Validacija tehnike računalne radiografije

Makanec, Branimir

Undergraduate thesis / Završni rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:968738

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-13**

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Branimir Makanec

Zagreb, 2017

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentori:
Prof. dr. sc. Damir Markučič, dipl, ing.

Student:
Branimir Makanec

Zagreb, 2017

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se svojoj obitelji i prijateljima koji su bili uz mene prilikom pisanja ovoga rada i studiranja, a posebno prof. dr. sc. Damiru Markučiču na pruženom znanju, savjetima, strpljenju i suradnji tijekom pisanja i izrađivanja završnog rada.

Branimir Makanec

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite

Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Branimir Makanec** Mat. br.: 0035188494

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Validacija tehnike računalne radiografije**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Validation of computed radiography technique**

Opis zadatka:

Rezultat ispitivanja komponenti i materijala tehnikom industrijske računalne radiografije (*CR - Computed Radiography*) je digitalni dvodimenzionalni slikovni zapis. Za razliku od konvencionalne radiografske metode snimanja na film, takav sadržaj radiografskog slikovnog zapisa moguće je analizirati naprednim kvantitativnim postupcima i računalnim alatima.

U svrhu analize i provjere pouzdanosti provedenog postupka ispitivanja odabranog uzorka tehnikom računalne radiografije u radu je potrebno:

- opisati postupke ocjenjivanja kvalitete radiografskog slikovnog zapisa temeljem kvantitativnih pokazatelja,
- prikazati postupke evaluacije i kvantificiranja određenih značajki ispitivane komponente i/ili pronađenih nepravilnosti u materijalu ispitivane komponente,
- u skladu s danim prikazom planirati i provesti evaluaciju te kvantificiranje značajki dobivenih indikacija na radiografskom slikovnom zapisu odabranoga uzorka s prirodnim ili umjetno izrađenim nepravilnostima,
- po mogućnosti usporediti dobivene rezultate s rezultatima drugih relevantnih postupaka određivanja promatranih značajki,
- rezultate usporedno prikazati i komentirati s obzirom na relevantne uvjete provedbe analiziranih postupaka.

U radu navesti korištenu literaturu, norme kao i eventualnu pomoć.

Zadatak zadan:

30. studenog 2016.

Rok predaje rada:
1. rok: 24. veljače 2017.
2. rok (izvanredni): 28. lipnja 2017.
3. rok: 22. rujna 2017.

Predviđeni datumi obrane:
1. rok: 27.2. - 03.03. 2017.
2. rok (izvanredni): 30. 06. 2017.
3. rok: 25.9. - 29. 09. 2017.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Damir Markučič

v.d. predsjednika Povjerenstva:

Izv. prof. dr. sc. Branko Bauer

SADRŽAJ

SADRŽAJ……...……2
POPIS SLIKA……3
POPIS TABLICA……...5
POPIS OZNAKA……6
SAŽETAK……..7
SUMMARY……8
1. UVOD……9
2. RAČUNALNA RADIOGRAFIJA……10
2.1. Općenito o radiografiji……10
2.2. Komponente računalne radiografije……11
2.2.1. Izvor zračenja……...11
2.2.2. Slikovne ploče……..12
2.2.3. CR skener……13
2.3. Parametri kvalitete slike……13
2.3.1. Prostorna rezolucija……16
2.3.2. Odnos signal-šum……23
2.3.3. Odnos kontrast-šum……27
3. PRAKTIČNI DIO RADA……32
3.1. Parametri i način mjerenja……..32
3.2. Izračun SR-a, SNR-a i CNR-a……34
3.3. Mjerenje širina utora……...44
4. ZAKLJUČAK……...52
LITERATURA……..53
PRILOZI……...54

POPIS SLIKA

Slika 1. Način rada radiografskog ispitivanja……...10
Slika 2. RTG cijev……11
Slika 3. Gama raspad [3]……12
Slika 4. Višestruko eksponiranje slikovnih ploča……12
Slika 5. Princip rada CR skenera [4]……..13
Slika 6. Duplex indikator……..16
Slika 7. HR_U2_050_15_525……...17
Slika 8. Prozor za statistiku……...18
Slika 9. Prozor za unos prostorne rezolucije……18
Slika 10. Potrebni odnos [9]……...19
Slika 11. Prikaz signala pomoću alata „Profiler“……..19
Slika 12. Par žičica 12 D……...20
Slika 13. Iznos lokalnog minimuma intenziteta signala……...21
Slika 14. Maksimalni signal……..22
Slika 15. Mean vrijednost signala uz žicu……22
Slika 16. Smještaj površine za mjerenje SNR-a u odnosu na cijeli radiogram……24
Slika 17. Prozor za statistiku s oznakama i ROI……...25
Slika 18. Prozor alata Profiler……...26
Slika 19. Slikovni prikaz izraza kontrast……..27
Slika 20. Područje mjerenja za izračun CNR-a……28
Slika 21. Prozor za statistiku za izmjeru mean vrijednosti signala pozadine (pored utora)….28
Slika 22. Prozor alata Profiler za izmjeru mean vrijednosti signala objekta (utora)……29
Slika 23. Prozor za statistiku za izmjeru iznosa standardne devijacije signala pozadine…….30
Slika 24. Prozor alata Profiler za izmjeru iznosa standardne devijacije i signala objekta (utora)……30
Slika 25. Uzorci s umjetnim nepravilnostima (utorima)……...32
Slika 26. Odnos oštrine i SNR-a slikovnog zapisa s obzirom na korištenu slikovnu ploče [10].33
Slika 27. Slikovni zapis Blue 50um uz okvirno označene ROI-eve……34
Slika 28. Par žičica 10D prikazane pomoću alata Profiler……35
Slika 29. Slikovni zapis Blue 100um uz okvirno označene ROI-eve……...36

Slika 30. Par žičica 8D prikazan pomoću alata Profiler……...37
Slika 31. Slikovni zapis GP 50um uz okvirno označene ROI-eve……38
Slika 32. Par žičica 8D prikazan pomoću alata Profiler……...39
Slika 33. Slikovni zapis GP 100um uz okvirno označene ROI-eve……..40
Slika 34. Par žičica 7D prikazan pomoću alata Profiler……...41
Slika 35. Grafički prikaz ovisnosti CNR-a o dubini utora……42
Slika 36. Ovisnost SNRn-a o parametrima snimanja……43
Slika 37. Kontrast (C) u ovisnosti o pixel size-u i vrsti slikovne ploče……43
Slika 38. Prikaz mjerenja širine utora……...44
Slika 39. Okvirni prikaz zoni mjerenja pri mjerenju širina utora…….45
Slika 40. Mjerenje širine utora pomoću Profiler-a u zoni mjerenja 1.2 za Blue 50um…….46
Slika 41. Mjerenje širine utora pomoću Profiler-a u zoni mjerenja 4.1 za Blue 50um…….46
Slika 42. Mjerenje širine utora pomoću Profiler-a u zoni mjerenja 1.2 za Blue 100um……...47
Slika 43. Mjerenje širine utora pomoću Profiler-a u zoni mjerenja 4.1 za Blue 100um……...47
Slika 44. Mjerenje širine utora pomoću Profiler-a u zoni mjerenja 1.2 za GP 50um……...48
Slika 45. Mjerenje širine utora pomoću Profiler-a u zoni mjerenja 4.1 za GP 50um……...49
Slika 46. Mjerenje širine utora pomoću Profiler-a u zoni mjerenja 1.2 za GP 100um…….50
Slika 47. Mjerenje širine utora pomoću Profiler-a u zoni mjerenja 4.1 za GP 100um…….50

