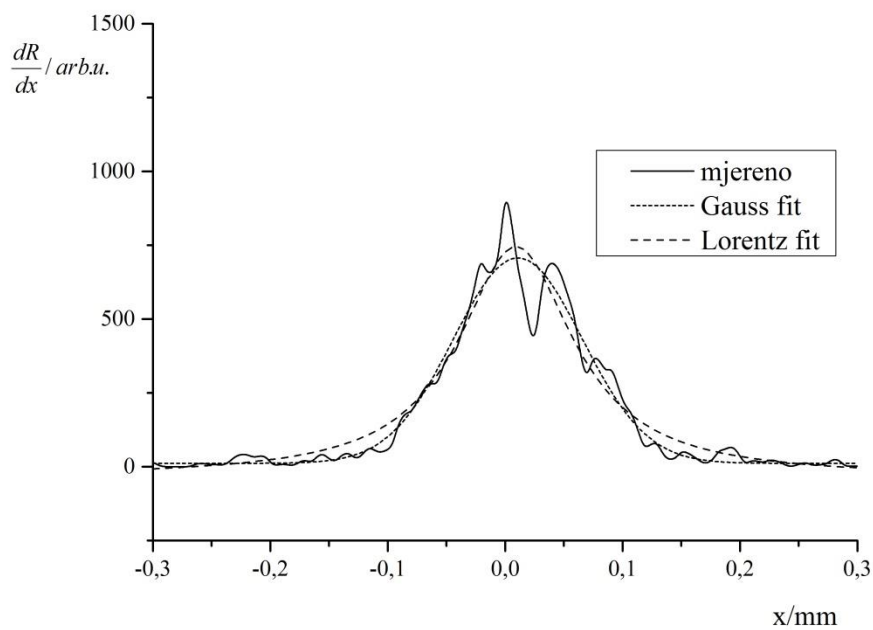
Profili optičkih prirasta rastertonske vrijednosti (slika 140.) upućuju na bolju aproksimiranost Gaussovom funkcijom s koeficijentom korelacije između 0,92 i 0,96, te istovremeno iznimno velikim širinama profila.

Širina profila u kombinaciji sa velikim udjelom šuma rezultirala je boljim opisom Gaussovom funkcijom u usporedbi s prethodnim slučajevima gdje dominantna Lorentzova funkcija.

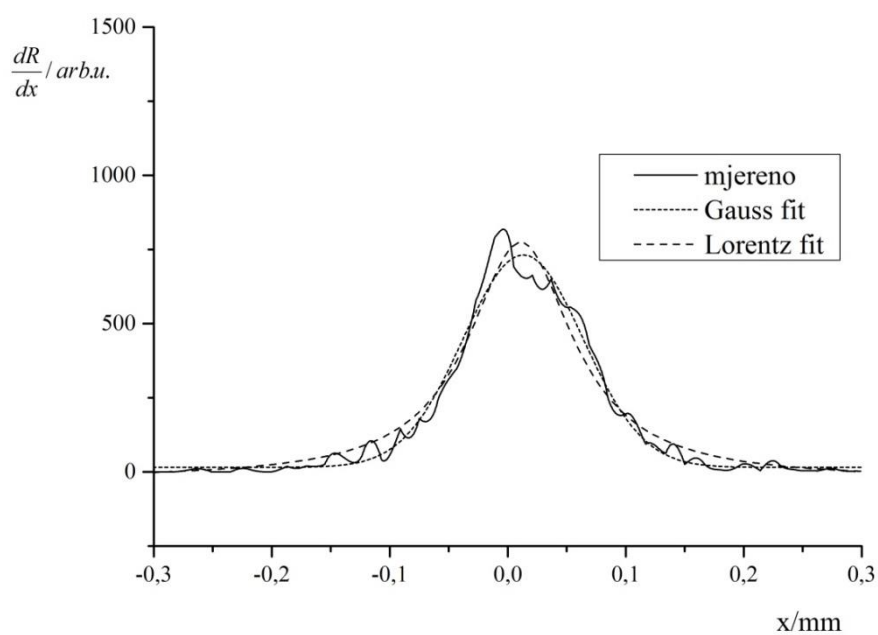
Mehanički prirasti rastertonske vrijednosti također sadrže značajne količine šuma zbog čega je koeficijent korelacije s Gaussovom funkcijom relativno nizak (između 0,88 i 0,94).



Navigator-1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Lorentz	0,91303	-35,245	-0,005	0,1409	155,467
Gauss	0,92493	16,673	-0,008	0,1294	98,811

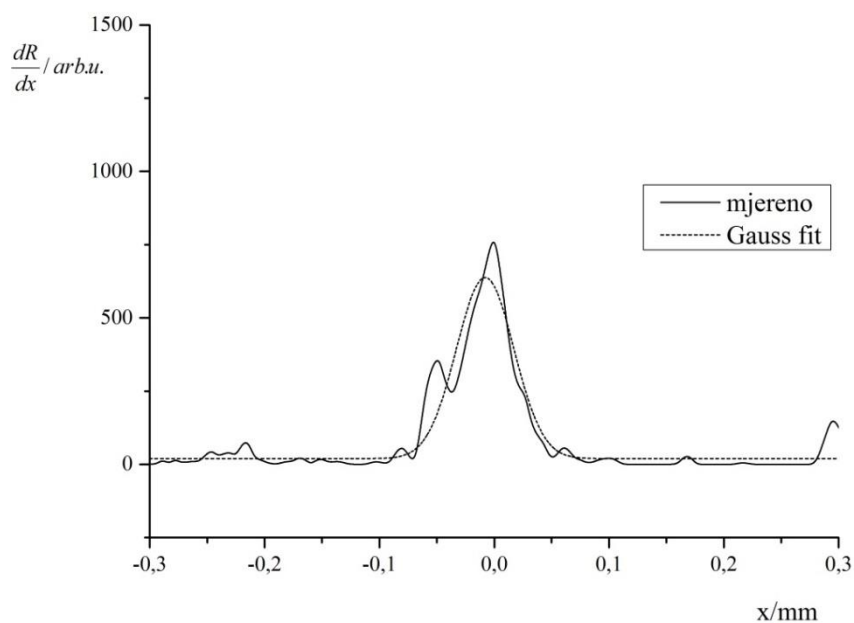


Arcoprint-1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Lorentz	0,93443	-34,802	0,009	0,1197	146,555
Gauss	0,95123	11,841	0,010	0,1098	95,652

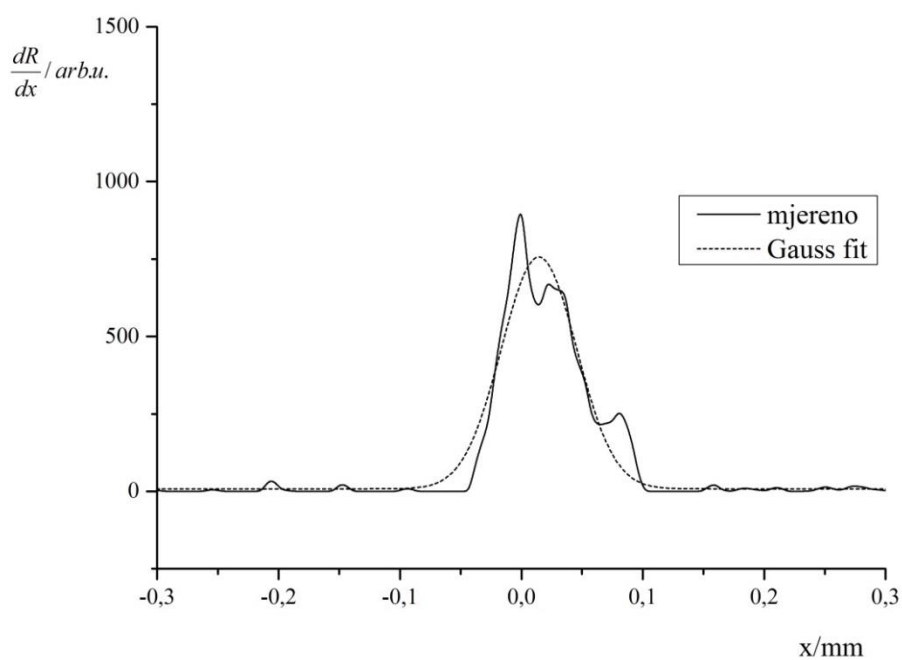


Splendorgel -1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Lorentz	0,95404	-25,158	0,01	0,1087	136,502
Gauss	0,96902	15,774	0,01	0,1017	91,236

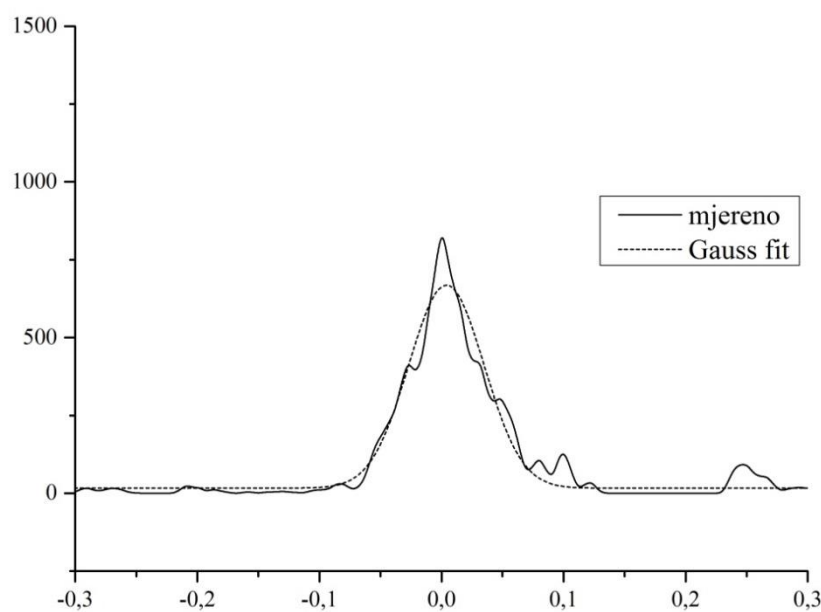
Slika 140. Epson Stylus Pro 7000 - profil optičkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak



Navigator-1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,88815	19,579	-0,007	0,0502	38,878



Arcoprint-1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,927	8,219	0,01	0,062	58,173

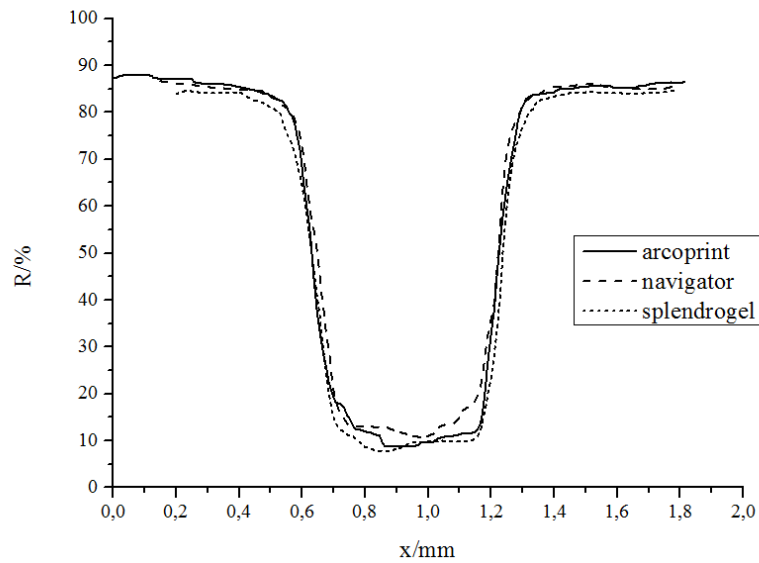


Splendorgel-1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,94192	16,586	0,004	0,0618	50,491

Slika 141. Epson Stylus Pro 7000 - profil mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak



### 8.3.9.2. Nominalna debljina linije 0,5 mm

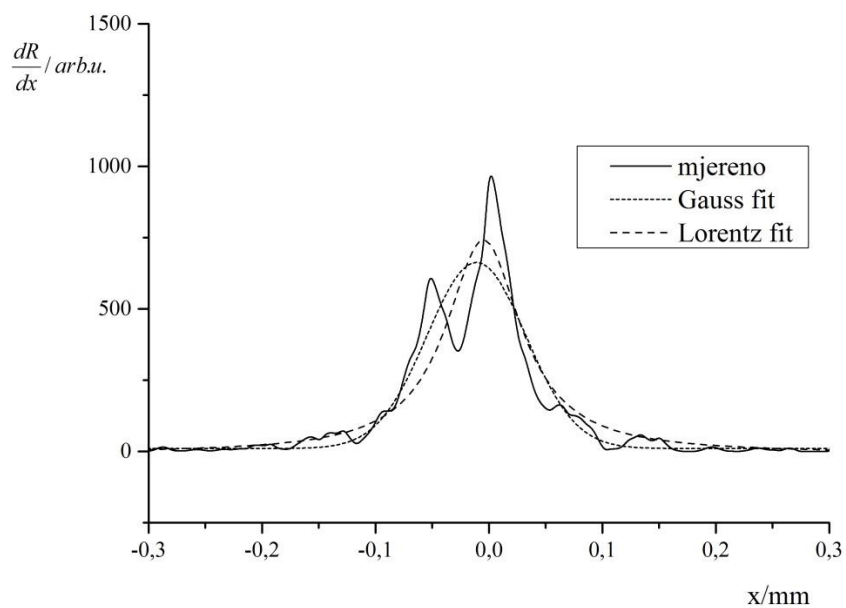


Slika 142. Epson Stylus Pro 7000 - reflektancijski profil 0,5 mm

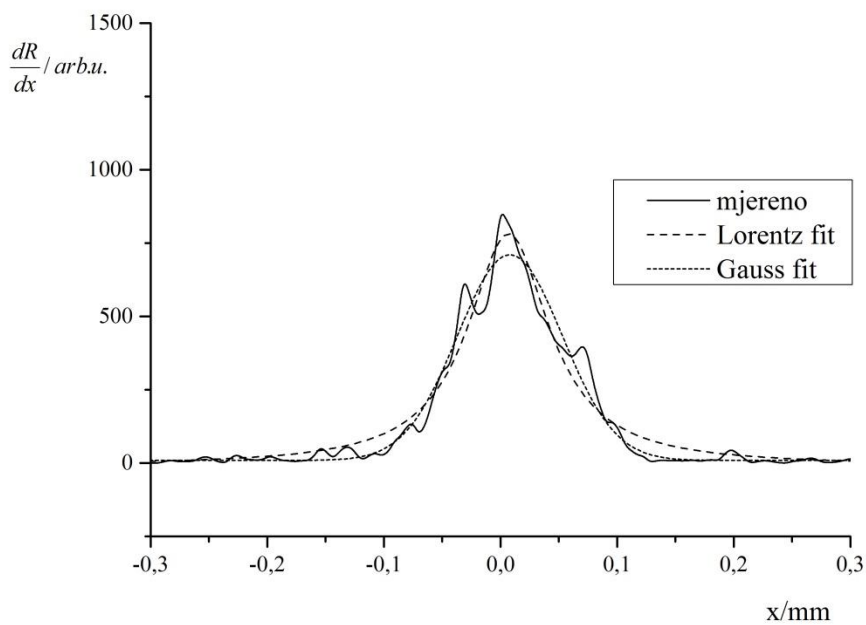
Reflektancijski profili otisnutih linija (slika 142.) ukazuju na nedosljednost tiska, budući da ne možemo govoriti o nikakvoj simetriji lijeve i desne polovine profila.

Razlike između koeficijenata korelacije Gaussove i Lorentzove funkcije su minimalne, te zbog velikog šuma i širokog profila upitno je da li se može govoriti o boljoj aproksimiranosti određenom funkcijom.

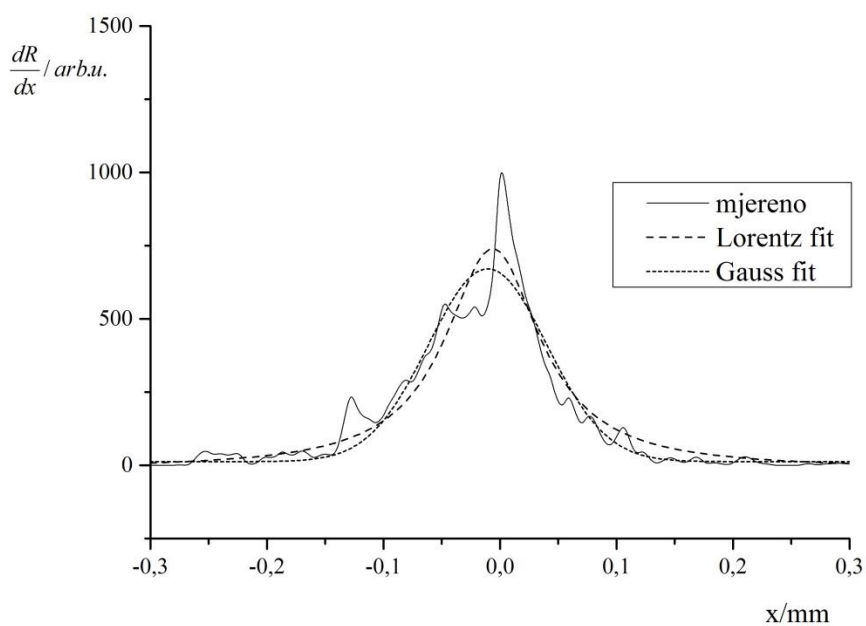
Potpuno istu stvar možemo konstatirati i za profile mehaničkog prirasta koji opet imaju koeficijent slaganja s Gaussovom funkcijom između 0,88 i 0,94.