POPIS TABLICA

Tablica 1. Prostorna razlučivost pojedinih elemenata Duplex indikatora [8]……...16
Tablica 2. Mean vrijednosti signala objekta i pozadine……29
Tablica 3. Vrijednosti standardnih devijacija pozadine i objekta…….31
Tablica 4. Iznosi SNR-a i CNR-a za Blue 50um……..35
Tablica 5. Iznosi SNR-a i CNR-a za Blue 100um……37
Tablica 6. Iznosi SNR-a i CNR-a za GP 50um…….39
Tablica 7. Iznosi SNR-a i CNR-a za GP 100um……...41
Tablica 8. Iznosi SRb-a s obzirom na korištene slikovne ploče……...42
Tablica 9. Ovisnost kontrasta……44
Tablica 10. Širine utora slikovnog zapisa Blue 50um……..46
Tablica 11. Širine utora slikovnog zapisa Blue 100um……48
Tablica 12. Širine utora slikovnog zapisa GP 50um…….49
Tablica 13. Širine utora slikovnog zapisa GP 100um……...50
Tablica 14. Iznosi širina svih utora s obzirom na različite parametre……...51

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
μ	GV (Grey value)	prosječna vrijednost signala (mean)
σ	GV (Grey value)	standardna devijacija signala
SR_b	-	osnovna prostorna rezolucija
SNR	-	odnos signal-šum
CNR	-	odnos kontrast-šum

SAŽETAK

U ovome radu je obrađivano područje računalne radiografije, koja je jedna od metoda nerazornih ispitivanja. Cilj samoga rada jest ustanoviti koje su prednosti i mane računalne radiografije u usporedbi s drugim relevantnim postupcima određivanja promatranih značajki. Nadalje bit će navedeni bitni parametri kvalitete slike (SR, SNR, CNR). Isti će također biti detaljnije opisani te izmjereni po aktualnim normama. Eksperimentalni dio rada sastoji se od snimanja predmeta postupkom računalne radiografije te provjere na koji način će se mijenjati parametri kvalitete slike s obzirom na mijenjanje ispitnih parametara i parametara skeniranja (tip slikovne ploče i veličina pixela (pixel size)).

Ključne riječi: Računalna radiografija, nerazorna ispitivanja, parametri kvalitete slike, digitalni radiografski zapis

SUMMARY

This paper talks about computed radiography, which is one of the methods of non-destructive testing. The goal of this paper is to establish which are the advantages and drawbacks of computed radiography in comparison to other relevant methods of discovering flaws in the material. Furthermore the image quality parameters will be listed (SR, SNR, CNR). They will also be explained in more detail and measured in accordance to current norms. The experimental part of the paper consists of scanning an object and reviewing how the changes in test parameters and scan parameters (type of imaging plates and pixel size) affect image quality parameters.

Key words: Computed radiography, non-destructive testing, image quality parameters, digital radiography recording

1. UVOD

Područje nerazornih metoda ispitivanja (NDT) definira se kao skup metoda temeljen na principima fizike sa svrhom utvrđivanja svojstava materijala ili komponenata sustava te otkrivanja različitih nedostataka, a da se pritom ne utječe na funkcionalnost predmeta koji se ispituje.

Jedna od nerazornih metoda ispitivanja je radiografska kontrola te će ona biti tema ovog završnog rada. Radiografska kontrola je vrsta kontrole bez razaranja, koja pri kontroli kvalitete metodama prozračavanja u praksi koristi rendgenske zrake (X-zrake) ili gama zrake. Rendgenske zrake nastaju pri naglom kočenju ubrzanog snopa elektrona na metalnoj ploči (anoda u rendgenskoj cijevi), dok gama zrake nastaju prilikom spontanog raspada nestabilnih atomskih jezgri (prirodnih radioaktivnih materijala i radioaktivnih izotopa). Rendgenske i gama zrake „preslikavaju“ oblik predmet ,svojim prolaskom kroz njega, na filmsku emulziju, na čemu se i zasniva radiografska kontrola i ispitivanje grešaka u unutrašnjosti materijala. Izvor rendgenskog zračenja je rendgenska cijev s vakuumom, priključena na visok napon do 400 kV (za prozračivanje čeličnih predmeta do 70 mm debljine).

U industrijskoj primjeni uz konvencionalna radiografska ispitivanja „na film“ dolazi do sve veće primjene tehnike digitalne radiografije.

Digitalna radiografija se nadalje dijeli na:

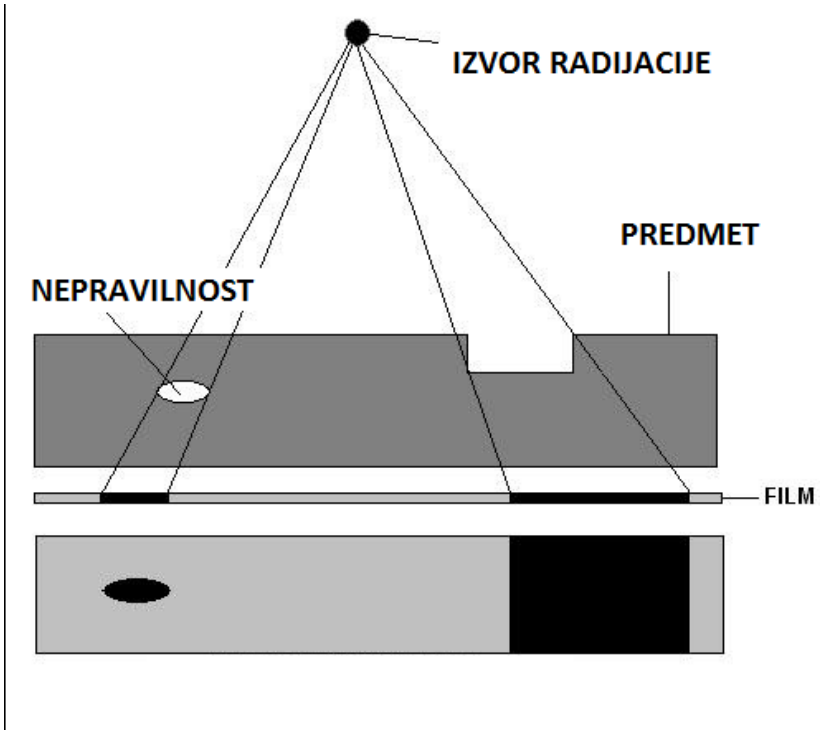
- Direktna radiografija (DDR – Direct to Digital Radiography)
- Računalna radiografija (CR – Computer Radiography)

Ovaj završni rad će se baviti računalnom radiografijom. Cilj ovoga rada je odrediti na koji način određeni parametri kvalitete slike (SR, SNR, CNR) ovise o promjeni ispitnih parametara i parametara skeniranja.