Navigator-0,5mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Lorentz	0,87773	-7,282	-0,005	0,0809	95,251
Gauss	0,88321	10,621	-0,01	0,0873	71,371

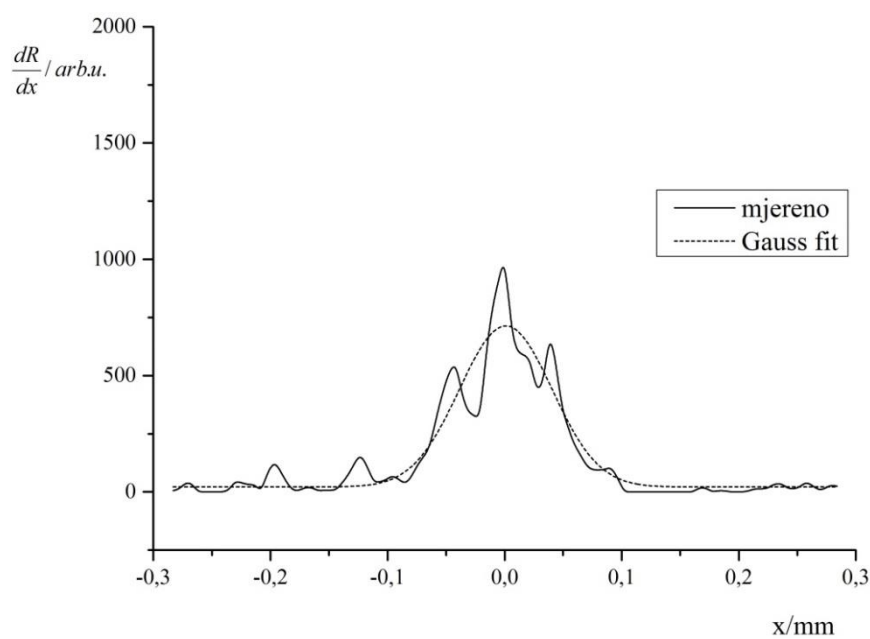


Arcoprint-0,5mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Lorentz	0,95222	-9,009	0,006	0,0858	106,553
Gauss	0,96405	9,335	0,008	0,0910	79,136

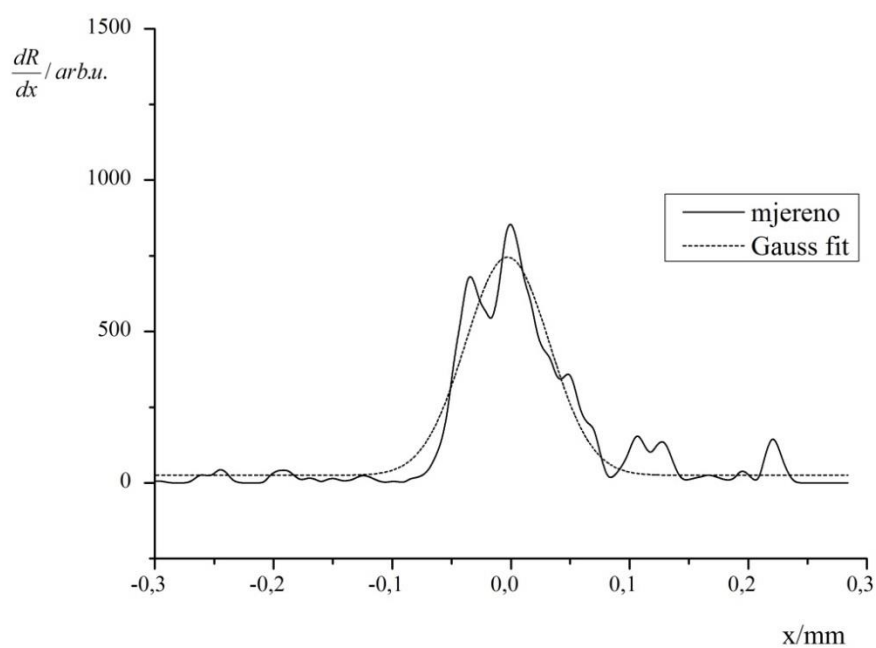


Splendorgel -0,5mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Lorentz	0,91906	-12,771	-0,006	0,0994	117,579
Gauss	0,9129	12,880	-0,01	0,1017	83,945

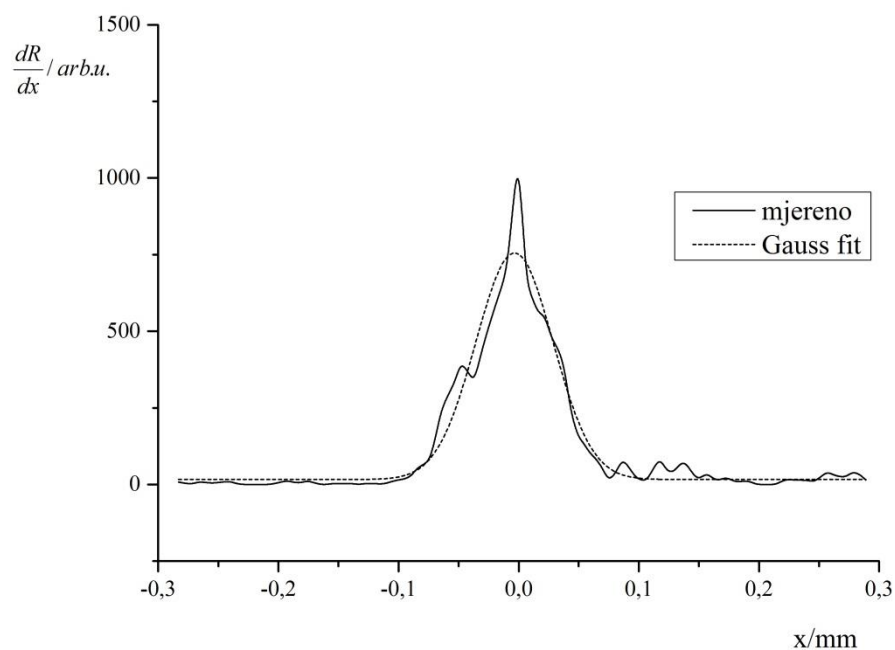
Slika 143. Epson Stylus Pro 7000 - profil optičkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,5 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak



Navigator-0,5mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,87938	84,881	0	0,0793	68,786



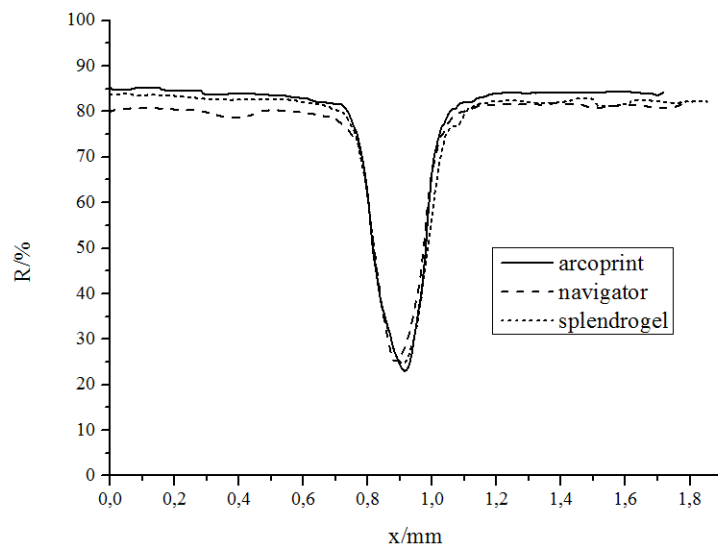
Arcoprint-0,5mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,91978	25,074	-0,002	0,0707	63,885



Splendorgel -0,5mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,94218	16,441	-0,003	0,0644	59,659

Slika 144. Epson Stylus Pro 7000 - profil mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,5 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak

### 8.3.9.3. Nominalna debljina linije 0,1 mm

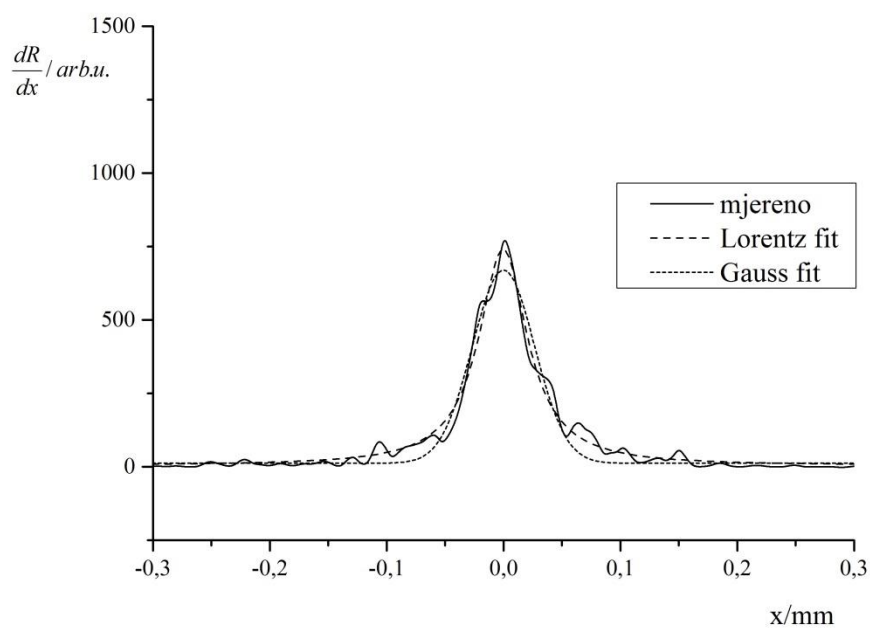


Slika 145. Epson Stylus Pro 7000 - reflektancijski profil 0,1 mm

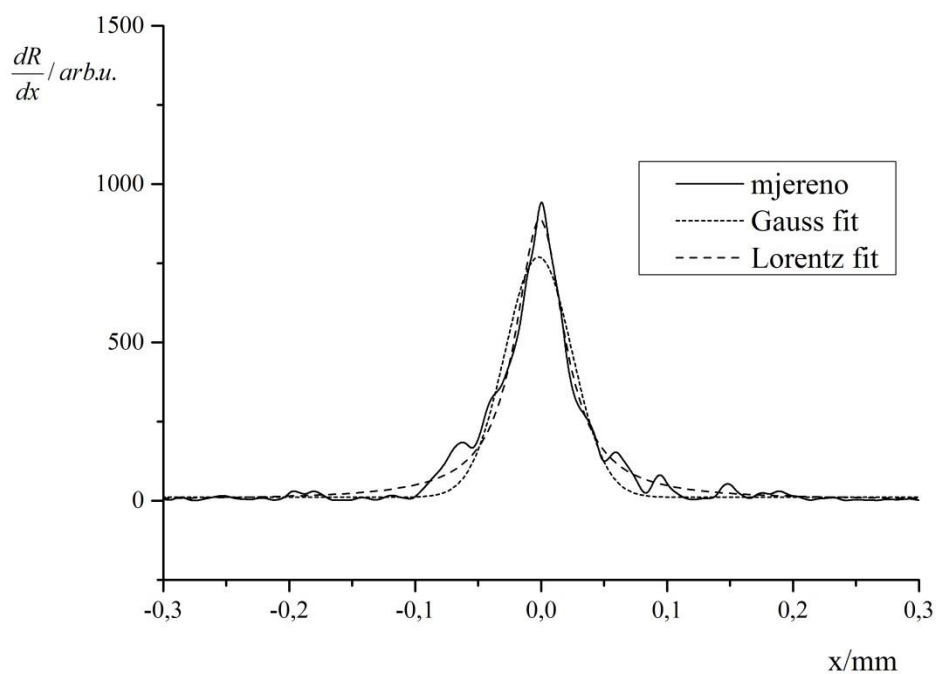
Slika 145. koja prikazuje reflektancijske profile reproduciranih uzoraka ponovno upućuje na nesimetričnost otisaka. Maksimalna reflektancija otiska na uredskom papiru pokazuje približno 5% veće vrijednosti s desne strane profila, dok je za otisak na papiru za digitalni tisak karakterističan strmiji prijelaz između otisnutog i ne otisnutog dijela, na desnoj polovini profila.

Profili optičkih prirasta rastertonske vrijednosti zbog manje količine šuma, u usporedbi s otiscima nominalne debljine 1 mm, bolje koreliraju s Lorentzovom funkcijom, s iznimno malom razlikom između Gaussove i Lorentzove funkcije na otisku reproduciranom na papiru za digitalni tisak.

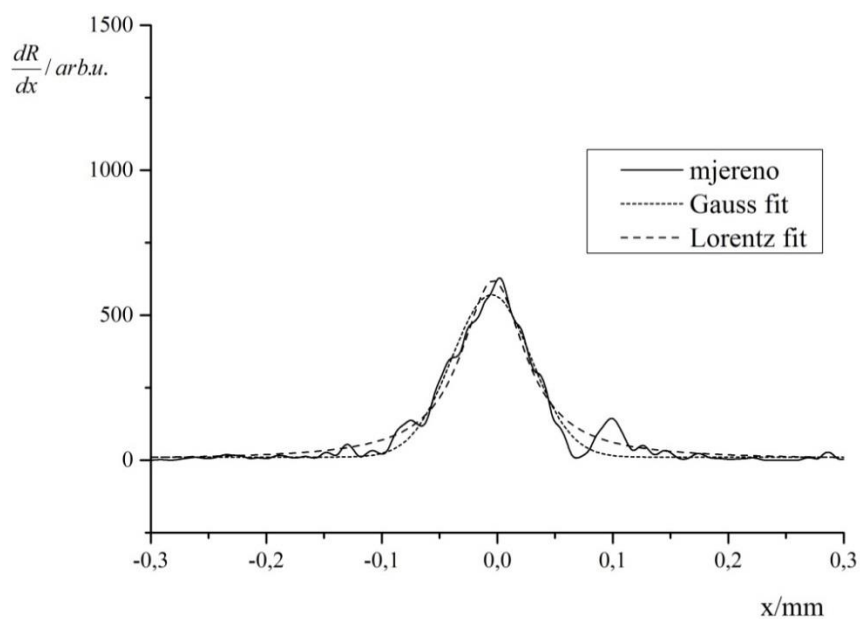
Velika širina mehaničkih profila rastertonskih vrijednosti, u superpoziciji s značajnom količinom šuma, onemogućava uvjerljivu aproksimaciju profila Gaussovom funkcijom, te ona prostire u intervalu od 0,85 do 0,89.



Navigator-0,1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Lorentz	0,96788	4,106	0	0,0509	58,862
Gauss	0,94888	12,247	0	0,0534	43,994

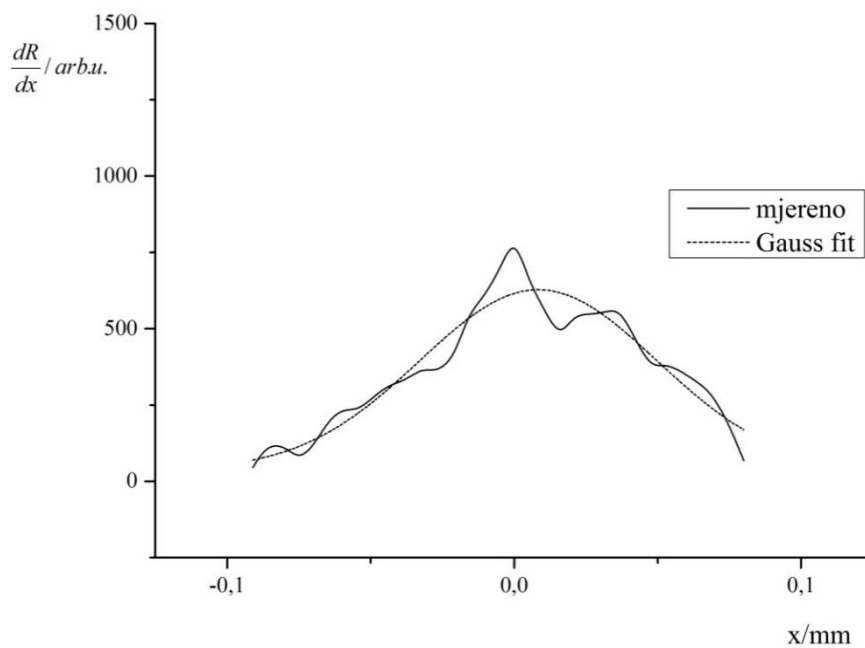


Arcoprint-0,1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Lorentz	0,9755	2,576	-0,001	0,0471	65,643
Gauss	0,94384	11,404	-0,002	0,0533	50,639

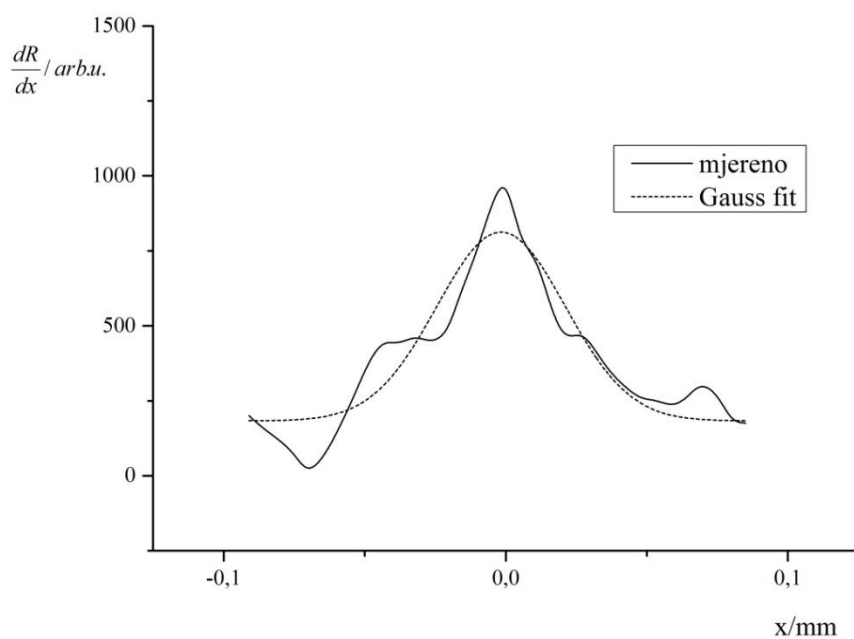


Splendorgel -0,1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Lorentz	0,95142	2,130	-0,003	0,0676	65,583
Gauss	0,95078	10,688	-0,005	0,0692	48,611

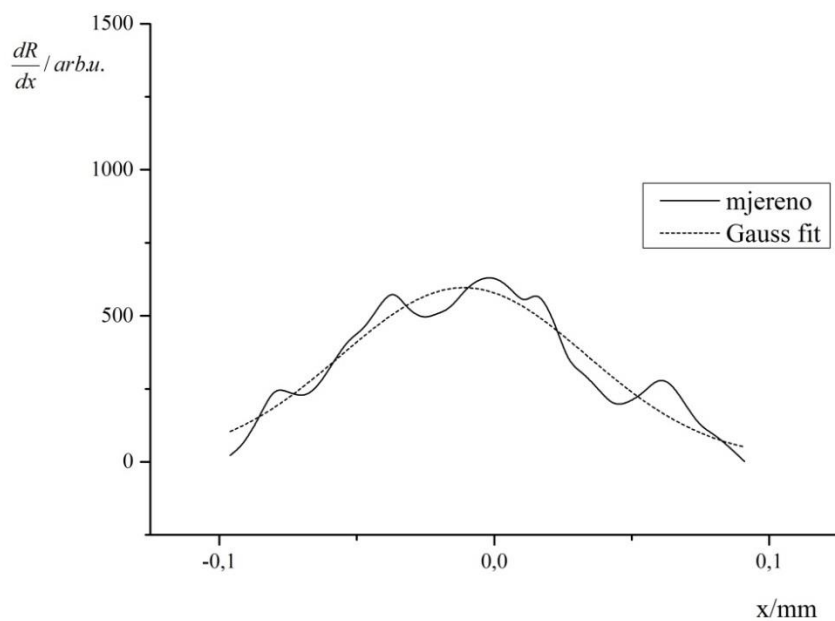
Slika 146. Epson Stylus Pro 7000 - profil optičkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak



Navigator-0,1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,88651	37,398	0,008	0,0826	61,129



Arcoprint-0,1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,85068	182,994	0,001	0,0456	35,974



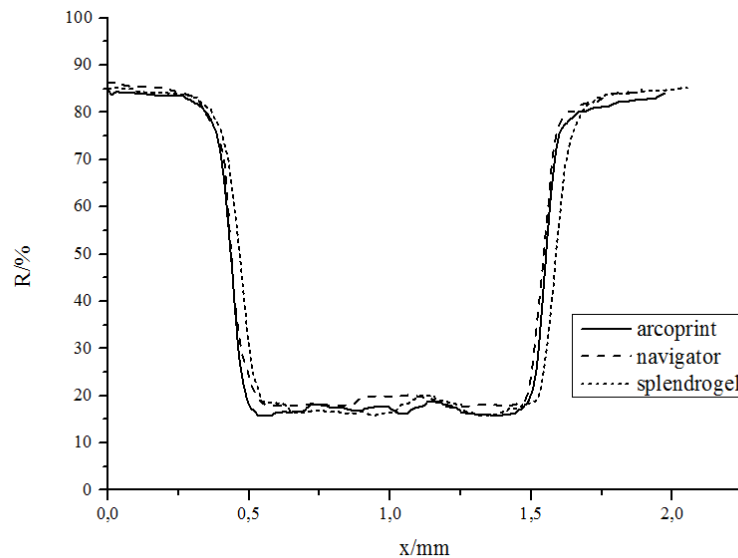
Splendorgel -0,1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,89052	7,572	-0,1	0,0893	65,945

Slika 147. Epson Stylus Pro 7000 - profil mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak



### 8.3.10. Epson Stylus Photo 2400

#### 8.3.10.1. Nominalna debljina linije 1 mm

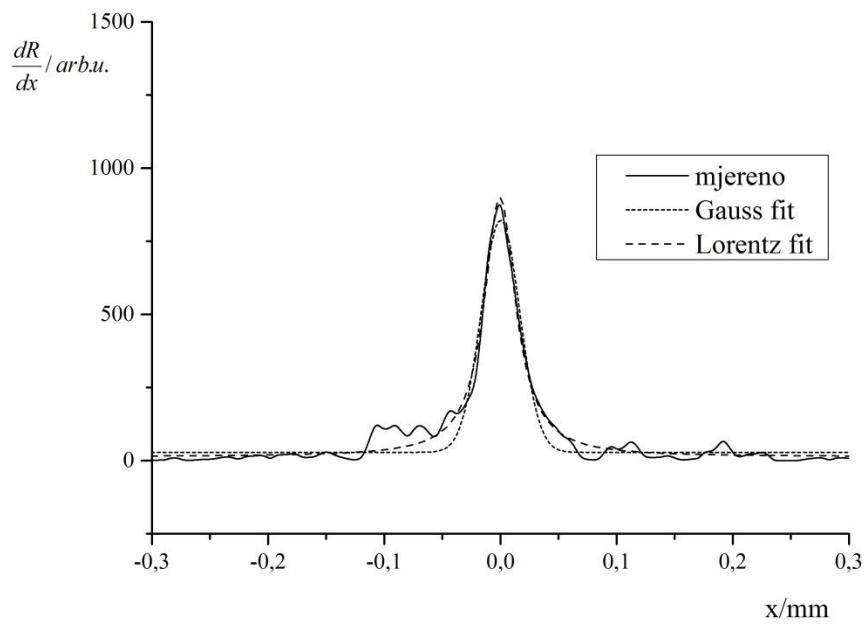


Slika 148. Epson Stylus Photo 2400- reflektancijski profil 1 mm

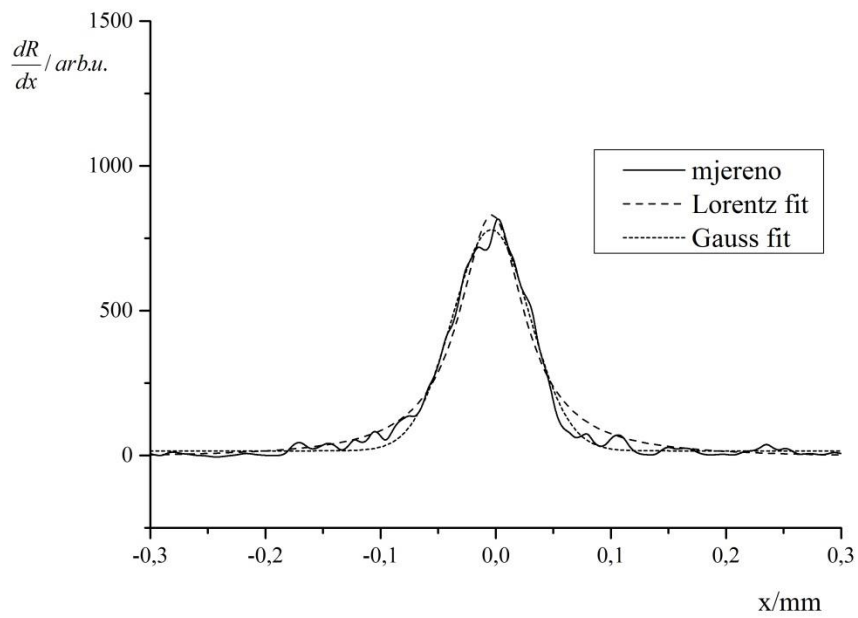
Reflektancijski profili (slika 148.) otkrivaju neravnomjernost nanešenog bojila, te nepostojanje oštih rubova, tj. prijelaza između otisnutih i neotisnutih dijelova.