2. RAČUNALNA RADIOGRAFIJA

2.1. Općenito o radiografiji

Radiografija je vrsta kontrole bez razaranja pri kojem su ispitivani predmeti izloženi snopu rendgenskih zraka. Razlike u debljini, gustoći, apsorpciji uzrokovanoj unutarnjim pogreškama vide se na slici koja nastaje na fluorescentnom zaslonu ili fotografskom filmu stavljenom iza ispitivanog uzorka (slika 1.)



Slika 1. Način rada radiografskog ispitivanja

Rendgenske zrake, poznate i kao X-zrake, područje su elektromagnetskog zračenja s valnim duljinama između 10 nm i 0,01 nm, što približno odgovara području između ultraljubičastog i gama zračenja. Najpoznatija njihova primjena je u dijagnostičkoj radiografiji i kristalografiji. Zbog svoje energije ubrajaju se u ionizirajuće zračenje. Rendgenske zrake se dijele na tvrde i meke rendgenske zrake, s obzirom na mogućnost prodiranja kroz razne materijale. Meke rendgenske zrake imaju valnu duljinu od 0,1 nm do 10 nm dok tvrde rendgenske zrake imaju valnu duljinu od 0,01 nm do 0,1 nm. Osnovna razlika između rendgenskih i gama zraka je u načinu njihovog nastajanja. Rendgenske zrake nastaju zakočnim zračenjem, dok gama zrake nastaju radioaktivnim raspadom jezgri nestabilnih izotopa [1].

2.2. Komponente računalne radiografije

Sustav potreban za računalnu radiografiju (Computed Radiography) sastoji se od:

- Izvora zračenja
- Slikovnih ploča
- CR skenera

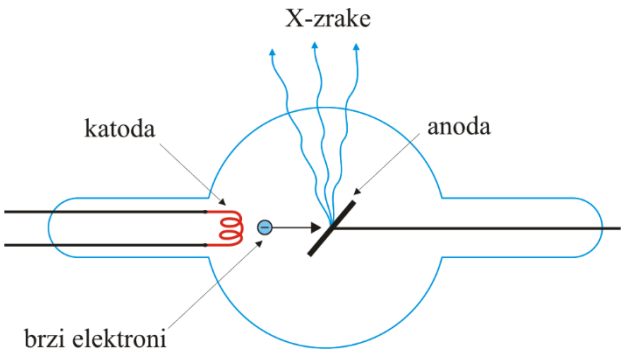
2.2.1. Izvor zračenja

Kao izvor zračenja koriste se industrijski RTG uređaji i izotopi.

Zračenja kod RTG cijevi (Slika 2.) su X-zrake. Uređaji za generiranje X-zraka imaju vakuumiranu staklenu cijev na čijim krajevima su postavljene elektrode, negativna katoda i pozitivna anoda. Na elektrode je doveden visoki napon koji može biti u rasponu od nekoliko tisuća volti do nekoliko stotina tisuća volti. Razlika potencijala tada elektrone nakupljene na katodi ubrzava prema anodi te oni s velikom energijom udaraju u metalnu ploču (anodu). Pri sudaru s metalnom pločom elektrone će privući pozitivno nabijena jezgra atoma metala, pri čemu se smanjuje energija elektrona, tj. dolazi do emisije X-zraka, koje imaju veliku moć prodiranja [1].

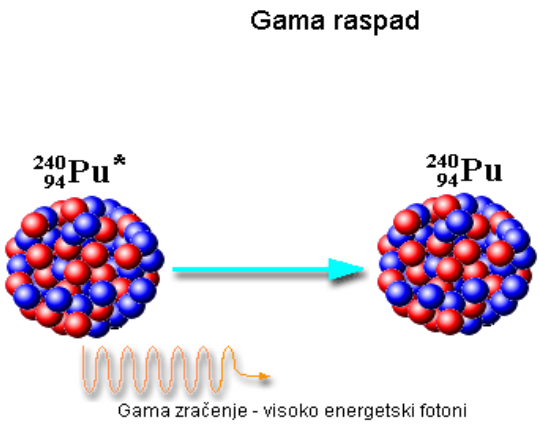
Ključne karakteristike izvora zračenja su veličina fokusa (Focal spot size) i raspon energija. Veličina fokusa (žarišna točka) definira se kao područje na površini anode u koju udara snop elektrona iz katode [2]. Oblik i veličina žarišne točke su određeni veličinom i oblikom elektronskog snopa u trenutku udara na anodu. Maksimalna energija koju X-zrake mogu imati određena je razlikom potencijala između elektroda koje ubrzavaju elektrone.

Veličina fokusa koja se koristi u industrijske svrhe je od 1.0 mm do 2.5 mm.



Slika 2. RTG cijev

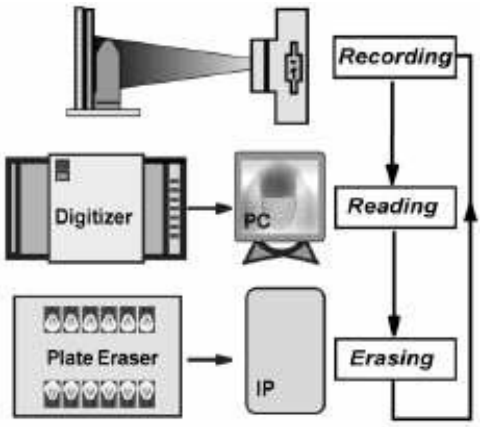
Zračenja kod izotopa su gama zrake. Do emisije gama zrake dolazi kada jezgra radioaktivnog atoma ima previše energije, a obično slijedi emisiju beta čestice. Industrijski najčešći izvori gama zračenja za industrijsku radiografiju su iridij-192 i kobalt-60.



Slika 3. Gama raspad [3]

2.2.2. Slikovne ploče

Slikovne ploče sadrže fotoosjetljivi fosforni sloj (debljine od 0.1 do 0.3 mm debljine) koji pohranjuje dozu zračenja kao latentnu sliku unutar fosfornog sloja. Moguće je višestruko eksponiranje (Slika 4.) (cca 1000 ekspozicija) uz pažljivo rukovanje i korištenje pod određenim uvjetima izloženosti zračenju. Podložne su mehaničkim oštećenjima. Klase osjetljivosti su: GP, HR , Blue



Slika 4. Višestruko eksponiranje slikovnih ploča

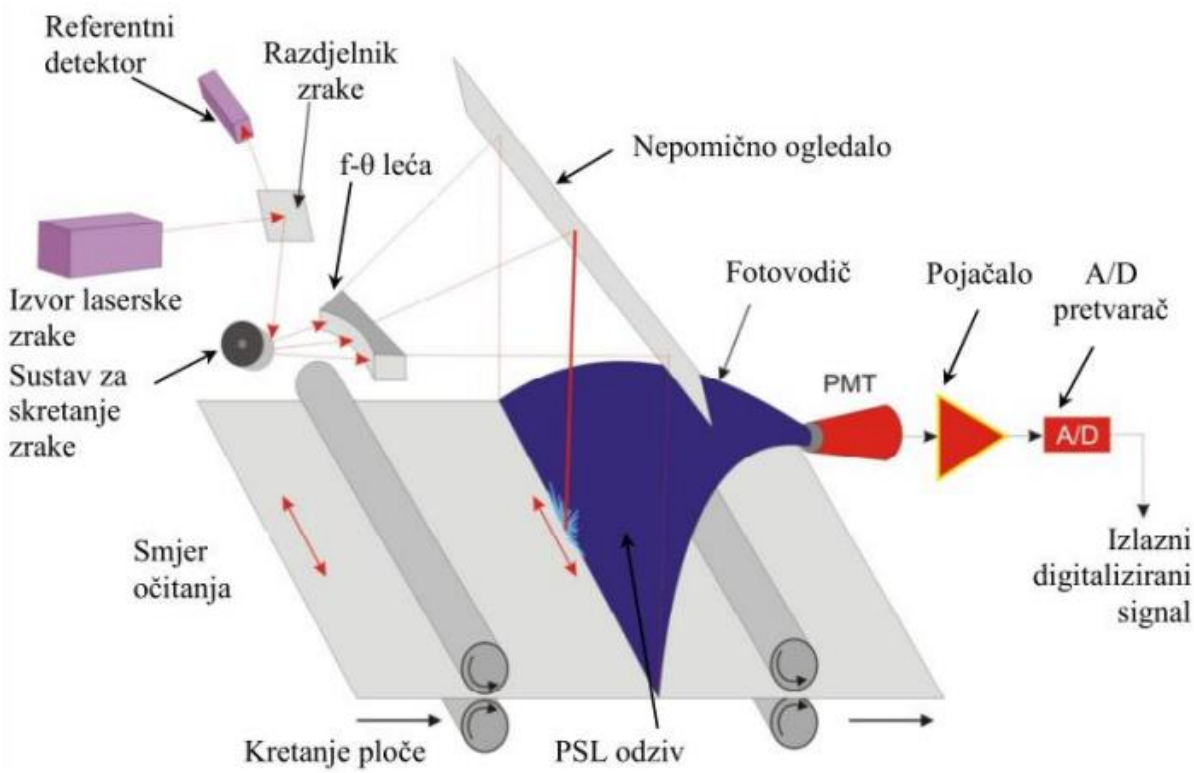
2.2.3. CR skener

CR skener je uređaj koji služi za pretvorbu latentne slike u fosfornom sloju slikovne ploče u digitalni oblik. Kada je pretvorba dovršena moguća je obrada slike u računalnom softveru.

Parametri kvalitete CR skenera su:

- Veličina točke lasera (laser spot size)
- Dubina bita (bit depth)
- Brzina skeniranja (scan speed)

Slika 5. prikazuje princip rada CR skenera.



Slika 5. Princip rada CR skenera [4]

2.3. Parametri kvalitete slike

Kako bi mogli provesti evaluaciju digitalnog prikaza (nastalog iz latentne slike u fosfornom sloju slikovne ploče) nekog dijela bitni su nam parametri kvalitete slike tog predmeta.

Oni su sljedeći:

- SR_b (Basic Spatial Resolution) – osnovna prostorna rezolucija
- SNR (Signal to Noise Ratio) – odnos signal-šum
- CNR (Contrast to Noise Ratio) – odnos kontrast-šum

Prostorna rezolucija

Osnovna prostorna rezolucija (SR_b) se može definirati kao najmanji primjetan detalj u slici. Prostorna rezolucija ovisi o inherentnom kontrastu objekta i sumi efekata zamućivanja svih elemenata radiografskog sustava uključujući i sami objekt [5]. Nadalje prostorna rezolucija je određena parametrima sustava u kojem je slika stvorena.

Postoje dvije vrste osnovne prostorne rezolucije, a razlikuju se po tome na kojem mjestu se postavlja duplex indikator. To su:

Osnovna prostorna rezolucija slike (image basic spatial resolution - SR_b^{image})

Osnovna prostorna rezolucija detektora (detector basic spatial resolution - $SR_b^{detector}$)

Ako se duplex žičice postavljaju na snimani objekt, umjesto na detekor, onda se radi o osnovnoj prostornoj rezoluciji slike (SR_b^{image})

Ako se duplex žičice postavljaju na detektor onda se radi o osnovnoj prostornoj rezoluciji detektora ($SR_b^{detector}$)

Osnovna prostorna rezolucija se izračunava prema sljedećoj formuli:

$$SR_b = \frac{1}{2} u_i$$

u_i – neoštrina slike (više o tome u 2.3.1. poglavlju)

Odnos signal-šum

Odnos signal šum predstavlja fizičku mjeru osjetljivosti sustava za snimanje (digitalnog). Česti način određivanja vrijednosti šuma u slici je procjena odnosa signal-šum. To je omjer prosječne vrijednosti intenziteta pixela koji predstavljaju signal i standardne devijacije intenziteta signala. Odnos signal-šum ovisi o dozi korištene radijacije i CR sustavu [5, 6].

$$SNR = \frac{\mu_{sig}}{\sigma_{sig}}$$

μ_{sig} - prosječna vrijednost intenziteta pixela koji predstavljaju signal

σ_{sig} - vrijednost standardne devijacije intenziteta signala

Normalizirani odnos signal-šum (SNR_N) – SNR normaliziran pomoću prostorne rezolucije (SR_b). Nakon što se unese iznos prostorne rezolucije, SNR_N se u programu u kojemu obrađujemo sliku automatski izračunava iz izmjerenog SNR-a, $SNR_{measured}$ pomoću formule:

$$SNRn = SNRmeasured \frac{88{,}6\mu m}{SRb}$$

Odnos kontrast-šum

Odnos kontrast-šum je mjera koja se koristi za određivanje kvalitete slike. U ovom izrazu šum se mjeri kao prosječna standardna devijacija pozadine i objekta dok je mjera kontrasta razlika prosječne vrijednosti intenziteta pixela signala objekta koji se snima i prosječne vrijednosti intenziteta pixela pozadine (μ_a - μ_b) [6].