Profili optičkih prirasta rastertonske vrijednosti (slika 149.) se međusobno jako razlikuju, tako da je za otisak na uredskom papiru adekvatniji opis profila Lorentzovom funkcijom, sa širinom profila  $0,033 \text{ mm}$ , dok su preostali profili dva, odnosno tri puta širi i pokazuju neznatno točniju aproksimaciju Gaussovom funkcijom, što je također povezano sa stupnjem šuma, jer se ustanovilo da se otisak s najmanjim udjelom šuma najviše približio Lorentzovoj funkciji.

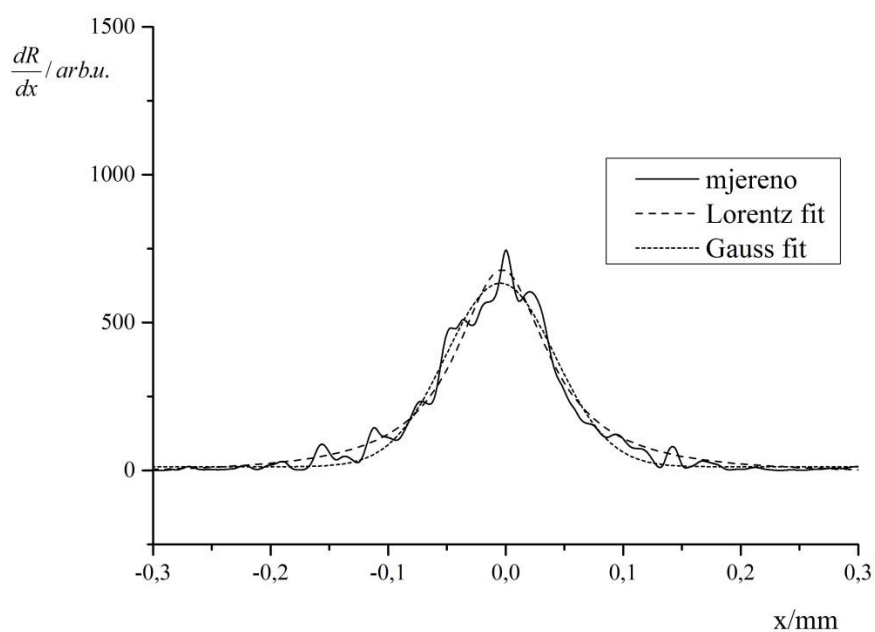
Što se tiče mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti, iz slike 150. je vidljivo da profil mehaničkog prirasta na ofsetnom papiru ima najmanje šuma, čime je i njegovo slaganje s Gaussovom funkcijom veće (koeficijent korelacije  $>0,98$ ), dok profil mehaničkog prirasta na uredskom papiru ima najviše šuma, ali i dalje zadovoljavajuće korelira s Gaussovom funkcijom ( $>0,95$ ).



Navigator-1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Lorentz	0,96837	13,415	0	0,0330	45,969
Gauss	0,93636	28,569	0	0,0333	33,077

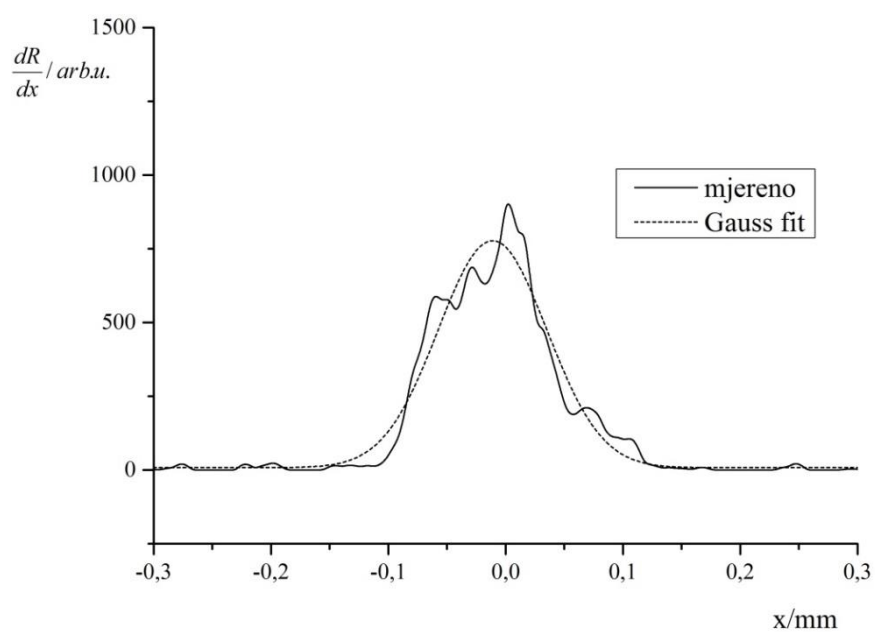


Arcoprint-1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Lorentz	0,9718	-9,068	-0,003	0,0692	91,228
Gauss	0,98446	16,244	-0,004	0,0675	64,557

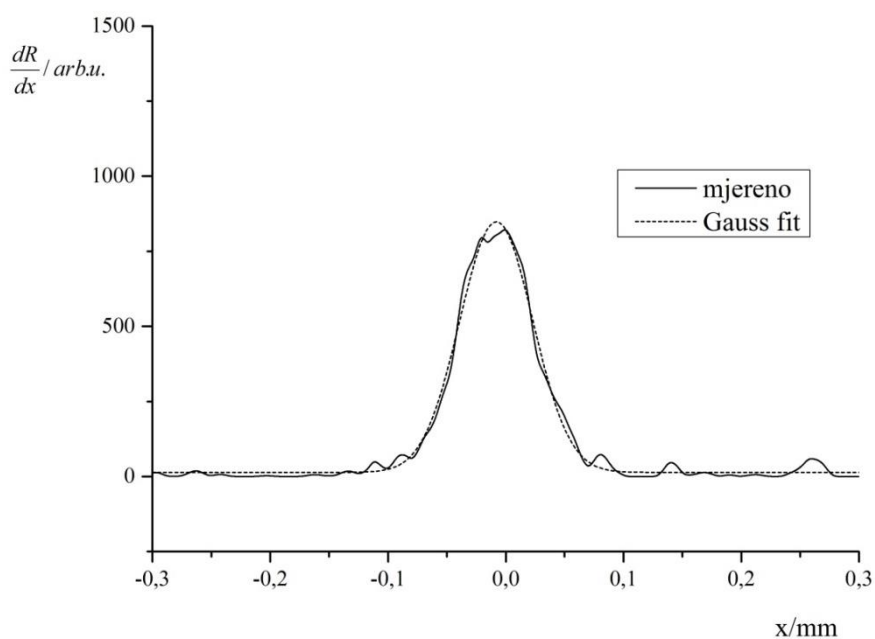


Splendorgel -1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Lorentz	0,96468	-14,203	-0,003	0,0961	104,630
Gauss	0,96671	12,638	-0,004	0,0929	72,282

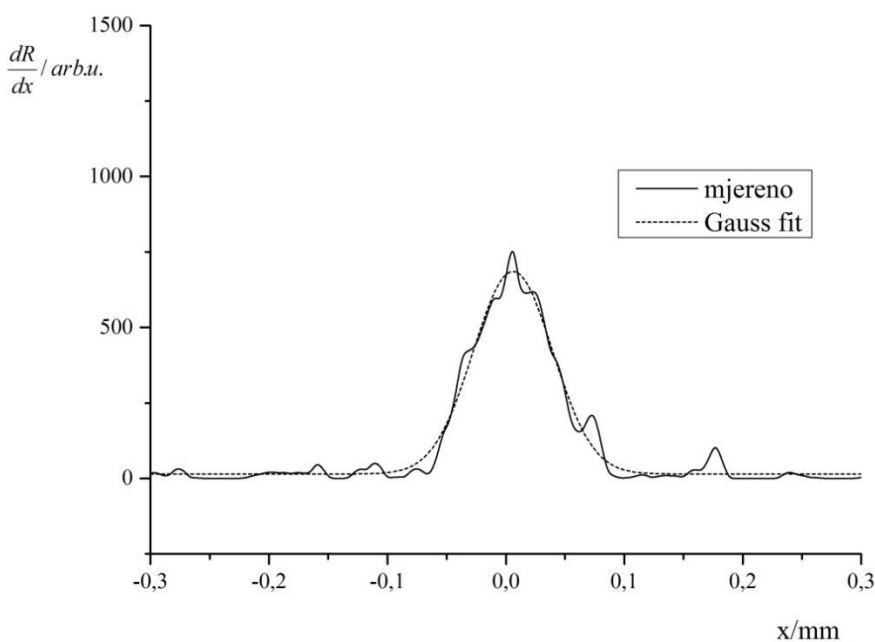
Slika 149. Epson Stylus Photo 2400 - profil optičkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak



Navigator-1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,95629	8,108	-0,01	0,0929	89,605



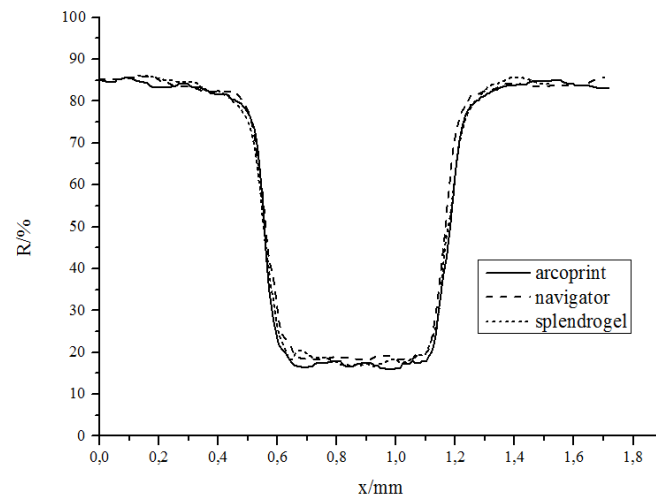
Arcoprint-1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,98526	13,864	-0,008	0,0621	65,003



Splendorgel-1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,96076	14,803	0,006	0,0672	56,470

Slika 150. Epson Stylus Photo 2400 - profil mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak

### 8.3.10.2. Nominalna debljina linije 0,5 mm

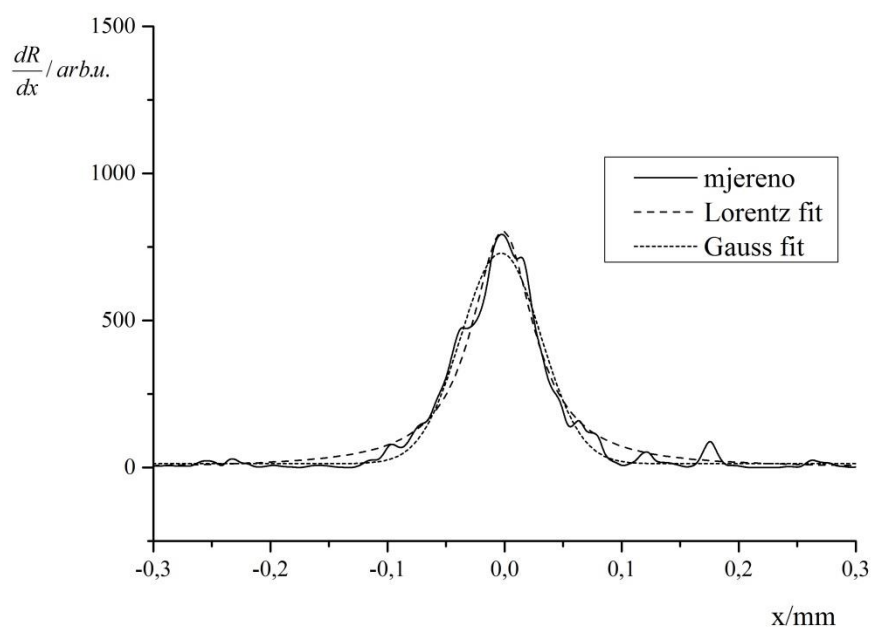


Slika 151. Epson Stylus Photo 2400- reflektancijski profil 0,5 mm

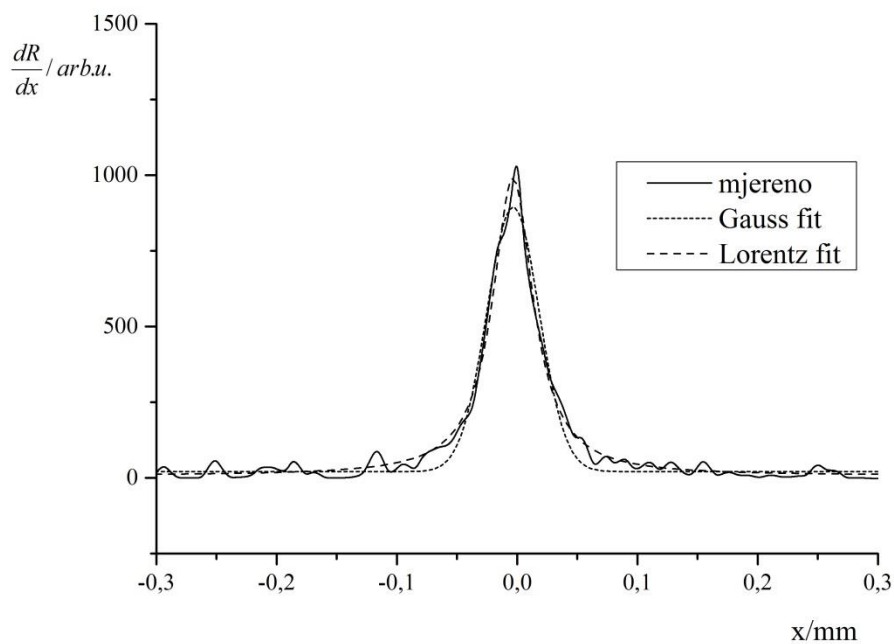
Iz slike 151. uočava se nedefiniranost prijelaza između otisnutih i ne otisnutih dijelova, uz neravnomjeran nanos bojila i pojavu sekundarnih kapljica, pogotovo na papiru za digitalni tisak.

Svi profili optičkih prirasta rastertonskih vrijednosti (slika 152.) pokazuju različite karakteristike, profil otiska na ofsetnom papiru ima veći stupanj korelacije s Lorentzovom funkcijom, te najuži profil,  $0,0412\text{ mm}$ , za razliku od preostala dva profila koji su bolje aproksimirani Gaussovom funkcijom i posjeduju nešto širi profil.

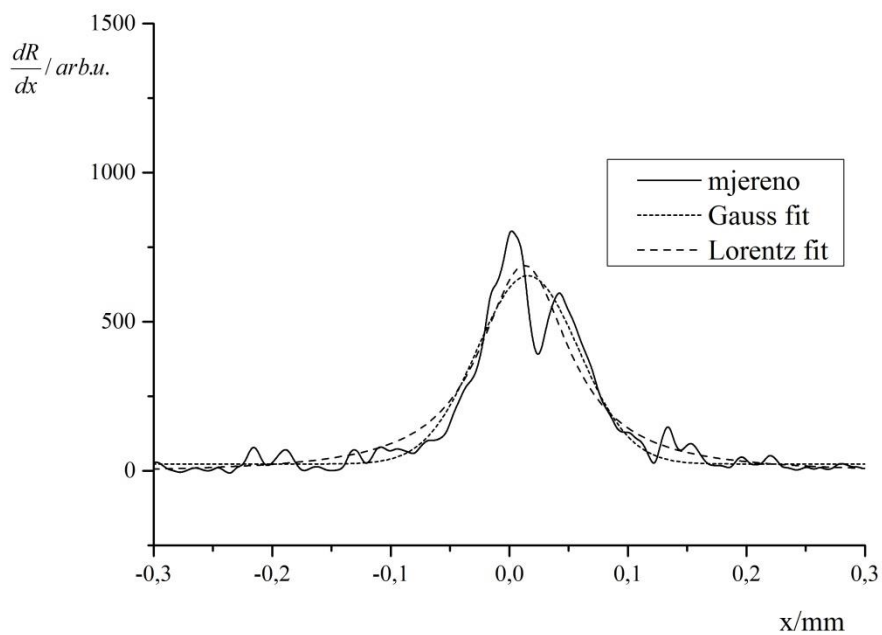
Profili mehaničkih prirasta rastertonske vrijednosti (slika 153.) sadrže iznimno izražen šum, uz pojavu dvostrukih, pa i trostrukih središnjih maksimuma koji negativno utječu na pokušaj prilagođavanja njihovih profila Gaussovoj funkciji, te koeficijent korelacije nije veći od  $0,92$ , sa popriličnom širokim profilom.