$$CNR = \frac{\mu_a - \mu_b}{\sigma_{avg}}$$

μ_a – prosječna vrijednost intenziteta pixela koji predstavljaju signal snimanog objekta

μ_b – prosječna vrijednost intenziteta pixela koji predstavljaju signal pozadine

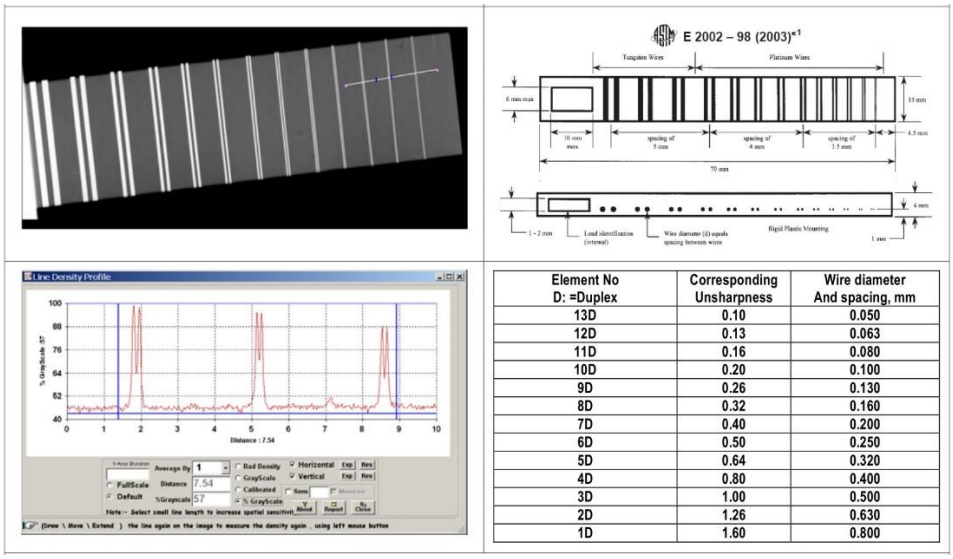
σ_{avg} – prosječna standardna devijacija pozadine i objekta

Normalizirani odnos kontrast-šum (CNR_n) – CNR normaliziran pomoću prostorne rezolucije. Nakon što se unese iznos prostorne rezolucije (SRb), CNR_n se u programu u kojemu obrađujemo sliku automatski izračunava iz izmjerenog CNR-a pomoću formule:

$$CNRn = CNR \frac{88{,}6\mu m}{SRb}$$

2.3.1. Prostorna rezolucija

Prostornu rezoluciju izračunavamo pomoću Duplex indikatora. Duplex indikator sastoji se od 13 parova žičica (u novije vrijeme 15), dimenzija i razmaka vidljivo iz slike 6. U programu ISee! putem alata Profiler vidimo da prilikom prelaska preko svakog para žica imamo pripadajući odziv tj, različite vrijednosti intenziteta piksela obzirom na geometriju žičica, odnos između vrijednosti maksimalnog signala i lokalnog minimuma intenziteta signala između para žica mora iznositi minimalno 20% (Slika 10).



Element No D: =Duplex	Corresponding Unsharpness	Wire diameter And spacing, mm
13D	0.10	0.050
12D	0.13	0.063
11D	0.16	0.080
10D	0.20	0.100
9D	0.26	0.130
8D	0.32	0.160
7D	0.40	0.200
6D	0.50	0.250
5D	0.64	0.320
4D	0.80	0.400
3D	1.00	0.500
2D	1.26	0.630
1D	1.60	0.800

Slika 6. Duplex indikator [7]

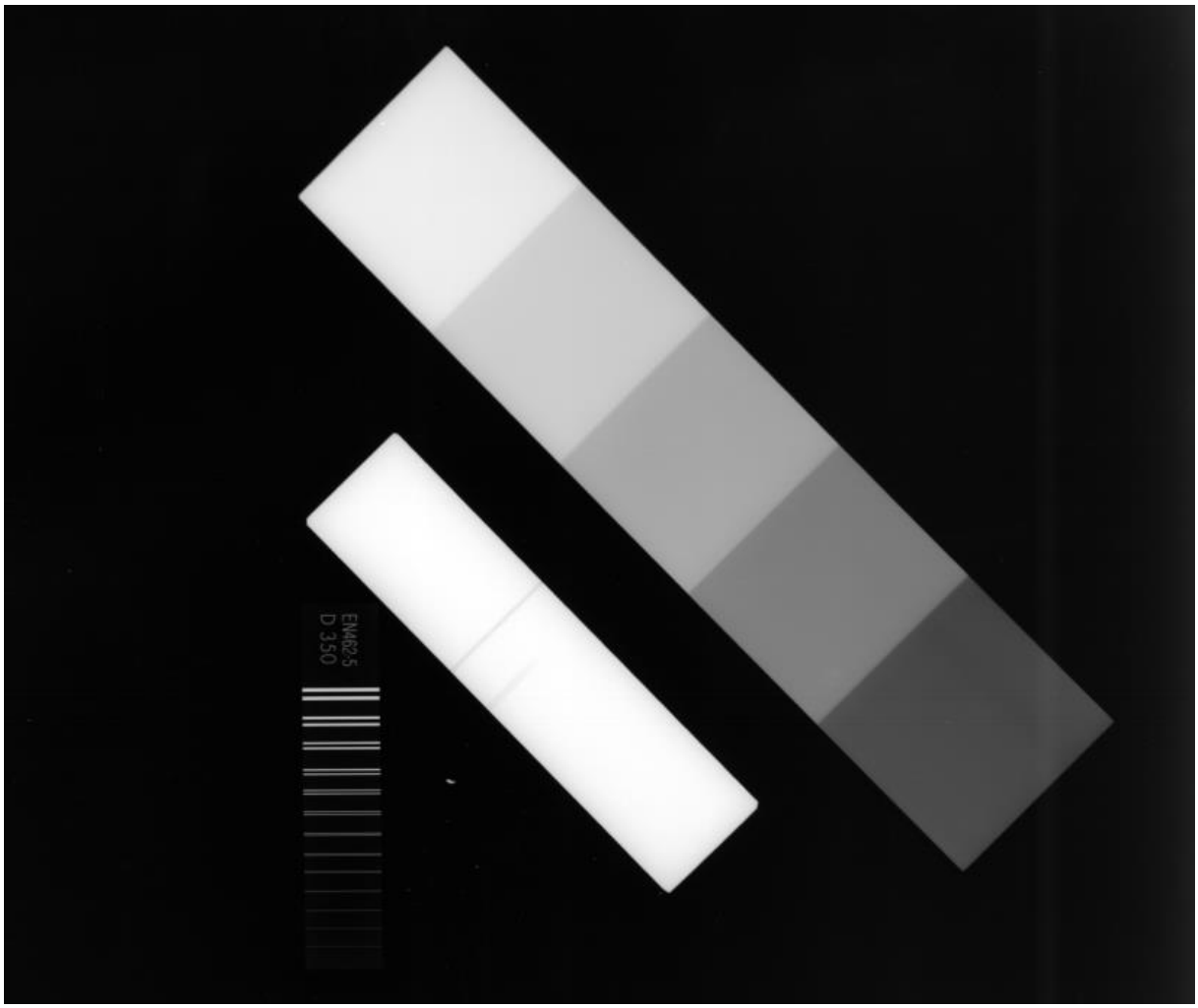
Element	d, mm	Neoštrina	SR_b
15D	0,032	0,064	0,032
14D	0,040	0,080	0,040
13D	0,050	0,100	0,050
12D	0,063	0,130	0,063
11D	0,080	0,160	0,080
10D	0,100	0,200	0,100
9D	0,130	0,260	0,130
8D	0,160	0,320	0,160
7D	0,200	0,400	0,200
6D	0,250	0,500	0,250
5D	0,320	0,640	0,320
4D	0,400	0,800	0,400
3D	0,500	1,000	0,500
2D	0,630	1,260	0,630
1D	0,800	1,600	0,800

Tablica 1. Prostorna razlučivost pojedinih elemenata Duplex indikatora [8]

Nakon što se odredi zadnji vidljivi par žičica (onaj kojemu je odnos između vrijednosti maksimalnog signala i lokalnog minimuna intenziteta signala između para žica minimalno 20%) uzima se iz tablice 1. vrijednost promjera i razmaka para žica što je iznos neoštrine/2.

Postupak mjerenja prostorne rezolucije

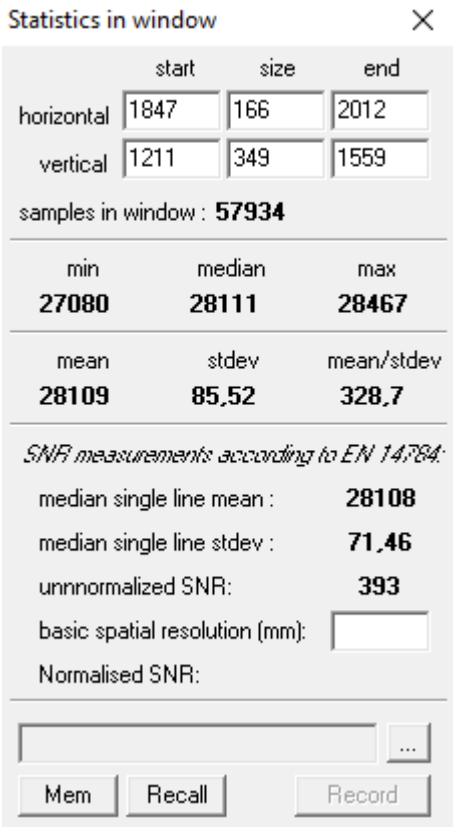
Slika odabrana kao primjer postupka mjerenja je HR_U2_050_15_525 (Slika 7.). Riječ je o slici visoke rezolucije (HR- High Resolution; Blue) na kojoj je duplex indikator postavljen uzdužno. Na slici je također pločica s utorom pomoću koje možemo odrediti SNR i CNR.



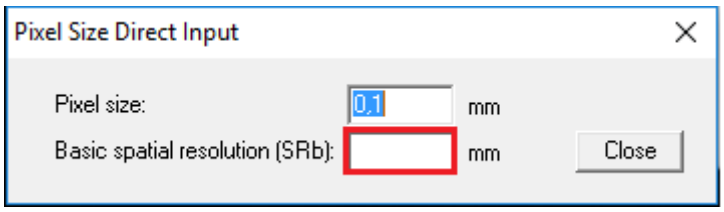
Slika 7. HR_U2_050_15_525

Kako bismo bili u stanju dobiti vrijednost normaliziranog odnosa signal/šum u programu Isee, potrebno je unijeti osnovnu prostornu rezoluciju (Basic spatial resolution) prikazanu na (Slika

8.) u prozoru za statistiku ili preko Image > Input Pixelsize and SR_b, pa se otvori prozor prikazan na (Slika 9).