Navigator-0,5mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Lorentz	0,96731	-2,471	-0,001	0,0650	83,307
Gauss	0,9716	13,375	-0,003	0,0683	61,349

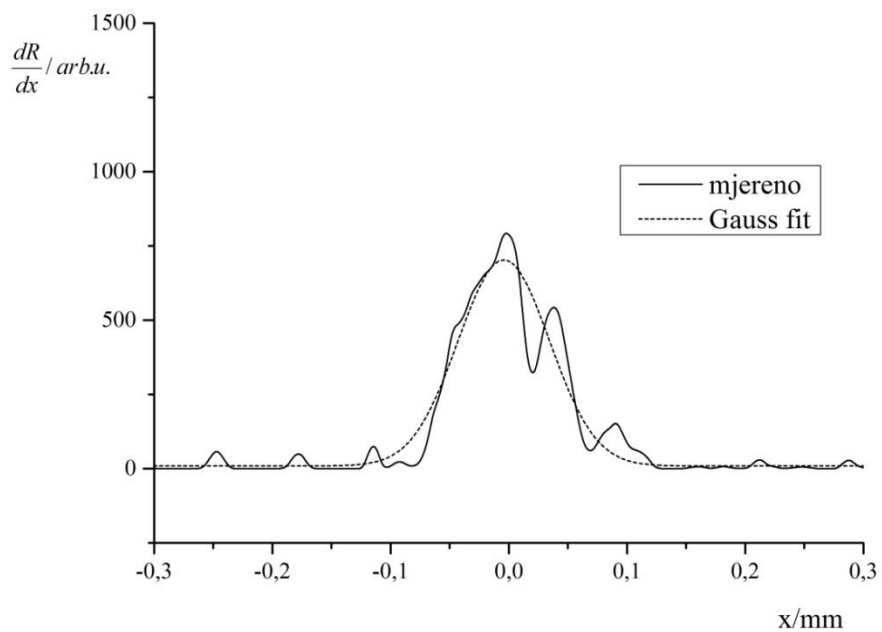


Arcoprint-0,5mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Lorentz	0,97664	7,667	-0,003	0,0412	63,608
Gauss	0,96069	21,061	-0,003	0,0435	47,573

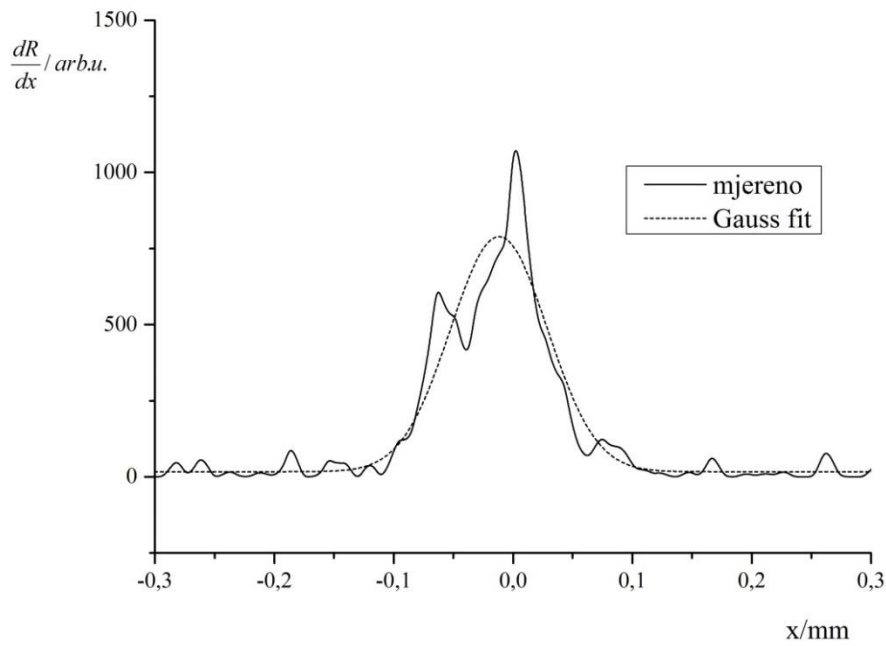


Splendorgel -0,5mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Lorentz	0,90742	-8,828	0,01	0,0920	101,094
Gauss	0,9196	23,213	0,01	0,0861	68,075

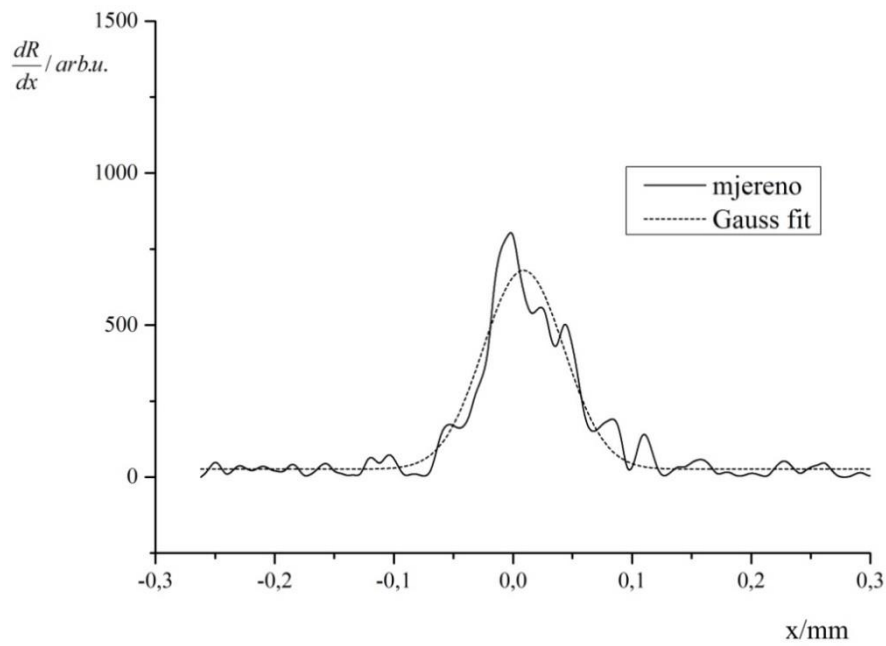
Slika 152. Epson Stylus Photo 2400 - profil optičkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,5 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak



Navigator-0,5mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,92196	9,369	-0,004	0,0776	67,447



Arcoprint-0,5mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,90141	17,029	-0,012	0,0814	78,757

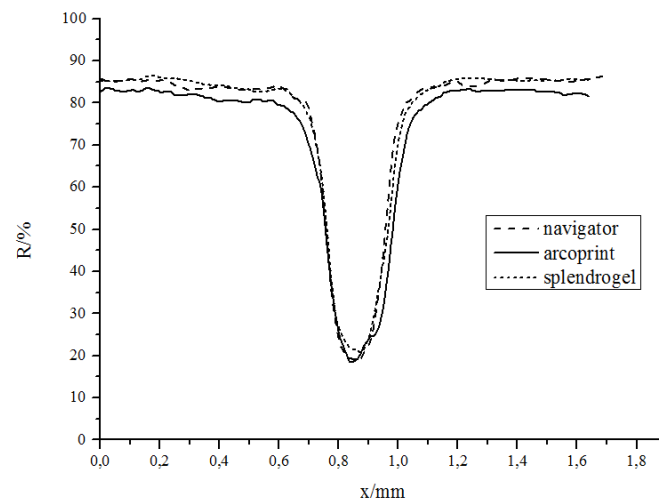


Splendorgel-0,5mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,92159	26,164	0,008	0,0680	55,768

Slika 153. Epson Stylus Photo 2400 - profil mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,5 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak



### 8.3.10.3. Nominalna debljina linije 0,1 mm

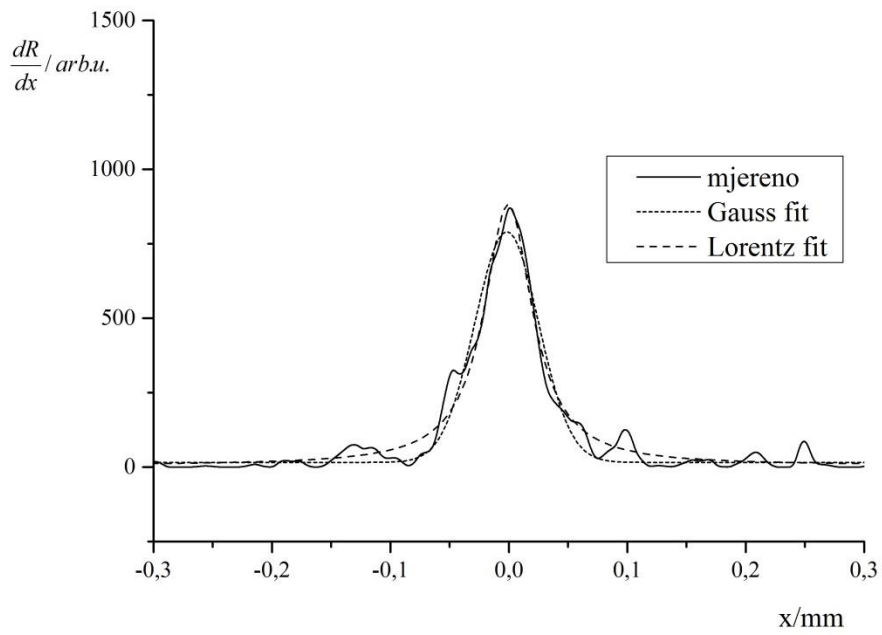


Slika 154. Epson Stylus Photo 2400 - reflektancijski profil 0,1 mm

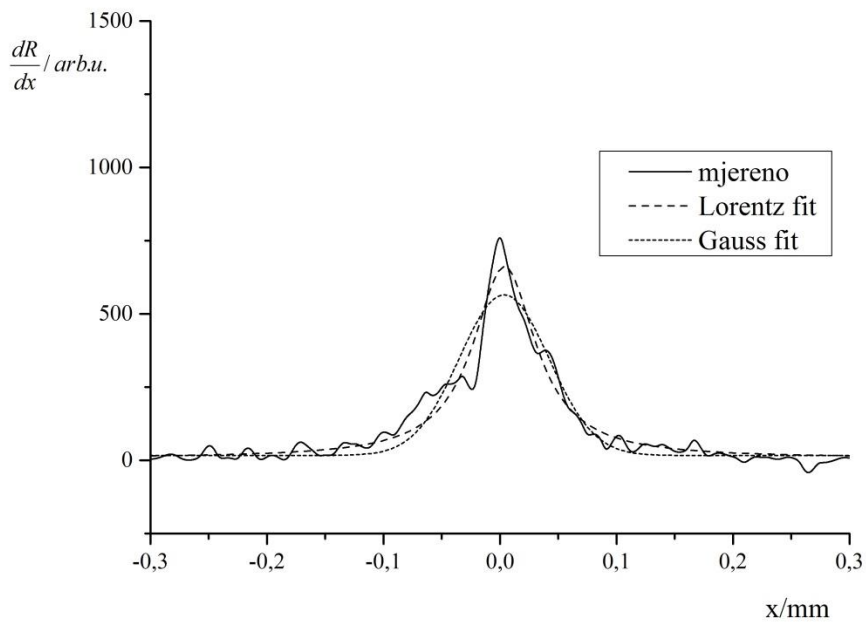
Iz reflektancijskih profila (slika 154.) se još jednom potvrđuje nesimetrija u izgledu lijeve i desne polovine profila, te razlike u samoj širini profila.

Profili optičkih prirasta rastertonskih vrijednosti (slika 155.) u sva tri slučaja potvrđuje dominaciju Lorentzove funkcije u usporedbi s Gaussovom čak i kod profila optičkog prirasta otisnutog na ofsetnom papiru koji je karakteriziran najvećim stupnjem šuma.

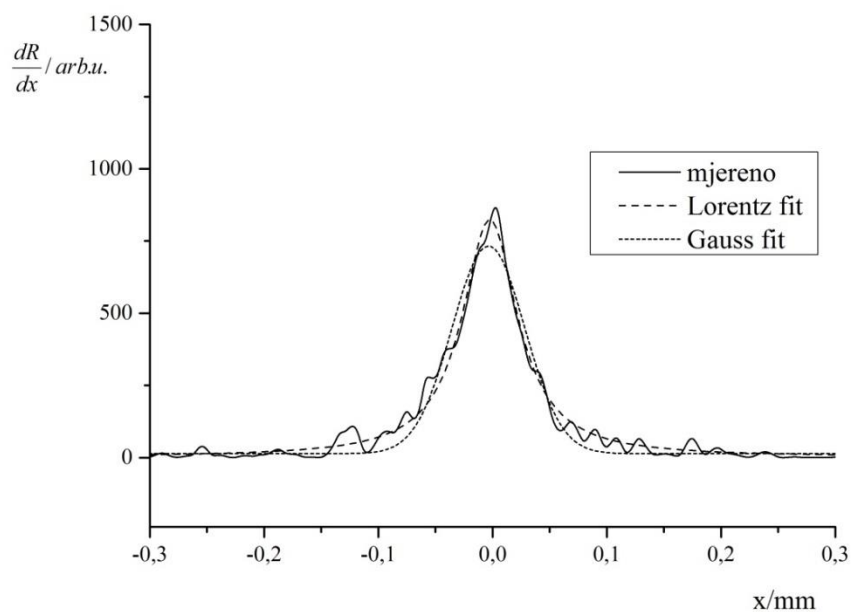
Slika 156. prikazuje profile mehaničkih prirasta rastertonskih vrijednosti, te se primjećuje zadovoljavajuće slaganje profila na uredskom papiru sa Gaussovom funkcijom (koeficijent korelacije  $>0,97$ ), profil mehaničkog prirasta za otisak na ofsetnom papiru ima nešto niži koeficijent korelacije s Gaussovom funkcijom,  $0,957$ , ali i dalje zadovoljavajući, dok je kod otiska na papiru za digitalni tisak koeficijent korelacije izrazito nizak,  $0,84$ , zbog nepravilnosti u izgledu profila.



Navigator-0,1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$W$	$A$
Lorentz	0,96544	6,167	0	0,0499	68,751
Gauss	0,9547	16,188	-0,002	0,0539	52,262

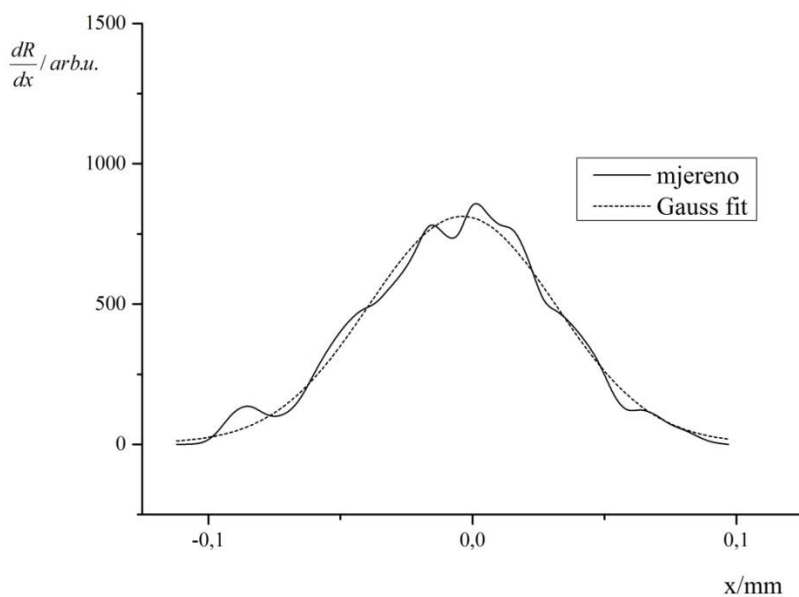


Arcoprint-0,1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$W$	$A$
Lorentz	0,9394	7,878	0,004	0,0661	67,862
Gauss	0,90779	16,863	0,003	0,0769	50,862

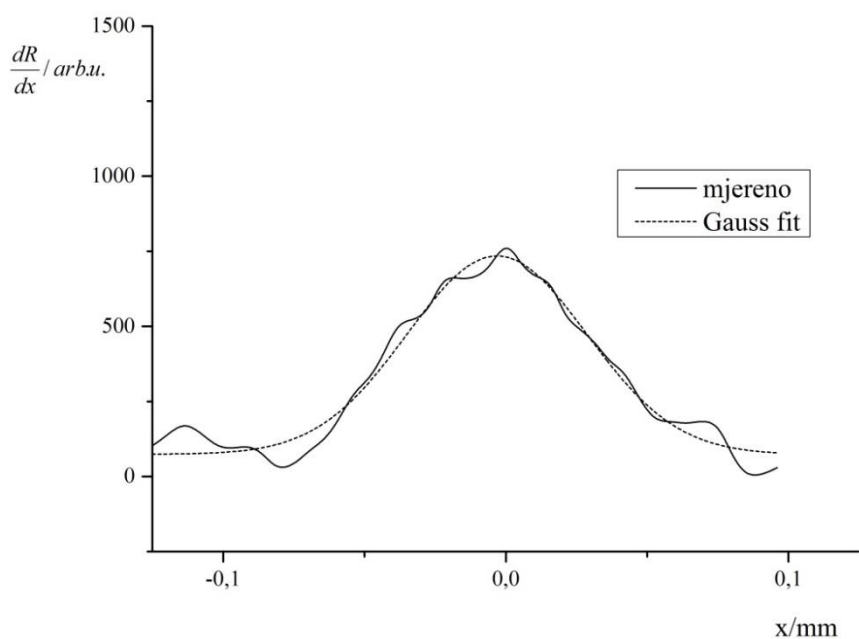


Splendorgel -0,1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$W$	$A$
Lorentz	0,97577	2,301	-0,002	0,0591	76,301
Gauss	0,95392	13,924	-0,003	0,0638	57,464

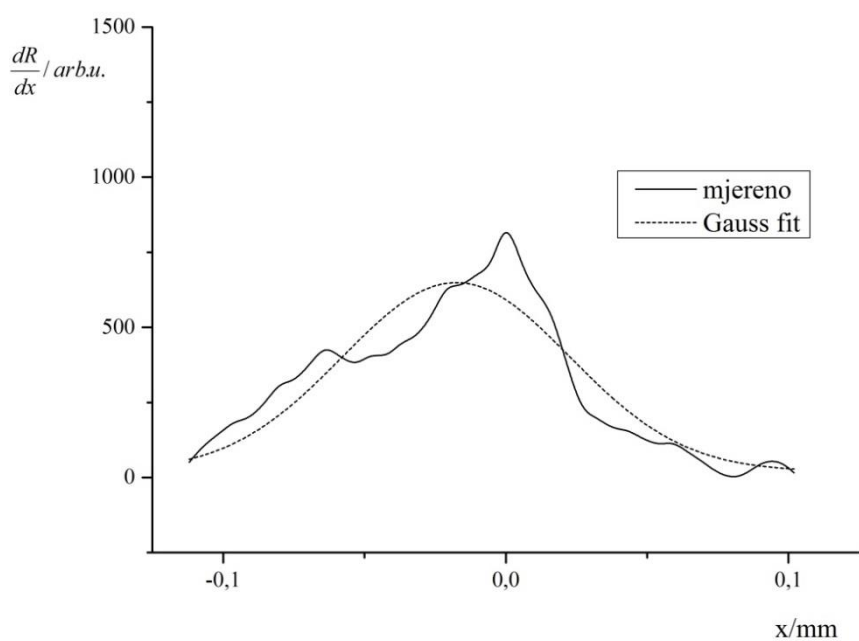
Slika 155. Epson Stylus Photo 2400 - profil optičkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak



Navigator-0,1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,97544	4,407	-0,003	0,0711	71,966



Arcoprint-0,1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,95796	74,122	-0,003	0,0636	52,612



Splendorgel -0,1mm	$R^2$	$y_0$	$x_c$	$w$	$A$
Gauss	0,84328	20,695	-0,01	0,0805	63,404

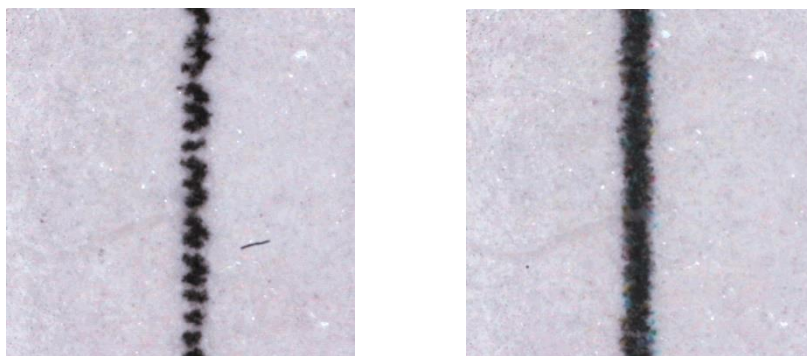
Slika 156. Epson Stylus Photo 2400 - profil mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak

## 8.4. Diskusija

### 8.4.1. Analiza opravdanosti izbora Lorentzove funkcije za opisivanje optičke komponente prirasta

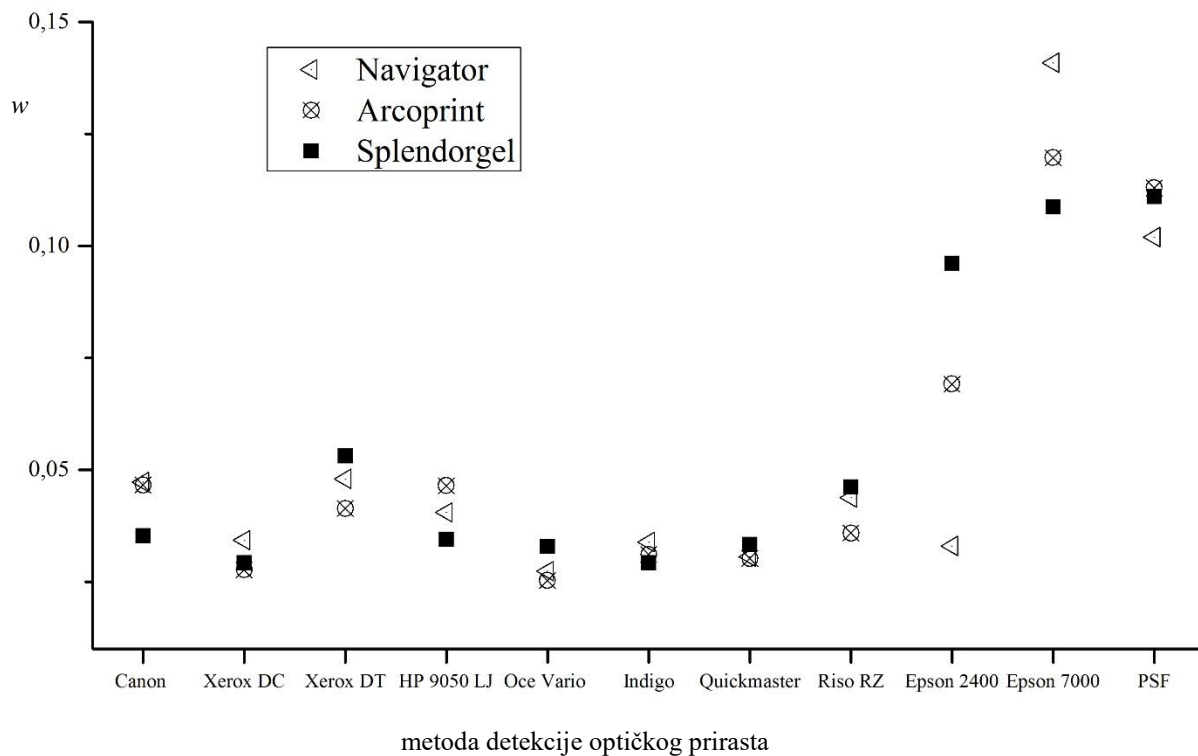
Od 90 generiranih profila optičkih komponenti prirasta, njih 80 pokazuje bolje slaganje s Lorentzovom funkcijom nego s Gaussovom. Ako posebno promotrimo otiske nastale elektrofotografijom i uređajima za plošni i propusni tisak možemo utvrditi da 98,6% dobivenih profila potvrđuje zadovoljavajući opis optičkog prirasta Lorentzovom funkcijom čime je u potpunosti opravdana osnovna hipoteza ovog istraživanja.