Slika 8. Prozor za statistiku

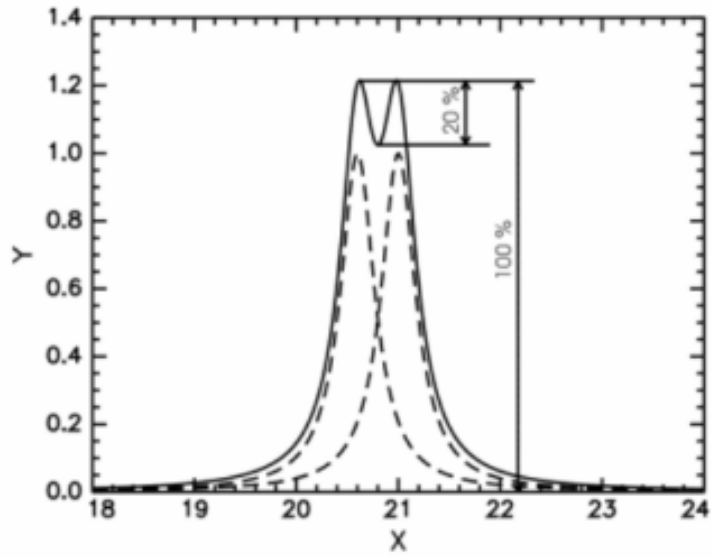


Slika 9. Prozor za unos prostorne rezolucije

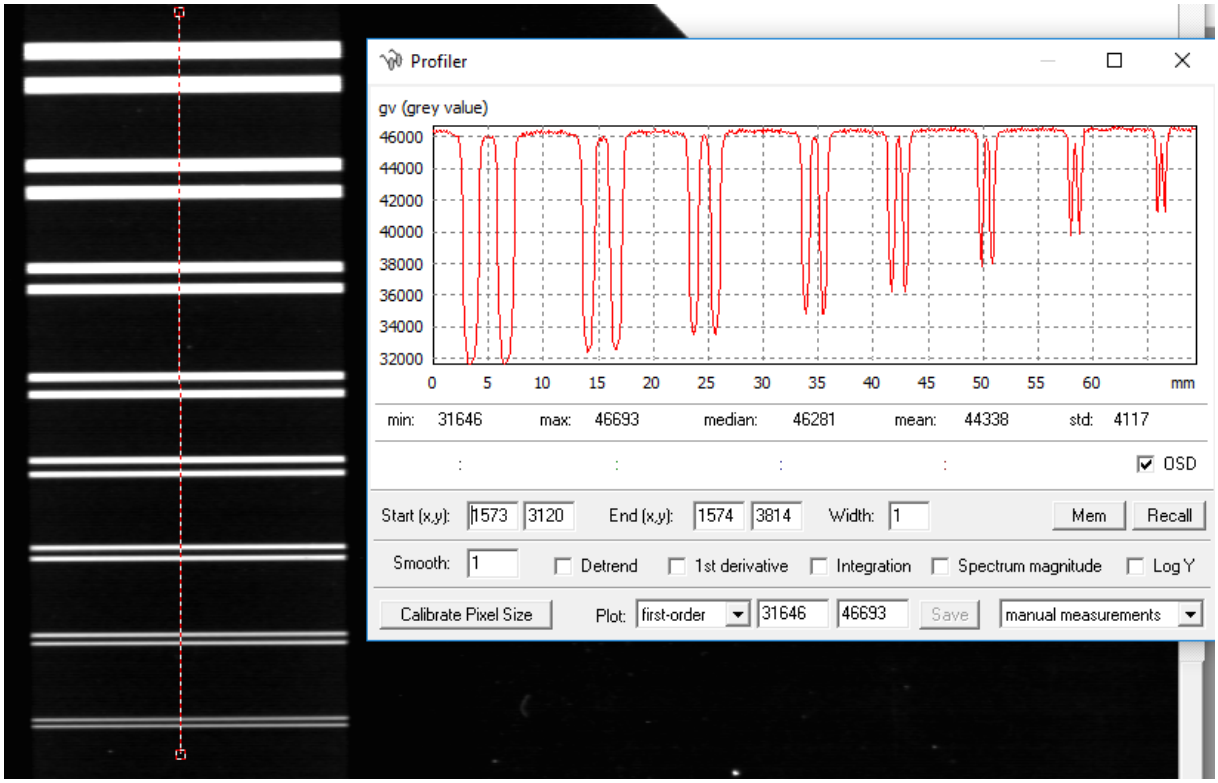
Iznos osnovne prostorne rezolucije nalazimo pomoću duplex indikatora tj. pomoću žičica poznate debljine i poznatog razmaka između parova žičica.

Indikator postavljen na snimljenim slikama ima žice od 1 D do 13 D. Da bi se moglo reći kolika je rezolucija, potrebno je zadovoljiti uvjet da odnos između vrijednosti maksimalnog signala i

lokalnog minimuma intenziteta signala između para žica bude minimalno 20% (Slika 10.). Vrijednosti i profil intenziteta piksela dobijemo pomoću alata „Profiler“ tako da povučemo liniju alata Profiler preko slike duplex indikatora što se vidi na slici 11.

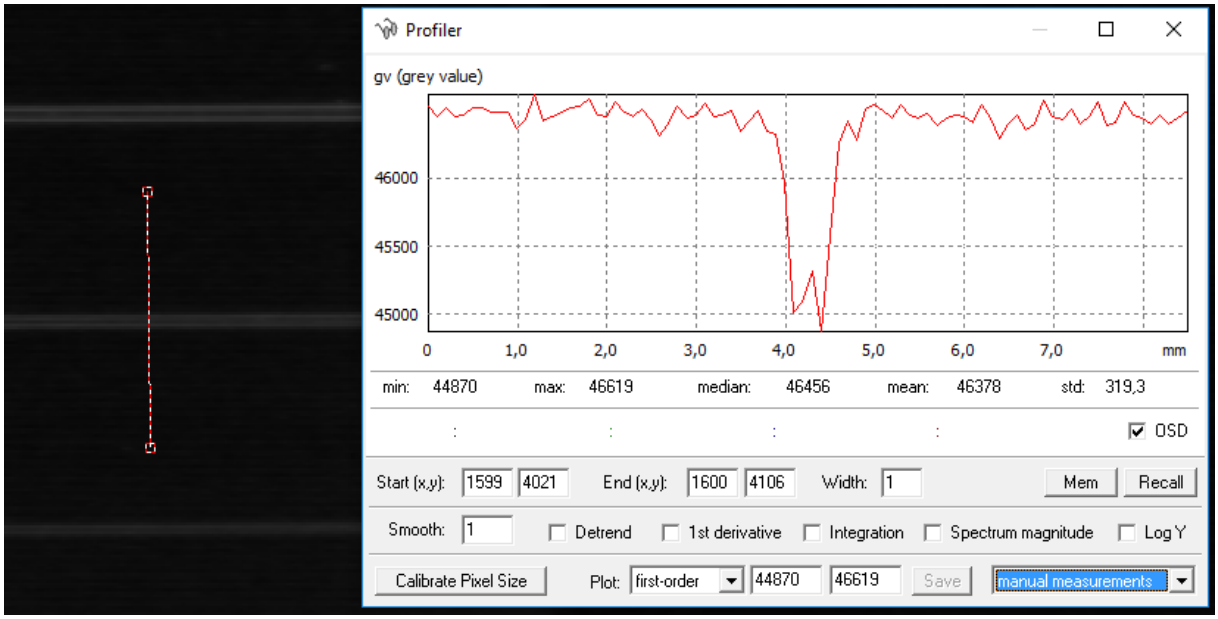


Slika 10. Potrebni odnos [9]