Nadalje, u slučaju otisaka nastalih inkjetom pokazuje se 50% slaganje profila optičkih prirasta s Lorentzovom funkcijom što je s obzirom na količinu šuma koja se javlja na otisku, a koji se dodatno pojačava derivacijom, prihvatljiv rezultat. Naravno, nameće se pitanje korištenja jačeg izgladivanja s ciljem minimizacije šuma. Ovu problematiku je najlakše objasniti na primjeru. Uzmimo npr. profil optičkog prirasta linije  $0,1\text{mm}$  otisnut na ofsetnom papiru koji ima koeficijent korelacije s Lorentzovom funkcijom  $0,9755$ , a s Gaussovom  $0,9438$ . Kada ovaj profil podvrgnemo dodatnom izgladivanju, koeficijent korelacije profila s Lorentzovom funkcijom se uistinu poveća na  $0,9807$ , ali istovremeno, podudaranje s Gaussovom funkcijom naraste na  $0,9877$ , tj. profil odjednom postaje bolje aproksimiran Gaussovom funkcijom. Ovo je jasan pokazatelj da pretjerano izgladivanje vodi Gaussovom profilu optičkog prirasta što je jedan od razloga aproksimiranja funkcije razmazivanja točke Gaussovom funkcijom. Povijesno gledajući izbor Gaussove funkcije je bio uvjetovan dostupnom tehnologijom obrade podataka, naime, Fourierov transform Gaussove funkcije je Gaussova funkcija što olakšava proces konvolucije što je bilo iznimno bitno tijekom ručne obrade podataka.



Slika 157. Otisak linije nominalne širine  $0,1\text{mm}$  na fotokopirnom papiru a) Epson 7000 b) Epson 2400

Zajedničkim prikazivanjem svih mjerenih vrijednosti parametra  $w$  Lorentzove funkcije optičkih profila dobivenih za otiske širine 1mm za sve uređaje, može se steći bolji uvid o prosječnom raspršenju svjetlosti ovisno o tehnici tiska (slika 158). S tim u vezi pokazuje se grupiranost vrijednosti s obzirom na upotrebljenu tehniku tiska, te se može ustvrditi vrijednost parametra  $w$  raspršenja svjetlosti za elektrofotografiju s praškastim tonerom u intervalu od 0,0277 do 0,0531, što se tiče elektrofotografije s tekućim tonerom i plošnog tiska vrijednosti parametra  $w$  su od 0,0293 do 0,0339. Ove vrijednosti mogu biti indikativne za procjenu optičkog prirasta ostalih nepremazanih papira sličnih karakteristika. Također uočava se znatno veće raspršenje svjetlosti kod otisaka nastalih inkjetom, pri čemu je primjetna značajna ovisnost o vrsti korištenog papira. Ako u razmatranje uključimo i raspršenje dobiveno određivanjem funkcije razmazivanja točke (*PSF* na slici 158), primjećuje se njihova korelacija s vrijednostima generiranim putem inkjet otisaka naročito u slučaju otisaka na papiru za digitalni tisak.

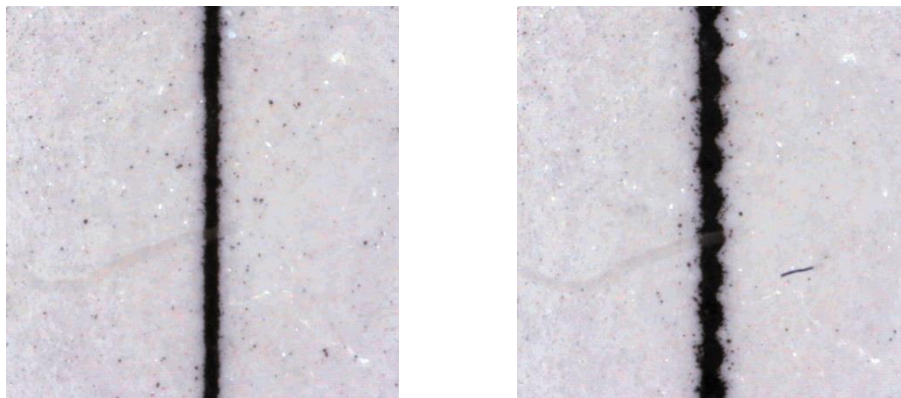


Slika 158. Ovisnost parametara  $w$  Lorentzove funkcije o metodi detekcije optičkog prirasta

Slična mjera raspršenja na inkjet otiscima i ne otisnutim papirima primarno je uzrokovana načinom stvaranja otiska u inkjet tehnologiji. Sudarom kapljice i podloge dolazi do apsorpcije i širenja bojila po površini papira. Iako i slika 157. pokazuje užu liniju za otisak nastao na Epsonu 7000 nego na Epsonu 2400, prihvaćanje tinte na površini tj. pokrivenost površine je bolje na otiscima reproduciranim na Epsonu 2400 što uvjetuje značajno manji optički prirast njegovih otisaka. Manja pokrivenost površine ima za posljedicu veće raspršenje svjetlosti jer fotoni mogu prolaziti između neotisnutih točkica u površinu tako da se ne smije razmatrati samo utjecaj ruba. Dio fotona koji su ušli između otisnutih površina nakon raspršenja u podlozi biva apsorbirano s donje strane otisnute točkice što utječe na opći doživljaj otiska, čineći ga tamnijim što se može utvrditi i analizom reflektancijskih profila otisaka reproduciranih ovim uređajima. Otisci nastali na Epsonu 7000 uređaju generalno pokazuju nižu reflektanciju otiska. Budući da otiske generirane Epsonom 7000 karakterizira visoka razina upojnosti, uporabom papira slabije kvalitete upojnost sve više dolazi do izražaja a samim time je i doprinos raspršenju sve veći. Nasuprot ovome, otiske reproducirane Epson 2400 uređajem odlikuje dominacija razlijevanja tinte po površini u usporedbi s apsorpcijom u podlogu zbog čega lošiji papir daje šire linije koje zbog bolje pokrivenosti površine generiraju manji optički prirast.

#### 8.4.2. Analiza mogućnosti modeliranja mehaničkog prirasta Gaussovom funkcijom

Profili mehaničkih prirasta su također opravdali naša očekivanja, a to je izvrsna koreliranost s Gaussovom funkcijom za otiske generirane elektrofotografijom što potvrđuje podatak o adekvatnom podudaranju 95,6% profila. Zanimljivo je da je u dva slučaja za linije širine 0,1mm mehanički prirast bio bolje aproksimiran Lorentzovom funkcijom. Mogući uzrok leži u nedovoljno dobroj definiranosti ruba i same linije, zbog čega dolazi do miješanja optičkog i mehaničkog prirasta (slika 159). Slični su rezultati dobiveni na otiscima reproduciranim na uređajima za propusni i plošni tisak, kao i kod elektrofotografije s tekućim tonerom, te je u trećini slučajeva i mehanički profil bio bolje opisan Lorentzovom funkcijom.

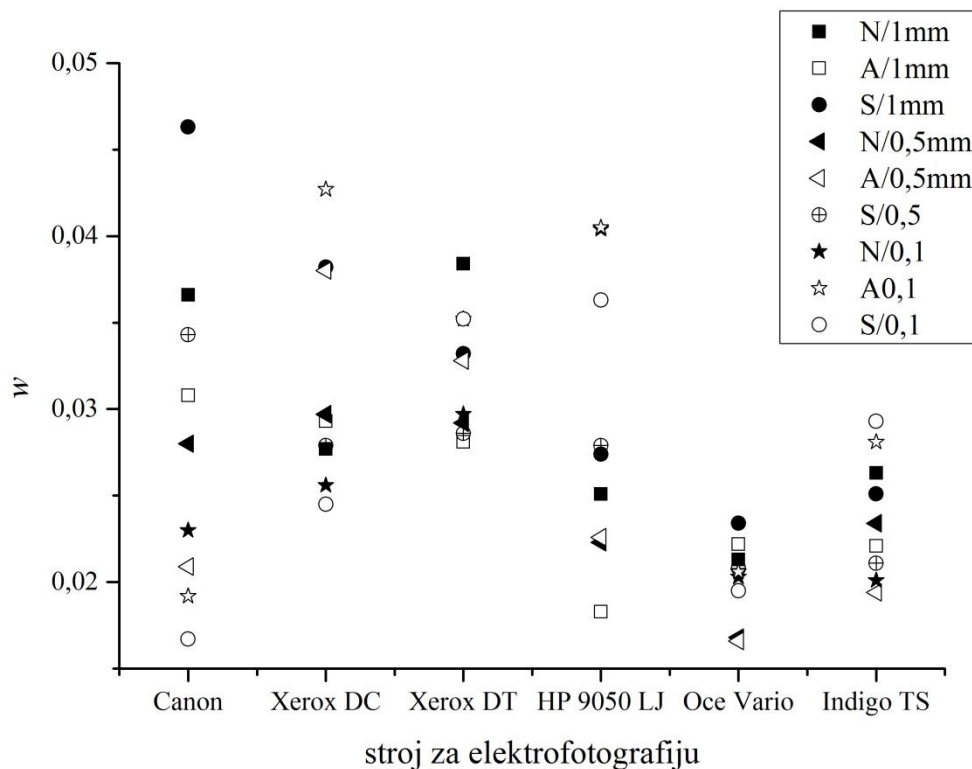


Slika 159. Profili linija nominalne širine 0,1 mm koji pokazuju bolje slaganje mehaničke komponente prirasta s Lorentzovom funkcijom a) Canon IR- papir za digitalni tisak, b) HP 9050 LaserJet - ofsetni papir

Oblik mehaničke komponente prirasta kod elektrofotografskih otisaka se nameće sam po sebi ako se prisjetimo da kod generiranja latentne slike ključnu ulogu ima laser, odnosno led dioda. Profil korištene svjetlosti određuje izgled profila mehaničkog prirasta. Također, prevelik intenzitet upotrijebljene svjetlosti može dovesti do neutralizacije većeg dijela površine nego što je bilo prvotno predviđeno. Ako podrobnije promotrimo faze nastajanja otiska kod uređaja za plošni i propusni tisak korištenih u istraživanju, uočava se ključna uloga lasera prilikom stvaranja tiskovnih formi na čemu se bazira ideja opisivanja mehaničkog prirasta Gaussovom funkcijom.



Za bolji pregled izgleda profila mehaničkog prirasta tj. njegove poluširine iz kojih se mogu donijeti neki opće zaključci o ponašanju pojedinog uređaja potrebno je prikazati ovisnost parametara  $w$  Gaussove funkcije mehaničke komponente prirasta o uređaju za elektrofotografiju za sve otiske. Ako se prisjetimo povezanosti kvalitete otiska i efikasnosti prijenosa tonera na podlogu pretpostavlja se postojanost mehaničkog prirasta kod onih uređaja koji su tehnološki najkvalitetnije riješili ovaj problem, pritom minimizirajući zaostatke tonera od prethodnog otiska. Uočava se da najmanje razlike u mehaničkom prirastu s obzirom na širinu linije i vrstu papira pokazuje Océ Vario, dok Xerox DT i Indigo Turbo Stream pokazuju približno jednak raspon mehaničkog prirasta premda je on za Indigo Turbo Stream za trećinu manji. Canon IR pokazuje uvjerljivo najveći interval mehaničkog prirasta pri čemu se može utvrditi povećanje mehaničkog prirasta s povećanjem širine linije.



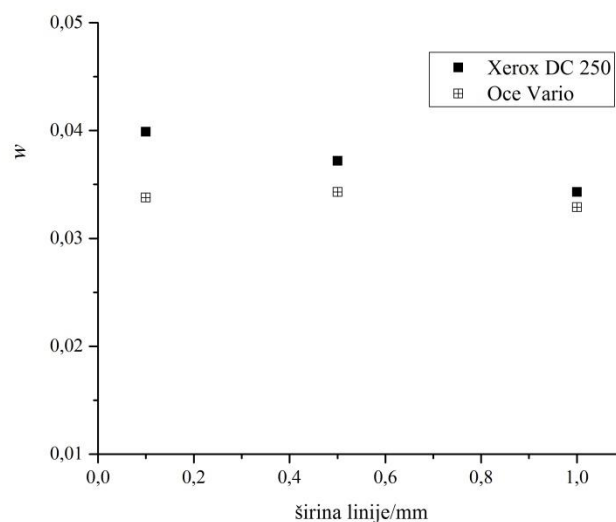
Slika 160. Ovisnost parametara  $w$  Gaussove funkcije o uređaju za elektrofotografiju za sve otiske

Profili mehaničkih prirasta inkjet otisaka pokazuju čak i izraženiji šum od optičkih što ne čudi s obzirom na izgled njihovih rubova. Epson 2400 pokazuje manji šum pa su i njegovi profili bolje aproksimirani Gaussovom funkcijom što se manifestira približno konstantnim mehaničkim prirastom za linije na ofsetnom papiru i papiru za digitalni tisak, dok otisci na fotokopirnom papiru pokazuju neznatno veći prirast. Zanimljivo je da vrijednosti mehaničkih prirasta otisaka nastalih Epson 7000 uređajem pokazuju slične vrijednosti poluširine profila. Relativna uravnoteženost doprinosa mehaničkog prirasta je uvjetovana sličnim volumenom kapljica i njihovim početnim brzinama. Razlike očito postoje u svojstvima tinte koji utječu na dominaciju apsorpcije u podlogu u jednom slučaju odnosno razlijevanja po površini u drugom, i u načinu smještanja kapljica na podlogu.

### 8.4.3. Utjecaj širine otisnutih linija na oblik i veličinu komponenata prirasta

Kako su uređaji za elektrofotografiju pokazali najveću korelaciju s predviđenim profilima zanimljivo je analizirati kako širina linija, papir pa i sama tehnika tiska utječu na profile modela. Detaljnom analizom svih rezultata iznesenih u prethodnom poglavlju nameće se odabir Xerox DC 250 i Océ Vario uređaja za elektrofotografiju kao najoptimalnijih za detaljniju raspravu o utjecaju širine otisnutih linija na oblik i veličinu komponenata prirasta. Naime, reflektancijski profili linija otisnutih ovim uređajima na papiru za digitalni tisak su pokazivali najmanju količinu šuma i ujednačen profil što pretpostavlja uniforman nanos bojila duž cijele linije. U neku ruku to je bilo i očekivano zbog najveće rezolucije Xerox DC 250 uređaja. Također papir za digitalni tisak je svojim karakteristikama namijenjen upravo ovakvim uređajima. Ne manje bitno, svi otisci na oba uređaja su pokazali visoki koeficijent korelacije u opisivanju optičke i mehaničke komponente prirasta Lorentzovom odnosno Gaussovom funkcijom

S obzirom na visoke vrijednosti koeficijente korelacije ( $>0,98$ ) jasno je da parametar  $w$  u oba slučaja indicira oblik i veličinu komponenata prirasta.

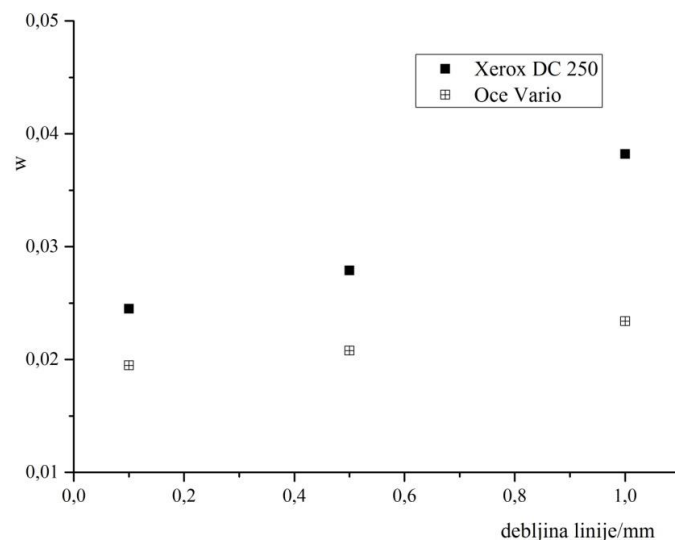


Slika 161. Ovisnost parametra  $w$  Lorentzove funkcije o širini linije

Usporedbom parametara  $w$  u slučaju optičkog prirasta primjećuje se približno konstantna vrijednost raspršenja svjetlosti bez obzira na debljinu linije za otiske na Océ Vario uređaju što nas navodi na zaključak da optički prirast linije ne ovisi o njenoj debljini. Razlog možda leži u

činjenici da je lateralno raspršenje svjetlosti u korištenom papiru znatno manje od širine najtanje linije pa optičkom prirastu doprinose samo fotoni koji upadaju neposredno uz rub linije. Za otiske nastale na uređaju Xerox DC 250 uočava se lagano smanjenje lateralnog raspršenja svjetlosti sa smanjenjem debljine linije što pak ukazuje na poroznost otisnute površine zbog neke od pogrešaka koje se mogu javiti prilikom generiranja otiska u elektrofotografiji objašnjenima u poglavljima 3.1 i 4.2.

Uvidom u tablicu 11. dobivaju se vrijednosti za proširenja linija s obzirom na njihovu nominalnu širinu, i one iznose redom  $68\mu\text{m}$ ,  $46\mu\text{m}$  i  $24\mu\text{m}$ , što odgovara povećanju širine od 7%, 9% i 24% za Xerox DC 250, i  $56\mu\text{m}$ ,  $36\mu\text{m}$  i  $23\mu\text{m}$ , odnosno 6%, 7% i 23% za Oce Vario. Iz slike 162, vidljivo je da poluširina profila korelira s vrijednostima proširenja linija za pojedini uređaj. Parametar  $w$  Gaussove funkcije očito daje informacije o stvarnom odstupanju profila linije od idealnog i u našem slučaju ukazuje na veću kvalitetu otisaka reproduciranih Oce Vario uređajem.

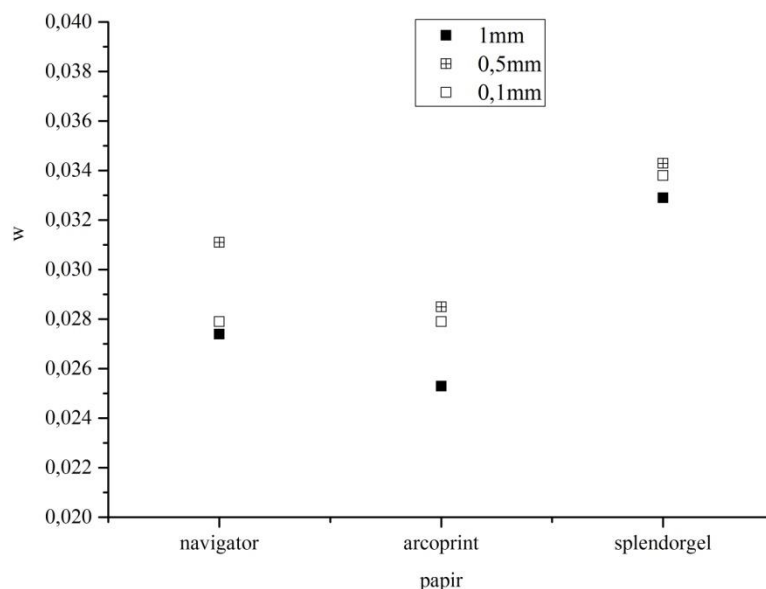


Slika 162. Ovisnost parametara  $w$  Gaussove funkcije o nominalnoj širini linije

#### 8.4.4. Utjecaj vrste papira na oblik i veličinu komponenata prirasta

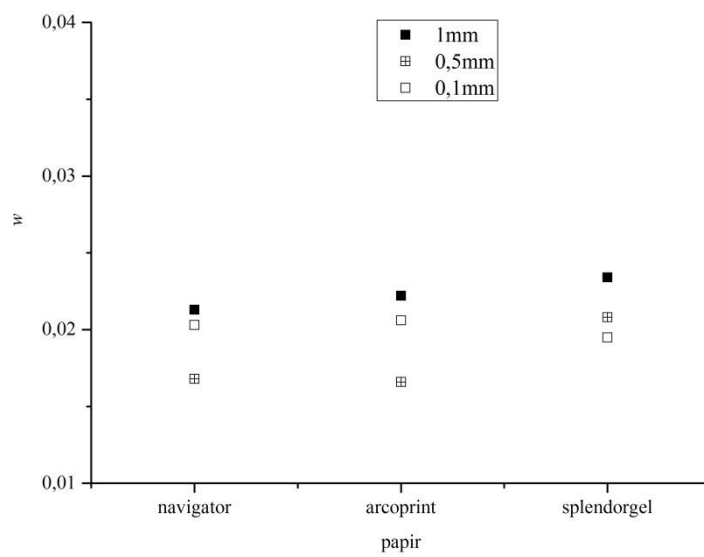
Budući da su otisci na Oce Vario uređaju pokazali kao najmanje ovisni o utjecaju širine otisnute linije odabrani su za detaljniju analizu utjecaja vrste papirne podloge na komponente prirasta.

Za sve tri podloge profili optičkih prirasta pokazuju iznimno visok stupanj korelacije s Lorentzovom funkcijom, ali stupnjevi raspršenja svjetlosti se bitno razlikuju. Iako su sva tri papira sličnih opaciteta i bjelina (tablica 4) primjećuje se da splendorgel pokazuje najveću konzistentnost, te da u sva tri slučaja pokazuje približno jednako lateralno raspršenje svjetlosti, dok navigator i arcoprint pokazuju znatno veći interval količine raspršenja uvjetovan sastavom i neravnomjernom strukturom papira. Arcoprint ima najveći udio mehaničke pulpe pa očekivano pokazuje najmanje raspršenje svjetlosti (gledajući otiske svih triju linija). Navigator ima najmanji udio mehaničke pulpe stoga bi očekivali najveće raspršenje svjetlosti upravo od njega, ali s obzirom na njegovu gramaturu i hrapavost površine nešto je izraženiji utjecaj transmisije i površinske refleksije koji smanjuju ukupan doprinos raspršenju svjetlosti unutar papira.



Slika 163. Ovisnost parametara  $w$  Lorentzove funkcije o vrsti papira

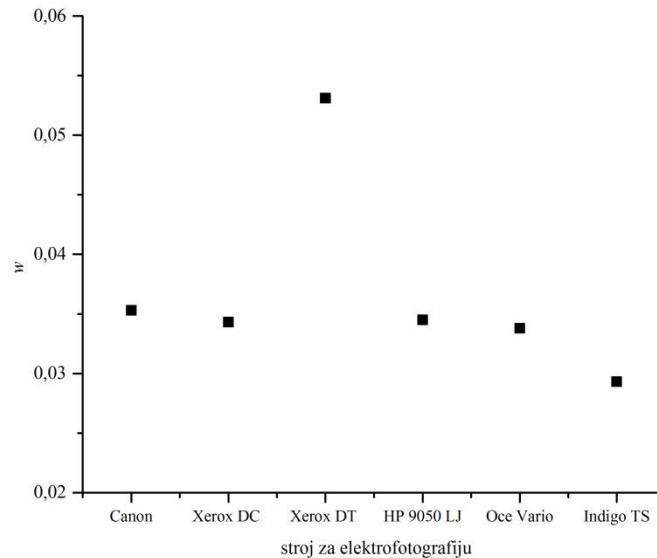
Što se tiče mehaničke komponente prirasta, ona je u više nego zadovoljavajućoj mjeri opisana Gaussovom funkcijom i ne razlikuje se puno s obzirom na upotrijebljenu podlogu.



Slika 164. Ovisnost parametara  $w$  Gaussove funkcije o vrsti papira

#### 8.4.5. Utjecaj elektrofotografskog uređaja na oblik i veličinu komponenata prirasta

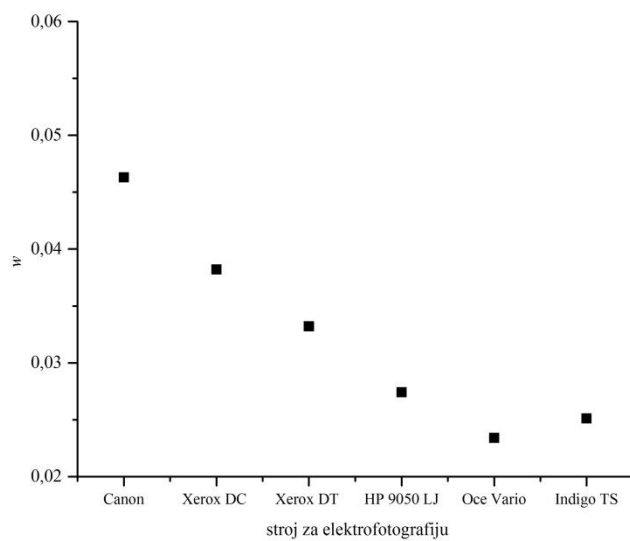
Ograničit ćemo se na usporedbu svih uređaja za elektrofotografiju i tehnika tiska za otiske nastale na splendorgelu koji se pokazao kao najkonzistentniji za linije nominalne širine 1mm.



Slika 165. Ovisnost parametara  $w$  Lorentzove funkcije o uređaju za elektrofotografiju

Iz slike 165. utvrđuje se da četiri uređaja za elektrofotografiju na bazi praškastog tonera pokazuju gotovo identično raspršenje svjetlosti u papiru uz izuzetak profila optičkog prirasta na Xerox DT uređaju kod kojeg se pojavio izrazito veliki šum vrlo vjerojatno uvjetovan nekom grubom pogreškom, npr. pohranjivanju papira u ne odgovarajućim uvjetima koji su rezultirali drugačijim mikro svojstvima. Također je primjetan i nešto niži parametar  $w$  za elektrofotografski uređaj koji koristi tekući toner.

Koliko su vrijednosti optičkog prirasta pokazale određenu pravilnost, toliko poluširine profila mehaničkih prirasta ukazuju na specifičnosti procesa, tj. tehnologije korištene unutar samog uređaja, pa i bojila u generiranju mehaničkog prirasta. Naravno, vlažnost u prostoriji kao i svojstva tonera su također krucijalni, ali za detaljniju analizu morali bi poznavati točne uvjete u prostorima u kojima se vršilo otiskivanje, kao i detaljni sastav korištenih tonera.



Slika 166. Ovisnost parametara  $w$  Gaussove funkcije o uređaju za elektrofotografiju



## 9. Zaključak

U prvom dijelu istraživanja određen je optički dio funkcije razmazivanja točke proučavanjem interakcije kolimiranog laserskog snopa i neotisnute papirne podloge pri čemu je korišten helij-neonski laser valne duljine  $632,8 \text{ nm}$ . Ova valna duljina je odabrana kako bi se ustanovilo maksimalno raspršenje svjetlosti u podlozi uvjetovano izvorom svjetlosti. Naime, poznato je da valna duljina upadne svjetlosti utječe na stupanj raspršenja, tj. lateralnog širenja svjetlosti, te da se povećava s povećanjem valne duljine.

Dobivena funkcija razmazivanja točke je pokazala bolje slaganje s Lorentzovom funkcijom u slučaju svih triju papira, ofsetnog, papira za digitalni tisak i fotokopirnog papira. Također, uočena je veza između funkcije razmazivanja točke i indeksa kristalnosti papira određenog FTIR spektroskopijom, te se ispostavilo da papir s najnižim udjelom mehaničke pulpe, tj. najmanjim indeksom kristalnosti demonstrira najužu funkciju razmazivanja točke zbog znatno manje specifične površine vlakana.

Paralelno s ovim, Monte-Carlo metodom simulirano je raspršenje svjetlosti u papiru te je utvrđeno slaganje izmjerene i izračunate distribucije raspršenja svjetlosti u papiru.

Drugi dio istraživanja uključivao je otiskivanje testnih uzoraka na prije spomenutim papirima. Budući da smo se opredijelili za Computer to Press tehnologiju za otiskivanje smo odabrali 5 elektrofotografskih strojeva s praškastim tonerom i jedan s tekućim tonerom, te dva piezoinkjet uređaja. Za usporedbu uključena su i dva uređaja kod kojih tiskovna forma nastaje u samom uređaju, po jedan predstavnik propusnog i plošnog tiska.

Kako je kvaliteta ruba otisnute linije jedno od mjerila kvalitete tiska odlučili smo se na istraživanje ruba linijskih uzoraka triju različitih širina,  $1\text{mm}$ ,  $0,5\text{mm}$ ,  $0,1\text{mm}$ . Mjereni usrednjeni reflektancijski profili otisnutih linija su nakon zaglađivanja tzv. percentilnim filtriranjem derivirani te su dobivene asimetrične funkcije razmazivanja linije s jasno izraženim ekstremima koji predstavljaju stvarne rubove linija, a čija udaljenost odgovara širini linije. Asimetrija funkcija razmazivanja linije potječe od različitih porijekla doprinosa lijeve i desne strane ekstrema, tako područja lijevo od bližeg ekstrema i desno od daljeg opisuju komponentu optičkog prirasta, te sukladno tome područja desno od bližeg ekstrema i lijevo od daljeg opisuju komponentu mehaničkog prirasta. Uklanjanje područja između ekstrema generira profil koji opisuje optički prirast rastertonske vrijednosti, dok uklanjanje

područja lijevo od bližeg i desno od daljeg ekstrema, te njihovom translacijom i spajanjem ostvaruje profil koji opisuje mehanički prirast rastertonske vrijednosti. Dobiveni profili su aproksimirani s Lorentzovom i Gaussovom funkcijom.

Optička komponenta prirasta rastertonske vrijednosti je kod svih elektrofotografskih uređaja, te uređaja za plošni i propusni tisak pokazala zadovoljavajuće slaganje s Lorentzovom funkcijom. Što se tiče mehaničkog prirasta, on je u slučaju elektrofotografije, kao i u slučajevima plošnog i propusnog tiska pokazao izvrsno slaganje s Gaussovom funkcijom. Ako razmotrimo činjenicu da u svakom od ovih procesa laser ima ključnu ulogu, bilo u generiranju latentne slike, bilo u stvaranju tiskovne forme, pretpostavljamo da intenzitet i distribucija laserskog snopa imaju znatno veći utjecaj na oblik ruba nego što je u prethodnim istraživanjima utvrđeno.

Koliko god se ova metoda pokazala uspješnom za elektrofotografiju toliko nije uspjela u potpunosti okarakterizirati komponente priraste kod piezoinkjeta. Glavni razlog leži u prevelikom šumu koji se generira u reflektancijskom otisku zbog distribucije perifernih dijelova kapljice nakon sudara s papirom i formiranja satelitskih kapljica. Jedan pristup rješenju ovog problema uključivao bi znatno veće izgladivanje profila s ciljem eliminacije šuma, što dovodi u pitanje mogućnost primjerene aproksimacije dobivanja analitičke funkcije koja opisuje promatrani slučaj. Unatoč svemu, 50%-tno slaganje optičkih prirasta s Lorentzovom funkcijom je ipak značajan pokazatelj. Potrebno je također naglasiti kako je usporedbom slika otisaka, reflektancijskih profila i poluširina Lorentzove raspodjele utvrđena veza između optičkog prirasta nastalog određenim uređajem i dominantnim utjecajem apsorpcije tinte u podlogu odnosno lateralnog širenja tinte po površini.

Iz svega ovoga, vidljivo je da su postavljene hipoteze eksperimentalno potvrđene. Nema nikakve sumnje da je pažljiva uporaba gradijentne metode opravdan način detektiranja stvarnog ruba u svakoj tehnici tiska i ispravan put u odvajanju komponenti prirasta. Također potvrđuje se opravdanim odabir Lorentzove funkcije kao mjere raspršenja svjetlosti u papiru, usko povezane s optičkim prirastom rastertonske vrijednosti, kao i odabir Gaussove funkcije za opisivanje profila mehaničkog prirasta elektrofotografskih uređaja što ukazuje i na različitu fizikalnu pozadinu tih dvaju doprinosa. Nadalje, postavlja se generalna mogućnost modeliranja budućeg otiska na „virtualnom“ papiru poznavajući oblike i veličine mehaničkog i optičkog prirasta, kao i korištenje dobivenih vrijednosti kao smjernice za procjenu mehaničkog i optičkog prirasta prilikom budućeg otiskivanja proizvoda.

Naredna istraživanja bi mogla ići u smjeru određivanja mjere raspršenja svjetlosti otiska kod klasičnih tehnika tiska, kao i njihovih profila mehaničkog prirasta, odnosno istraživanja fizikalne i tehnološke pozadine funkcija razmazivanja i u ostalim aspektima grafičke tehnologije.

Znanstveni doprinos provedenog istraživanja očituje se kroz:

- poboljšanje postojećih modela koji opisuju interakciju papira i bojila
- pouzdanije predviđanje utjecaja tehnike tiska i različitih supstrata na izgled i kvalitetu otisnutog ruba rasterskog elementa u cilju optimizacije mehaničkog i optičkog prirasta rastertonske vrijednosti
- mogućnost predviđanja generalnog optičkog prirasta elektrofotografskih uređaja s obzirom na vrstu papira temeljem dobivenih vrijednosti raspršenja svjetlosti
- objašnjenje fizikalnih i tehnoloških mehanizama za karakterizaciju mehaničkog i optičkog prirasta rastertonske vrijednosti

## Životopis

Katarina Itrić rođena je 22. srpnja 1983. godine u Dubrovniku. Nakon završene Prirodoslovno-matematičke gimnazije u Dubrovniku, 2002. godine upisala je studij Fizike na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu u Zagrebu. Za vrijeme studija držala je demonstrature na više kolegija i objavljivala stručne radove iz područja edukacijske fizike. Nakon završetka studija kratko je radila kao profesor fizike u Osnovnoj školi Eugena Kumičića u Velikoj Gorici i Petoj gimnaziji u Zagrebu, te kao honorarni suradnik na Zavodu za fiziku i biofiziku Medicinskog fakulteta u Zagrebu.

2010. godine zaposlila se na Grafičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu u svojstvu asistenta na Katedri za temeljna i opća znanja gdje i danas radi. Te iste godine upisala je Doktorski studij grafičke tehnologije. U suradnji s kolegama s Katedre bavi se znanstvenim i stručnim radom s primjenom fizike u grafičkoj tehnologiji.

## Popis radova

- Radovi objavljeni u časopisima koji su zastupljeni u CC-u (Current Contents), SCI-ju (Science Citation Index), SCI – Expandedu

1. V. Džimbeg-Malčić, Ž. Barbarić-Mikočević, K. Itrić, “*Kubelka-Munk Theory in Describing Optical Properties of Paper (I)*”, Tehnički vjesnik, 18, 1 (2011), 117-124.

2. V. Džimbeg-Malčić, Ž. Barbarić-Mikočević, K. Itrić, “*Kubelka-Munk Theory in Describing Optical Properties of Paper (II)*”, Tehnički vjesnik, 19, 1 (2012), 191-196.

- Radovi objavljeni u časopisima koji su zastupljeni u drugim značajnim bibliografskim bazama podataka

1. K. Itrić, V. Džimbeg-Malčić, D. Modrić, “*Optical deterioration of coated wrapping paper*”, Acta graphica, 26,(2015), 5-10

2. D. Modrić, K. Petric Maretić, K. Itrić, “*Modeliranje podpovršinskog raspršenja fotona u papiru monte carlo simulacijom*”, Tehnički glasnik, 7(2013), 337-343.

3. I. Bates, V. Džimbeg-Malčić, K. Itrić, “*Optical deterioration of samples printed with basic Pantone inks*”, Acta graphica, 23, 3-4 (2012), 79-90.

- Radovi objavljeni na međunarodnim kongresima održanim u inozemstvu i Hrvatskoj

1. K. Itrić, D. Modrić, J. Bota, “*Usporedba funkcija razmazivanja točke novinskih papira*“, Proceedings of 19th International conference on printing, design and graphic communications Blaž Baromić, M. Mikota (ur.), Zagreb, (2015).

2. K. Itrić, V. Džimbeg-Malčić, T. Cigula, Ž. Barbarić-Mikočević, “*Influence of Accelerated Aging on Properties of Office Copy Paper*“, Progress in Paper Physics Seminar, Conference Proceedings, U. Hirn (ur.), Graz, (2011).

3. I. Drndelić, V. Džimbeg-Malčić, K. Itrić, “*Influence of Increased Temperature on the Optical Properties of pigmented Papers*“, Proceedings of 15th International conference on printing, design and graphic communications Blaž Baromić, M. Mikota (ur.), Zagreb, (2011).

4. K. Itrić, V. Džimbeg-Malčić, “*Computer Supported Experiments in Physics Education at Faculty of Graphics Arts*“, Proceedings of 14th International conference on printing, design and graphic communications Blaž Baromić, M. Mikota (ur.), Zagreb, (2010).

## Popis slika

Slika 1. Ilustracija prirasta rastertonske vrijednosti .....	1
Slika 2. Slika površine papira snimljene elektronskim mikroskopom (SEM) <sup>[1]</sup> .....	4
Slika 3. Struktura celuloze <sup>[2]</sup> .....	5
Slika 4. Osnovne monomerne jedinice u molekuli lignina <sup>[5]</sup> .....	6
Slika 5. Površina nepremazanih papira različite hrapavosti <sup>[8]</sup> .....	7
Slika 6. Computer to tehnologije <sup>[9]</sup> .....	8
Slika 7. Usporedba Computer to print i direct imaging tehnologije <sup>[9]</sup> .....	9
Slika 8. Prvi automatizirani kopirni uređaj <sup>[16]</sup> .....	10
Slika 9. Poprečni presjek organske fotoosjetljive površine .....	11
Slika 10. Shematski prikaz korotrona <sup>[18]</sup> .....	12
Slika 11. Shematski prikaz skorotrona .....	12
Slika 12. Komercijalno dostupne valne duljine i snage lasera s obzirom na vrstu lasera (DPSS-diodni laser sa čvrstom jezgrom, DIODA-diodni poluvodički laser, PLIN-plinski laser) <sup>[19]</sup> .....	13
Slika 13. Rast promjera laserskog snopa kao funkcija udaljenosti od izlaza zrake .....	14
Slika 14. Primjeri Hermite- Gaussovih modova nižeg reda .....	15
Slika 15. Konstrukcija He-Ne lasera .....	16
Slika 16. Energijske razine u He-Ne laseru .....	17
Slika 17. a) degenerirano onečišćenje, b) inverzija naseljenosti <sup>[21]</sup> .....	19
Slika 18. Ilustracija pn lasera <sup>[22]</sup> .....	20
Slika 19. Osvjetljavanje a) jednoslojne b) dvoslojne fotoosjetljive površine .....	21
Slika 20. Ovisnost potencijala površine o intenzitetu upadne svjetlosti (intenzitet upadne svjetlosti raste od $I_1$ prema $I_3$ ) <sup>[25]</sup> .....	22
Slika 21. Električno polje iznad osvijetljenog dijela <sup>[18]</sup> .....	22
Slika 22. Usporedba CAD i DAD osvjtljavanja .....	23
Slika 23. Proces nastajanja tonera a) suspenzijskom polimerizacijom b) emulzijskom agregacijom <sup>[1]</sup> .....	25
Slika 24. Distribucija naboja na a) sferi b) tijelu nepravilnog oblika .....	26
Slika 25. Kategorije razvijaača <sup>[29]</sup> .....	27
Slika 26. Prijenos tonera sa fotoosjetljive površine na papir <sup>[33]</sup> (P-papir, T-toner, PC-fotoosjetljiva površina) ..	28
Slika 27. Faze fiksiranja tonera <sup>[39]</sup> .....	29
Slika 28. Kategorizacija Inkjet tiska <sup>[9]</sup> .....	30
Slika 29. a) nedefinirani kristalni piezoelektrik b) deformirani kristalni piezoelektrik .....	32
Slika 30. Načini deformacije kristala u piezoinkjetu a) squeeze b) bend c) push d) shear <sup>[56]</sup> .....	34
Slika 31. Struktura MLP ispisne glave <sup>[62]</sup> .....	35
Slika 32. Princip rada Epsonove Micro Piezo ispisne glave .....	36
Slika 33. S lijeva na desno: formiranje kapljice, odvajanje od mlaznice, stvaranje satelitskih kapljica <sup>[1]</sup> .....	36
Slika 34. Formiranje točkice na podlozi <sup>[9]</sup> .....	39
Slika 35. Princip generiranja tiskovne forme prve generacije uređaja za direktno osvjtljavanje <sup>[9]</sup> .....	40
Slika 36. Princip generiranja tiskovne forme laserskom ablacijom .....	41
Slika 37. Konstrukcija riso uređaja za propusni tisak <sup>[9]</sup> .....	42
Slika 38. Mogući ishodi 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 <sup>[88]</sup> ....	46
Slika 39. Mogući ishodi prijenosa svjetlosti u otisnutom 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; A-apsorpcija na boji, B-B' –površinska refleksija na boji, C-C'-, D-,E-,F-F' .....	48
Slika 40. a) Ilustracija slike s $F=0,5$ b) njena reflektancija .....	49
Slika 41. a) Digitalni original-točkasti izvor jediničnog intenziteta, b) otisak-idealna slika točkastog izvora (PSF) <sup>[88]</sup> .....	51
Slika 42. Tipičan izgled a) PSF, b) LSF, c) ESF .....	52
Slika 43. Ilustracija a) nominalne b) efektivne veličine rasterske točkice .....	54

Slika 44. Ilustracija ukupnog prirasta rastertonske vrijednosti kao kombinacije mehaničkog i optičkog prirasta veličine rasterskog elementa .....	56
Slika 45. Ilustracija kompenzacije prirasta rastertonske vrijednosti a) željena veličina rasterskog elementa, b) otisnuti rasterski element s pripadajućim prirastom, c) smanjenje početnog rasterskog elementa, d) konačni otisnuti rasterski element .....	57
Slika 46. Ilustracija idealnog i realnog ruba.....	59
Slika 47. Ilustracija detekcije ruba a) originalna slika b) rubovi detektirani laplasijanom .....	60
Slika 48. Gradijent slike realnog ruba prikazanog na slici 46. ....	61
Slika 49. Laplasijan slike realnog ruba prikazanog na slici 46. ....	62
Slika 50. 2D i 3D prikaz Gaussove raspodjele.....	65
Slika 51. Konstrukcija versorije.....	67
Slika 52. 2D i 3D prikaz Lorentzove raspodjele .....	68
Slika 53. Od vrha prema dnu: FTIR spektri navigatora 80 g/m <sup>2</sup> , splendorgela 115 g/m <sup>2</sup> , arcoprinta 120 g/m <sup>2</sup> ....	71
Slika 54. Eksperimentalni postav za određivanje laserskog profila .....	73
Slika 55. Izmjereni profil He-Ne lasera .....	74
Slika 56. Eksperimentalni postav za određivanje optičkog dijela PSF papira .....	74
Slika 57. a) Izmjerena i b) simulirana distribucija raspršene svjetlosti .....	75
Slika 58. Reflektancijski profili: izmjerena raspršena svjetlost, raspršena svjetlost generirana Monte Carlo metodom, izmjereni profil He-Ne lasera.....	76
Slika 59. Optički dio PSF - Arcoprint 120 g/m <sup>2</sup> .....	77
Slika 60. Optički dio PSF - Splendorgel 115 g/m <sup>2</sup> .....	77
Slika 61. Optički dio PSF - Navigator 80 g/m <sup>2</sup> .....	78
Slika 62. Analizator slike (Personal Image Analysis System) .....	82
Slika 63. Primjer otisnutih linija (debljine 1mm, 0,5mm i 0,1mm) na papiru. Mjerno područje je obrubljeno linijom.....	82
Slika 64. Mjereni i izgladeni reflektancijski profil linije nominalne debljine 1mm.....	83
Slika 65. Izgladena mjerena reflektancija i njena pripadna derivacija .....	84
Slika 66. Ilustracija generiranja profila optičkog i mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti.....	85
Slika 67. Heidelberg quickmaster- reflektancijski profil 1mm .....	89
Slika 68. Heidelberg quickmaster - profil optičkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 1mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak .....	91
Slika 69. Heidelberg quickmaster - profil mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 1mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak.....	92
Slika 70. Heidelberg quickmaster- reflektancijski profil 0,5mm .....	93
Slika 71. Heidelberg quickmaster - profil optičkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,5 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak.....	95
Slika 72. Heidelberg quickmaster - profil mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,5 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak.....	96
Slika 73. Heidelberg quickmaster- reflektancijski profil 0,1mm .....	97
Slika 74. Heidelberg quickmaster - profil optičkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak.....	99
Slika 75. Heidelberg quickmaster - profil mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak.....	100
Slika 76. Riso RZ- reflektancijski profil 1mm.....	101
Slika 77. Riso RZ 970 - profil optičkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak.....	103
Slika 78. Riso RZ 970 - profil mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak.....	104
Slika 79. Riso RZ- reflektancijski profil 0,5 mm .....	105
Slika 80. Riso RZ 970 - profil optičkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,5 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak.....	107
Slika 81. Riso RZ 970 - profil mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,5 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak.....	108

Slika 82. Riso RZ- reflektancijski profil 0,1 mm .....	109
Slika 83. Riso RZ 970 - profil optičkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,5 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak.....	111
Slika 84. Riso RZ 970 - profil mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak.....	112
Slika 85. Canon IR - reflektancijski profil 1mm .....	113
Slika 86. Canon IR - profil optičkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak .....	115
Slika 87. Canon IR - profil mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak.....	116
Slika 88. Canon IR - reflektancijski profil 0,5 mm .....	117
Slika 89. Canon IR - profil optičkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,5 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak.....	119
Slika 90. Canon IR - profil mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,5 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak.....	120
Slika 91. Canon IR - reflektancijski profil 0,1 mm .....	121
Slika 92. Canon IR - profil optičkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak.....	123
Slika 93. Canon IR - profil mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak.....	124
Slika 94. Xerox DC 250 - reflektancijski profil 1 mm.....	125
Slika 95. Xerox DC 250 - profil optičkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak.....	127
Slika 96. Xerox DC 250 - profil mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak.....	128
Slika 97. Xerox DC 250 - reflektancijski profil 0,5 mm .....	129
Slika 98. Xerox DC 250 - profil optičkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,5 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak.....	131
Slika 99. Xerox DC 250 - profil mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,5 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak .....	132
Slika 100. Xerox DC 250 - reflektancijski profil 0,1 mm .....	133
Slika 101. Xerox DC 250 - profil optičkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak.....	135
Slika 102. Xerox DC 250 - profil mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak .....	136
Slika 103. Xerox DT 6135 - reflektancijski profil 1 mm .....	137
Slika 104. Xerox DT 6135 - profil optičkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak.....	139
Slika 105. Xerox DT 6135 - profil mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak .....	140
Slika 106. Xerox DT 6135 - reflektancijski profil 0,5 mm .....	141
Slika 107. Xerox DT 6135 - profil optičkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,5 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak.....	143
Slika 108. Xerox DT 6135 - profil mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,5 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak .....	144
Slika 109. Xerox DT 6135 - reflektancijski profil 0,1 mm .....	145
Slika 110. Xerox DT 6135 - profil optičkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak.....	147
Slika 111. Xerox DT 6135 - profil mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak .....	148
Slika 112. HP 9050 Laser Jet - reflektancijski profil 1 mm .....	149
Slika 113. HP 9050 Laser Jet - profil optičkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak.....	151



Slika 114. HP 9050 Laser Jet - profil mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak .....	152
Slika 115. HP 9050 Laser Jet - reflektancijski profil 0,5 mm .....	153
Slika 116. HP 9050 Laser Jet - profil optičkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,5 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak .....	155
Slika 117. HP 9050 Laser Jet - profil mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,5 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak .....	156
Slika 118. HP 9050 Laser Jet - reflektancijski profil 0,1 mm .....	157
Slika 119. HP 9050 Laser Jet - profil optičkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,1 mm .....	159
Slika 120. HP 9050 Laser Jet - profil mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak .....	160
Slika 121. Oce2110 Vario - reflektancijski profil 1 mm .....	161
Slika 122. Oce2110 Vario - profil optičkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak .....	163
Slika 123. Oce2110 Vario - profil mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak .....	164
Slika 124. Oce2110 Vario - reflektancijski profil 0,5 mm .....	165
Slika 125. Oce2110 Vario - profil optičkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,5 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak .....	167
Slika 126. Oce2110 Vario - profil mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,5 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak .....	168
Slika 127. Oce2110 Vario - reflektancijski profil 0,1 mm .....	169
Slika 128. Oce2110 Vario - profil optičkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak .....	171
Slika 129. Oce2110 Vario - profil mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak .....	172
Slika 130. Indigo Turbo Stream - reflektancijski profil 1 mm .....	173
Slika 131. Indigo Turbo Stream - profil optičkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak .....	175
Slika 132. Indigo Turbo Stream - profil mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak .....	176
Slika 133. Indigo Turbo Stream - reflektancijski profil 0,5 mm .....	177
Slika 134. Indigo Turbo Stream - profil optičkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,5 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak .....	179
Slika 135. Indigo Turbo Stream - profil mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,5 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak .....	180
Slika 136. Indigo Turbo Stream - reflektancijski profil 0,1 mm .....	181
Slika 137. Indigo Turbo Stream - profil optičkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak .....	183
Slika 138. Indigo Turbo Stream - profil mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak .....	184
Slika 139. Epson Stylus Pro 7000 - reflektancijski profil 1 mm .....	185
Slika 140. Epson Stylus Pro 7000 - profil optičkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak .....	187
Slika 141. Epson Stylus Pro 7000 - profil mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak .....	188
Slika 142. Epson Stylus Pro 7000 - reflektancijski profil 0,5 mm .....	189
Slika 143. Epson Stylus Pro 7000 - profil optičkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,5 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak .....	191
Slika 144. Epson Stylus Pro 7000 - profil mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,5 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak .....	192
Slika 145. Epson Stylus Pro 7000 - reflektancijski profil 0,1 mm .....	193

Slika 146. Epson Stylus Pro 7000 - profil optičkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak.....	195
Slika 147. Epson Stylus Pro 7000 - profil mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak.....	196
Slika 148. Epson Stylus Photo 2400- reflektancijski profil 1 mm .....	197
Slika 149. Epson Stylus Photo 2400 - profil optičkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak.....	199
Slika 150. Epson Stylus Photo 2400 - profil mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak.....	200
Slika 151. Epson Stylus Photo 2400- reflektancijski profil 0,5 mm .....	201
Slika 152. Epson Stylus Photo 2400 - profil optičkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,5 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak.....	203
Slika 153. Epson Stylus Photo 2400 - profil mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,5 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak.....	204
Slika 154. Epson Stylus Photo 2400- reflektancijski profil 0,1 mm .....	205
Slika 155. Epson Stylus Photo 2400 - profil optičkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak.....	207
Slika 156. Epson Stylus Photo 2400 - profil mehaničkog prirasta rastertonske vrijednosti za liniju nominalne debljine 0,1 mm otisnute na a) uredskom papiru b) ofsetnom papiru c) papiru za digitalni tisak.....	208
Slika 157. Otisak linije nominalne širine 0,1mm na fotokopirnom papiru a) Epson 7000 b) Epson 2400 .....	209
Slika 158. Ovisnost parametara w Lorentzove funkcije o metodi generiranja optičkog prirasta .....	210
Slika 159. Profili linija nominalne širine 0,1 mm koji pokazuju bolje slaganje mehaničke komponente prirasta s Lorentzovom funkcijom a) Canon IR- papir za digitalni tisak, b) HP 9050 LaserJet - ofsetni papir .....	212
Slika 160. Ovisnost parametara w Gaussove funkcije o uređaju za elektrofotografiju za sve otiske.....	213
Slika 161. Ovisnost parametara w Lorentzove funkcije o širini linije .....	215
Slika 162. Ovisnost parametara w Gaussove funkcije o nominalnoj širini linije .....	216
Slika 163. Ovisnost parametara w Lorentzove funkcije o vrsti papira.....	217
Slika 164. Ovisnost parametara w Gaussove funkcije o vrsti papira .....	218
Slika 165. Ovisnost parametara w Lorentzove funkcije o uređaju za elektrofotografiju .....	219
Slika 166. Ovisnost parametara w Gaussove funkcije o uređaju za elektrofotografiju .....	220

## Popis tablica

Tablica 1. Svojstva tinti za piezoinkjet <sup>[68]</sup> .....	37
Tablica 2. Standardni parametri tinte za piezoelektrični i termalni inkjet <sup>[63]</sup> .....	38
Tablica 3. Koeficijenti raspršenja komponenti papira <sup>[90]</sup> .....	46
Tablica 4. Karakteristike papira korištenih u istraživanju.....	70
Tablica 5. Indeks kristalnosti papira korištenih u istraživanju.....	71
Tablica 6. Vrijednosti parametara korištenih u Monte Carlo simulaciji podpovršinskog raspršenja svjetlosti .....	75
Tablica 7. Koeficijent korelacije Lorentzove i Gaussove funkcije s izmjerenim podacima....	78
Tablica 8. Vrijednosti parametara pri fitanju papira Lorentzovom funkcijom .....	79
Tablica 9. Sustavi korišteni u istraživanju .....	80
Tablica 10. Plan otiskivanja uzoraka.....	81
Tablica 11. Efektivne širine otisnutih linija .....	86

## Literatura

---

- <sup>1</sup> Alava, M., Niskanen, K. The physics of paper, Rep. Prog. Phys. 69, 669–723, 2006.
- <sup>2</sup> Ottenio, D., Escabasse, J-Y., Podd, B. Packaging Materials 6. Paper and Board for Food Packaging Applications. ILSI Europe Report Series, 1-24. 2004.
- <sup>3</sup> Golubović, A. Tehnologija izrade i svojstva papira, Ed. VGŠ, Zagreb, 1973.
- <sup>4</sup> Plazonić, I. Slama žitarica kao alternativni izvor vlakana u izradi papira za novinski tisak, doktorska disertacija, Grafički fakultet, Zagreb, 2014.
- <sup>5</sup> Roberts, J.C. Chemistry of Paper, The Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK, 1996.
- <sup>6</sup> B. Norman, Pappersteknik, STFI-Tryck, Institutionen för Pappersteknik, Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm, Sweden, 1991.
- <sup>7</sup> Niskanen, K., Kajanto, I., Pakarinen, P. Paper Physics, Chap. 1, Fapet Oy, Helsinki, Finland, 1998.
- <sup>8</sup> Pauler, N. Paper Optics, Lorentzen & Wettre, 2012.
- <sup>9</sup> Kipphan, H. Handbook of print Media, Springer Verlag Berlin Heidelberg, 2001.
- <sup>10</sup> Carlson, C. History of Electrostatic Recording in Xerography and Related Processes, ur. J. Dessauer, H. Clark, Focal, New York, 1965.
- <sup>11</sup> Lichtenberg, G. C. Novi Comment, Gottingen 8, 168, 1777.
- <sup>12</sup> Selenyi, P. J. Appl. Phys. 9, 638, 1938.
- <sup>13</sup> Carlson, F. C. Electrophotography, US Patent 2297691, 1942.
- <sup>14</sup> Carlson, F. C. Electrophotography, US Patent 2690394, 1954.
- <sup>15</sup> Carlson, F. C. Electrophotographic apparatus and methods, US Patent 2,701,764, 1955.
- <sup>16</sup> Carlson, F. C. Electrophotographic apparatus US Patent 2357809, 1944.
- <sup>17</sup> Schaffert, R.M. Electrophotography, Focal Press, New York, 1975.
- <sup>18</sup> Cousoulis, M. Electrophotography, in Handbook of Digital Imaging, Wiley & Sons, New York, 2015.

- 
- <sup>19</sup> Hitz, C. B., Ewing, J., Hecht, J. Introduction to Laser Technology, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 2012.
- <sup>20</sup> Henč-Bartolić, V., Bistričić, L. Predavanja i auditorne vježbe iz fizike lasera, Element, Zagreb, 2001.
- <sup>21</sup> Šips, V. Uvod u fiziku čvrstog stanja, Školska knjiga, Zagreb, 2003.
- <sup>22</sup> Furić, M. Moderne eksperimentalne metode, tehnike i mjerenja u fizici, Školska knjiga, Zagreb, 1992.
- <sup>23</sup> Burns, G., Nathan, M. I. P-N Junction Lasers, Proceedings of the IEEE 52, 770, 1964.
- <sup>24</sup> Abkowitz, M.A. Polymer Based Xerographic Photoreceptors in Intrinsically Conducting Polymers: An Emerging Technology, ur. Aldissi, M., Vermont, USA, 1992.
- <sup>25</sup> Suhara, H. Measurement of electrostatic latent image on photoconductors by use of electron beam probe, Procc. IS&T NIP25, Springfield, 482-485, 2009.
- <sup>26</sup> Hardy, G. Styrenic Copolymer Toner Resins, Proc. Toner and Photoreceptors, Diamond Research Cooperation, 2001.
- <sup>27</sup> Dowden, W. Selecting the right pigment for color toner, Procc Tiara Group 2013 Toner Conference, Santa Barbara, 2013.
- <sup>28</sup> Nanaumi, H. New charge agents for color toner formulations. Procc Toner and Photoreceptors, , Diamond Research Cooperation, 2001.
- <sup>29</sup> Tyagi, D. Toner Technology and Fusing Concepts, in Handbook of Digital Imaging, Wiley & Sons, New York, 2015.
- <sup>30</sup> Feng, J.Q., Heys, D.A. Relative importance of electrostatic forces on powder particles, Powder Technology, 135, 65-75, 2003.
- <sup>31</sup> Suzuki, C., Takagi, M., Inoue S. Toner Characteristics and Xero Interactive Performance of EA Particles with Specific External Additives, IS&T NIP 19, International Conference on Digital Printing Technologies, New Orleans, Louisiana, 134-137, 2003.

- 
- <sup>32</sup> Severens, I. E. M. DEM Simulations of Toner Behavior in the Development NIP of the Oce Direct Imaging Print Process IS&T NIP 20, International Conference on Digital Printing Technologies, Salt Lake City, Utah, 67-72, 2004.
- <sup>33</sup> Oittinen, P., Saarelma, H. Papermaking Science and Technology, Book 13, Printing (TAPPI Press, Fapet Oy, Finland, 1998).
- <sup>34</sup> Sipi, K. Toner layer structure and toner adhesion on coated paper, Proc. NIP 17 IS&T, Springfield, VA, 145-150, 2001.
- <sup>35</sup> Brooms, K. D. Design of the Fusing System for an Electrophotographic Laser Printer, J. IBM, Res. Develop., 22-26, 1978.
- <sup>36</sup> Sipi, K., Lamberg, M., Oittinen, P. Print quality in contact and non-contact fixing, Proc. NIP 15 IS&T, Springfield, VA, 426-429, 1999.
- <sup>37</sup> Lee, L. H. Thermal fixing of electrophotographic images, Adhesion science and technology, Plenum Press, New York, 831-852, 1975.
- <sup>38</sup> Hakola, E. Toner dynamics in fixing, Licentiate's Thesis, Laboratory of Media Technology, Helsinki University of Technology, Espoo, Finland, 52-55, 2007.
- <sup>39</sup> Pai, D. M., Springett, B. E. Physics of electrophotography, The American physics society, Rev. Mod. Phys., 65(1), 163-211, 1993.
- <sup>40</sup> Sipi, K. M. Toner-paper interactions induced by the fixing process in electrophotographic printing, Licentiate's Thesis, Laboratory of Media Technology, Helsinki University of Technology, Espoo, Finland, 2002.
- <sup>41</sup> Plateau, J.A.F. On the recent theories of the constitution of jets of liquid issuing from circular orifices, Philosophical Magazine 12, 286, 1856.
- <sup>42</sup> Rayleigh, F. R. S. On the instability of jets. Proc. London Math. Soc., 10(4), 4-13, 1878.
- <sup>43</sup> Savart, F. Memoire sur la constitution des veines liquides lancees par des orifices circulaires en mince parol, Ann.Chim. 53, 337, 1833.
- <sup>44</sup> Young, T. Cohesion of fluids, Phil.Trans.R.Soc.London 95, 65, 1804.
- <sup>45</sup> Laplace, P.S. Mechanique celeste, supplement au X livre, Courier, Paris, 1805.

- 
- <sup>46</sup> Elmqvist, R. Measuring instrument of the recording type. U.S. Patent 2566443, 1948.
- <sup>47</sup> Sweet, R.G. Signal apparatus with fluid drop recorder. U.S. Patent 3596275, 1971.
- <sup>48</sup> Buehner, W.L. , Hill, J.D. , Williams, T.H., Woods, J.W. Application of ink-jet technology to a word processing output printer, IBM J. Res. Dev. 21, 1968 ,1977.
- <sup>49</sup> Heinzl, J. Printing with ink droplets from a multi-nozzle device, Advances in non-impact printing technologies for computer and office applications, ur. Joseph Gaynor, 1191, 1981.
- <sup>50</sup> Garcia, S., Kunitz, E., Sampson, K. Piezoelectric effect and its applications , <http://ice.chem.wisc.edu/ice/materials/piezo.html>, 1998.
- <sup>51</sup> Ballato, A. Piezoelectricity: History and New Thrusts, IEEE Ultrasonics Symposium, Vol. 1, 575-583,1996.
- <sup>52</sup> Ballato, A. Piezoelectricity: Old Effects and New Applications, IEEE Ultrasonics Transactions, Ferroelectric Frequency Control, Vol. 42, 916- 926,1995.
- <sup>53</sup> Purcell, E. Elektricitet i magnetizam, Udžbenik sveučilišta u Berkeleyu, Svezak 2, Tehnička Knjiga, Zagreb, 2003.
- <sup>54</sup> Kittel, C. Introduction to Solid State Physics, John Wiley & Sons, 408-410, .
- <sup>55</sup> Wijshoff, H. Structure- and fluid-dynamics in piezo inkjet printheads, ISBN 978-90-365-2582-4, Venlo, The Netherlands, 2008.
- <sup>56</sup> Le, H.P. Progress and trends in ink-jet printing technology. Journal of Imaging Science and Technology,**42**, 49–62, 1998.
- <sup>57</sup> Zoltan, S. L. (Clevite Corp.), Pulse droplet ejection system, U.S. Patent 3683212, 1972.
- <sup>58</sup> Stemme, N. Arrangement of writing mechanisms for writing on paper with a colored liquid, U.S. Patent 3747120, 1973.
- <sup>59</sup> Kyser, E. L., Sears, S. B. Method and apparatus for recording with writing fluids and drop projection means therefor, U.S. 3946398, 1976.
- <sup>60</sup> Howkins, S.D. Ink jet method and apparatus , U.S. 4459601, 1984.

- 
- <sup>61</sup> Fischbeck, K.H., Wright, A.T. Shear mode transducer for drop-on-demand liquid ejector, U.S. 4584590, 1986.
- <sup>62</sup> Aoshima, Y., Kitamura, M. Development of an Inkjet Printer that Produces High-Resolution Text and Images, Epson Corporation, 2008.
- <sup>63</sup> Li, L., Rossignol, F., Macdonald, J. Inkjet printing for biosensor fabrication: combining chemistry and technology for advanced manufacturing, *Lab Chip*, 15(12), 2538-2558, 2015.
- <sup>64</sup> C. Schmid, in *The Chemistry of Inkjet Inks*, ur. S. Magdassi, World Scientific, Singapore, 123–140, 2009.
- <sup>65</sup> Fromm, J.E. Numerical Calculation of the Fluid Dynamics of Drop-on-Demand Jets *IBM Journal of Research and Development*, 28 (3), 322 – 333, 1984.
- <sup>66</sup> Yun, Y. H., Kim, J. D., Lee, B., Cho, Y., Lee, H. Polymer inkjet printing: Construction of three-dimensional structures at micro-scale by repeated lamination. *Macromol. Res.*, 17,197–202,2009.
- <sup>67</sup> Yun, Y. H., Kim, J. D., Lee, B. K. , Yoo, B., Lee, J.-H. , Cho, Y. W. Construction of Micro-Patterned Polymer Structures by Piezoelectric Inkjet Printing. *Polym.-Plast. Technol. Eng.*, 48,1318–1323, 2009.
- <sup>68</sup> Hakola, E., Oittinen, P. Principles of digital printing. *Print Media – Principles, Processes and Quality. Papermaking Science and Technology*, book 13. ur. Oittinen, Saarelma. Paper Engineers' Association/Paperi ja Puu Oy, 2009.
- <sup>69</sup> Hoath, S.D., Hutchings, I.M., Martin, G.D., Tuladhar, T.R., Mackley, M.R., Vadhillo, D., Links between ink rheology, drop-on-demand jet formation, and printability, *J. Imaging Sci.Technol.*, 53, 0412081–0412088, 2009.
- <sup>70</sup> Magdassi, S. in *The Chemistry of Inkjet Inks*, ur. S. Magdassi, World Scientific, Singapore, 19–42, 2009.
- <sup>71</sup> Pond, S. F. , Wnek, W. J., Doll, P. F., Andreottola M. A. Ink design in *Inkjet Technology and Product Development Strategies*, ur. S.F. Pond, Torrey Pines Research, Carlsbad, CA, 153–204, 2000.



- 
- <sup>72</sup> Jang, D., Kim, D., Moon, J. Influence of fluid physical properties on ink-jet printability *Langmuir*, 25(5), 2629–2635, 2009.
- <sup>73</sup> Wang, J., Yiu, B., Obermeyer, J., Filipe, C. D., Brennan, J. D., Pelton, R. Effects of temperature and relative humidity on the stability of paper-immobilized antibodies. *Biomacromolecules*, 13, 559–564, 2012.
- <sup>74</sup> Demmerle, R. Heidelberg DI Technologie revolutioniert die Drucktechnik, *Deutsche Drucker* Nr. 39, Frankfurt/Main, 5-8, 1991.
- <sup>75</sup> Krstulović, N., Shannon, S., Stefanuik, R., Fanara, C. Underwater – laser drilling of aluminum. *Int J Adv Manuf Technol* DOI 10.1007/s00170-013-5141-4, 2013.
- <sup>76</sup> Mao, S.S. Laser Ablation- Fundamentals & Applications, University of California <https://www.jlab.org/FEL/LPC/05lpc-mao.pdf>, pristupljeno na dan 04.08.2015.
- <sup>77</sup> Evans, M.A., LeMaire, B.A. An Investigation into Papers for Digital Printing. A Research Monograph of the Printing Industry Center at RIT, Rochester, NY, 2006.
- <sup>78</sup> Schleusener, M., Apel, R. The Influence of Toner and Paper Properties on Electrophotographic Print Quality in *Recent Progress in Toner Technologies*, ur. George Marshall, 356-358, 1997.
- <sup>79</sup> Mackie, D.M., Joyce, P. Effect of paper machine drying conditions on the optical properties of paper containing mechanical pulp, *Preprints of PAPTAC Annual Meeting*, Montreal, 2000.
- <sup>80</sup> Mishchenko, M.I. Poynting–stokes tensor and radiative transfer in discrete random media: the microphysical paradigm, *Opt. Express* 18, 19770–19791, 2010.
- <sup>81</sup> S. Chandrasekhar, *Radiative Transfer*, Dover, New York, 1960.
- <sup>82</sup> Edstrom, P. Mathematical modeling and numerical tools for simulation and design of light scattering in paper and print, doktorska disertacija, Mid Sweden University 2007.
- <sup>83</sup> Kubelka, P., Munk, F. Ein Beitrag zur Optik der Farbanstriche, *Z.Tech.Phys.*, 11a, 593-601, 1931.
- <sup>84</sup> Schuster, A. Radiation Trough a Foggy Atmosphere, *Astrophys.J.* 21, 1-22, 1905.
- <sup>85</sup> Vargas, W. E. Generalized four-flux radiative model, *Appl.Opt.* 37, 2615-2623, 1998.

- 
- <sup>86</sup> Saunderson, J.L. Calculation of the color pigmented plastics, *J. Opt. Soc. Am.* 32, 727–736, 1942.
- <sup>87</sup> Džimbeg Malčić, V. Primjena Kubelka-Munk teorije i Yule-Nielsenovog efekta na tiskovnim podlogama, doktorska disertacija, Grafički fakultet, Zagreb, 2005.
- <sup>88</sup> Modrić, D. Raspršenje i transport svjetlosti u tiskovnim podlogama, doktorska disertacija, Grafički fakultet, Zagreb, 2007.
- <sup>89</sup> Bohren, C.F., Huffman, D. R. *Absorption and Scattering of Light By Small Particles*, John Wiley, New York, 1983.
- <sup>90</sup> Peterson, F.S. A Statistical Treatment of non-normal SEM Data and the Application to Designed Fiber/Filler/Polymer Structures, doktorska disertacija, Institute of Paper Science and Technology Atlanta, Georgia, USA, 2004.
- <sup>91</sup> Murray, A. Monochrome reproduction in photoengraving. *J Franklin Inst.* 221, 721-724, 1936.
- <sup>92</sup> Neugebauer, H. E. J. Die theoretischen Grundlagen des Mehrfarbenbuchdrucks. *Zeitschrift für wissenschaftliche Photographie, Photophysik und Photochemie* 364, 73–89, 1937.
- <sup>93</sup> Yule, J. A. C., Nielsen, W. J. The penetration of light into paper and its effect on halftone reproduction, *TAGA Proceedings* 3, 65–76, 1951.
- <sup>94</sup> Clapper, F.R., Yule, J.A.C. The effect of multiple internal reflections on the densities of halftone print on paper, *J. Opt. Soc. Am.* 43, 600–603, 1953.
- <sup>95</sup> Rogers, G.L. Optical dot gain in a halftone print. *J. Imaging Sci Technol*, 41(6), 643-656, 1997.
- <sup>96</sup> Rogers, G.L. The effect of light scatter on halftone color. *J. Opt. Soc Am A*, 15, 1813-1821, 1998.
- <sup>97</sup> Wyble, D.R., Berns, R.S. A critical review of spectral models applied to binary color printing. *Col Res Appl*, 25, 159, 2000.
- <sup>98</sup> Viggiano, J.A.S. The color of halftone tints. *Proc. TAGA* 37, 647-661, 1985.

- 
- <sup>99</sup> Ruckdeschel, F., Hauser O. Yule-Nielsen Effect in Printing: a Physical Analysis, *Appl. Opt.* 17, 3376–3383, 1978.
- <sup>100</sup> Arney, J. S., Arney, C. D. Modeling the Yule-Nielsen Halftone Effect, *J. Imaging Sci. Technol* 40, 233–238, 1996.
- <sup>101</sup> Arney, J. S. A Probability Description of the Yule-Nielsen Effect I., *J. Imaging Sci. Technol.* 41, 633–642, 1997.
- <sup>102</sup> Hersch, R.D., Emmel, P., Collaud, F., Crete, F. Spectral reflection and dot surface prediction models for color halftone prints, *J. Elect. Imaging*, 14(3), 33001-330012, 2005.
- <sup>103</sup> Dainty, J., Shaw, R. *Image Science*, Academic Press, London, 1974.
- <sup>104</sup> Yule, J., Howe, D., and Altman, J. The effect of the spread function of paper on halftone reproduction, *TAPPI Proceedings*, 50, 337–344, 1967.
- <sup>105</sup> Rogers, G. Measurement of the modulation transfer function of paper. *Applied Optics*, 37, 7235–7240, 1998.
- <sup>106</sup> Wakeshima, H., Kunishi, T., and Kaneko, S. Light scattering in paper and its effect on halftone reproduction. *Journal of the Optical Society of America*, 58, 272–273, 1968.
- <sup>107</sup> Engeldrum, P., Pridham, B. Application of turbid medium theory to paper spread function measurements. *Technical Association of the Graphic Arts Proceedings*, 339–354, 1995.
- <sup>108</sup> Oittinen, P. Limits of microscopic print quality, in *Advances in Printing Science and Technology*, ed. W.H. Banks, Pentech, London, 121–128, 1982.
- <sup>109</sup> Arney, J., Arney, C., Katsube, M. An MTF analysis of papers, *J. Imag. Sci. Techn.*, 40, 19–25, 1996.
- <sup>110</sup> Arney, J., Pray, E., Ito, K. Kubelka-Munk theory and the Yule-Nielsen effect on halftones. *J. Imag. Sci. Techn.*, 43, 365–370, 1999.
- <sup>111</sup> Arney, J., Chauvin, J., Nauman, J. et al. Kubelka-Munk theory and the MTF of paper, *J. Imag. Sci. Techn.*, 47, 339–345, 2003.
- <sup>112</sup> Yang, L. Modelling ink-jet printing -does the Kubelka-Munk theory apply? NIP18: International Conference on Digital Printing Technologies, San Diego, CA, 482–485, 2002.

- 
- <sup>113</sup> Yang, L. Ink-Paper interaction: a study in ink-jet color reproduction, doktorska disertacija, Linköping University, Norrköping, Sweden, 2003.
- <sup>114</sup> Yang, L. What has been overlooked in Kubelka Munk theory? NIP21: International Conference on Digital Printing Technologies, Baltimore, MD, 376–379, 2005.
- <sup>115</sup> Yang, L., Hersch, R. Kubelka-Munk Model for imperfectly diffuse light. *J. Imag. Sci. Techn.*, 52, 1–7, 2008.
- <sup>116</sup> Mourad, S. Color predicting model for electrophotographic prints on common office paper. Dissertation for Ecole Polytechnique Federale de Lausanne, 2003.
- <sup>117</sup> Mourad, S. Improved calibration of optical characteristics of paper by an adapted paper MTF model, *J. Imag. Sci. Techn.*, 51, 283–292, 2007.
- <sup>118</sup> Petric Maretić, K. Implementacija Lorentzove funkcije u modeliranju reflektancijskoga profila slikovnog elementa, doktorska disertacija, Zagreb, Grafički fakultet, 2013.
- <sup>119</sup> Modrić, D., Bolanča, S., Beuc, R. Monte Carlo Modeling of Light Scattering in Paper, *J. Imag. Sci. Techn.*, 53 (2), 020201-1-020201-8, 2009.
- <sup>120</sup> Modrić, D., Petric Maretić, K., Hladnik, A. Modeling spatial reflection from an uncoated printing paper using Monte Carlo simulation, *Nordic pulp & paper research journal*, 27, 2012.
- <sup>121</sup> Modrić, D., Petric Maretić, K., Hladnik, A. Determination of point-spread function of paper substrate based on light-scattering simulation, *Applied Optics*, 53(33) 7854-7862, 2014.
- <sup>122</sup> Jackson, L.L. Optical dot gain and the off-press color proof. *GATFWorld*, 2(3), 1-5, 1990.
- <sup>123</sup> Bernsand, R.S., Bose, A., Tzeng, D.Y. The spectral model of large-format ink-jet printers, Tech. report, Munsell Color Science Laboratory, Rochester Institute of Technology, New York, 1996.
- <sup>124</sup> Yang, L., Lundstrom, N. Physical dot gain of offset: Understanding and determination, *Nordic Pulp and Paper*, 22(3), 2007.
- <sup>125</sup> Hébert, M., Hersch, R. D. Reflectance and transmittance model for recto-verso halftone prints, *J. Opt. Soc. Am. A* 23(10)

- 
- <sup>126</sup> Koopipat, C., Tsumura, N., Miyake, Y. Effect of Ink Spread and Optical Dot Gain on the MTF of ink jet image, 2002.
- <sup>127</sup> Ukishima, M., Suzuki, Y., Tsumura, N., Nakaguchi, T., Makinen, M., Parkinen, J. A method to separately model mechanical and optical dot gain effects in color halftone prints. TAGA 62nd Annual Technical Conference, San Diego, 2010.
- <sup>128</sup> Namedanian, M., Gooran, S. Characterization of total dot gain by microscopic image analysis, *J. Imag. Sci. Tech.*, 55(4), 040501-1-040501-7, 2011.
- <sup>129</sup> Yang, L. A unified model of optical and physical dot gain in print color reproduction, *J. Imag. Sci. Tech.*, 48(4), 347-353, 2004.
- <sup>130</sup> Hebert, M., Hersch, R.D. Analyzing halftone dot blurring by extended spectral prediction models, *J. Opt. Soc. Am A* 27, 6-12, 2010.
- <sup>131</sup> Arney, J.S., Engeldrum, P.G., Zeng, H. An expanded Murray-Davies model of tone reproduction in halftone imaging, *J. Imag. Sci. Tech.*, 39(6), 502-508, 1995.
- <sup>132</sup> Namedanian, M., Coppel, L.G., Neuman, M., Gooran, S., Edstrom, P., Kolseth, P. Analysis of optical and physical dot gain by microscale image histogram and modulation transfer function, *J. Imag. Sci. Tech.*, 57(2), 0205041-0205045, 2013.
- <sup>133</sup> Canny, J. A computational approach to edge detection, *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 8(6), 679-698, 1986.
- <sup>134</sup> Frei, W., Chen, C. Fast Boundary Detection: A Generalization and New Algorithm, *IEEE Trans. Computers*, C-26(10), 988-998, 1977.
- <sup>135</sup> Pratt, W. K. *Digital Image Processing*, John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, 2007.
- <sup>136</sup> Walck, C. *Hand-book on statistical distributions for experimentalists*, Particle Physics Group, University of Stockholm, 2007.
- <sup>137</sup> Retulainen, E., Niskanen, K., Nilsen, N. *Papermaking Science and Technologie*, Vol16: Paper Physics, ur. Niskanen, Helsinki University of Technology, Finland, Chap.2, Fibers and bonds, 70-72, 1998.

- 
- <sup>138</sup> Salmen, L., Akerholm, M., Hinterstoisser, B. Two-dimensional Fourier transform infrared spectroscopy applied to cellulose and paper polysaccharides. In: Structural Diversity and Functional Versatility, ur. Dumitriu S. Marcel Dekker, New York, 159–187, 2005.
- <sup>139</sup> Nelson, M.L., O'Conner, R.T. Relation of certain infrared bands to cellulose crystallinity and crystal lattice type. J Appl Polym Sci, 8,1325-1341, 1964.
- <sup>140</sup> Kondo, T. The assignment of IR absorption bands due to free hydroxyl groups in cellulose. Cellulose, 4, 281–292, 1997.
- <sup>141</sup> Malloy, P.G. High solids content calcium stearate dispersions. US Patent 5209778, 1993.
- <sup>142</sup> Fleischer, J. M., Dogett, D. Spectral profiling with a single photodiode, Laser and Optronics, 47-52, 1989.
- <sup>143</sup> Manual, Indigo Turbo Stream, <http://quarkist.com/ARCH/W1/FILES/Indigo.pdf>, pristupljeno 4.8.2015.
- <sup>144</sup> Manual, Canon IR, [http://www.usa.canon.com/cusa/support/office/b\\_w\\_imagerunner\\_copiers/imagerunner\\_7086\\_7095\\_7095p\\_7105/imagerunner\\_7105](http://www.usa.canon.com/cusa/support/office/b_w_imagerunner_copiers/imagerunner_7086_7095_7095p_7105/imagerunner_7105), pristupljeno 4.8.2015.
- <sup>145</sup> Manual, HP9050dn, <http://h20565.www2.hp.com/portal/site/hpsc/public/psi/manualsResults/?sp4ts.oid=410000>, pristupljeno 4.8.2015.
- <sup>146</sup> Manual, Océ Vario Print 2110, <http://downloads.oce.com/ProductDownloads/Index/325>, pristupljeno 4.8.2015.
- <sup>147</sup> Manual, Xerox DT 6135, <http://www.support.xerox.com/support/docutech-6135/documentation/enus.html?operatingSystem=win7x64&fileLanguage=en>, pristupljeno 4.8.2015.
- <sup>148</sup> Manual, Xerox DC 250, <http://www.support.xerox.com/support/docucolor-240-250/documentation/enus.html?associatedProduct=dc240-250-built-in-controller>, pristupljeno 4.8.2015.
- <sup>149</sup> Manual, Epson Stylus Photo 2400, [https://files.support.epson.com/pdf/r2400\\_/r2400\\_sl.pdf](https://files.support.epson.com/pdf/r2400_/r2400_sl.pdf), pristupljeno 4.8.2015.
- <sup>150</sup> Manual, Epson Stylus Pro 7000, [https://files.support.epson.com/pdf/pro7k\\_/pro7k\\_sl.pdf](https://files.support.epson.com/pdf/pro7k_/pro7k_sl.pdf), pristupljeno 4.8.2015.

---

<sup>151</sup> Manual, Riso RZ 970, <https://www.riso.com.hk/eng/products/rz970.php>, pristupljeno 4.8.2015.

<sup>152</sup> Tanaka, Y., Takao, A. Quantitative Analysis of Print Quality Features. *J. Imag. Tech.*, 13(6), 1987.

<sup>153</sup> Tse, M. K. Use of An Automated Print Quality Evaluation System as a Failure Analysis Tool. *IS&T NIP21*, 1995.

<sup>154</sup> Briggs, J.C., Tse, M.K. Objective Print Quality Analysis and the Portable Personal IAS Image Analysis System, *J. Imag. Soc. Of Japan*, 158, 99-107, 2005.