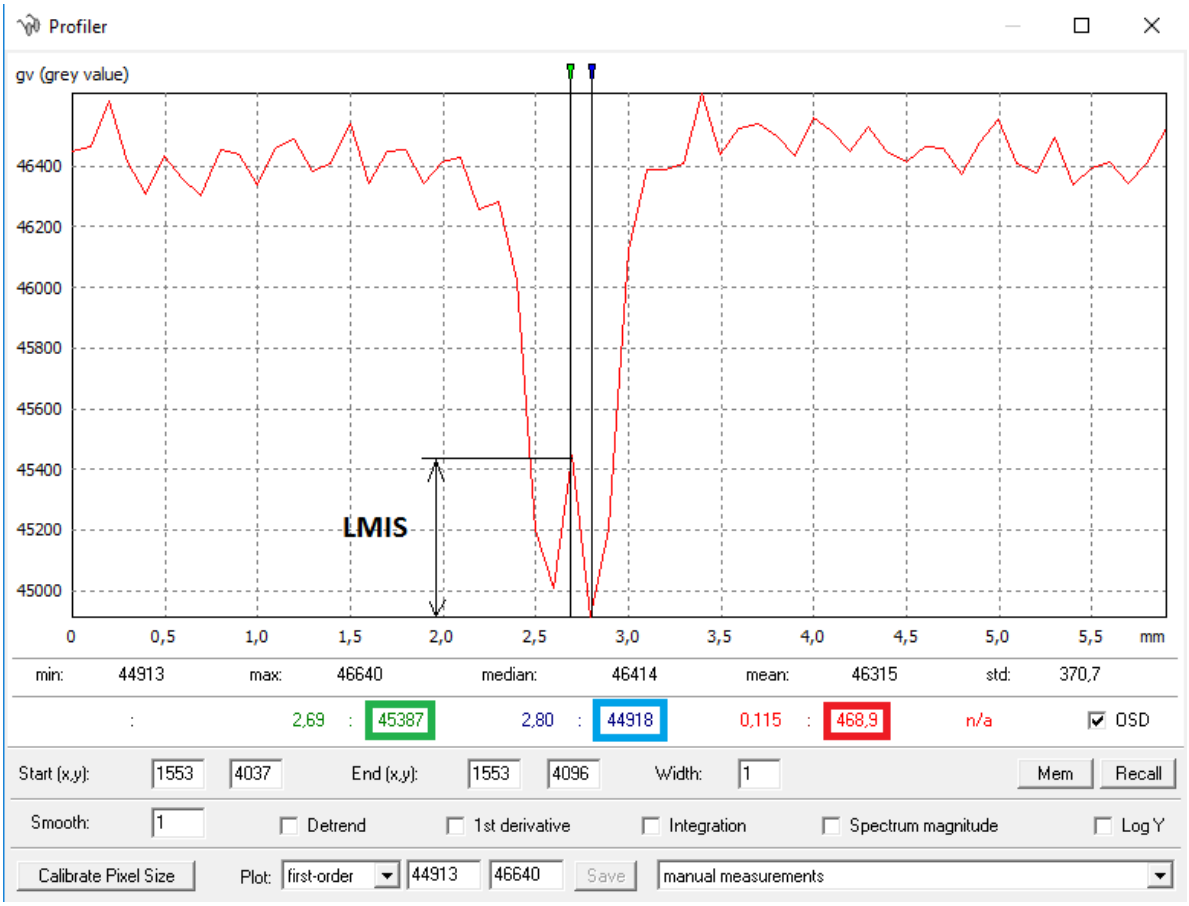
Slika 11. Prikaz signala pomoću alata „Profiler“

Sada je potrebno odrediti zadnji par žica koji i dalje zadovoljava odnos od minimalno 20 % između vrijednosti maksimalnog signala i lokalnog minimuma intenziteta signala. Zadnji par žičica na kojemu se i dalje vidi razmak između njih je 12 D (Slika 12.). Kako bi bili sigurni da taj par zadovoljava uvjet moramo ga provjeriti tako da odredimo koliki je odnos između lokalnog minimuma intenziteta signala i maksimalnog signala.



Slika 12. Par žičica 12 D

Iznos lokalnog minimuma intenziteta signala (LMIS) (Slika 13.) dobije se tako da se oduzme intenzitet signala na „vrhu sedla“ (označeno zelenom bojom na Slika 13.) od intenziteta signala na „dnu sedla“ (označeno plavom bojom na Slika 13.). Sami iznos označen je crvenom bojom.

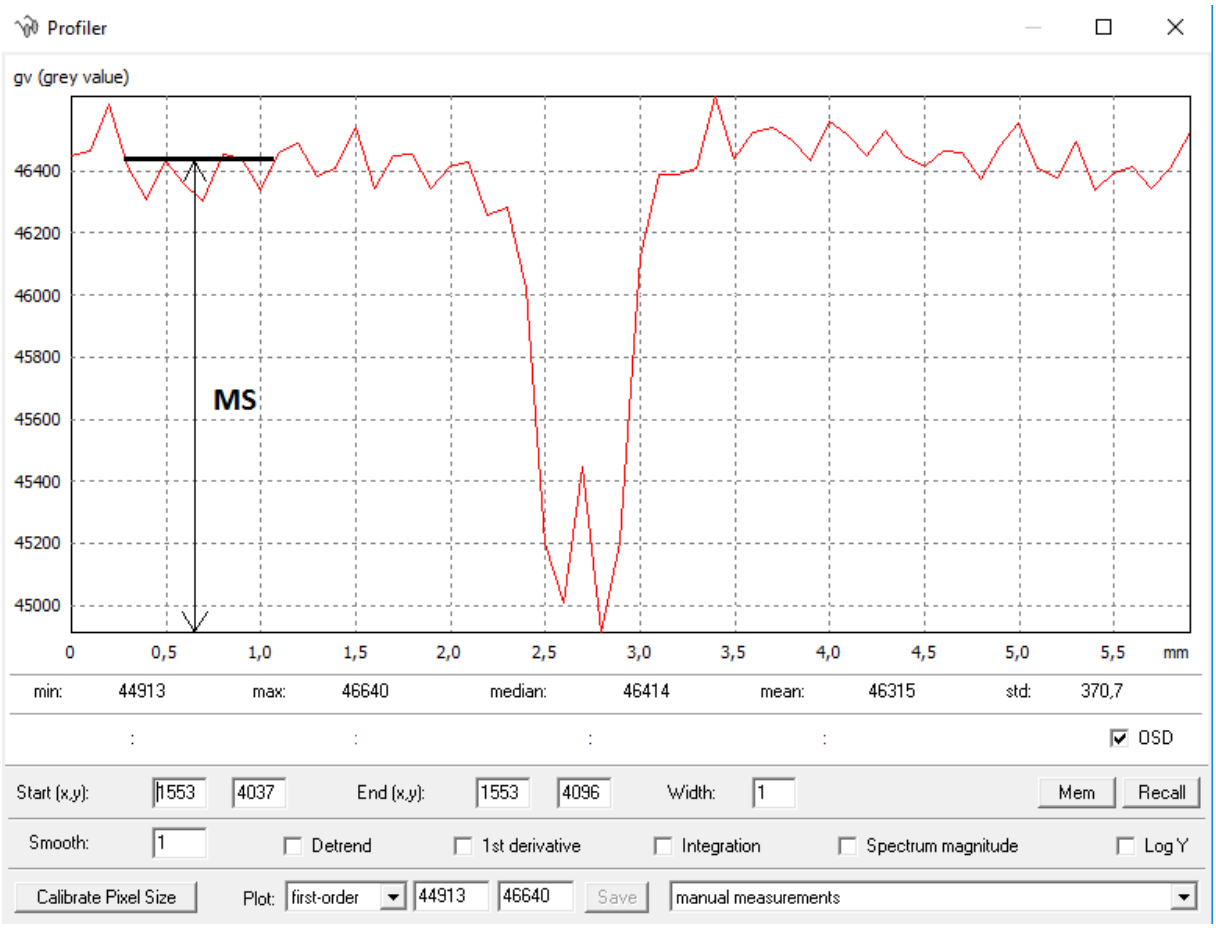


Slika 13. Iznos lokalnog minimuma intenziteta signala

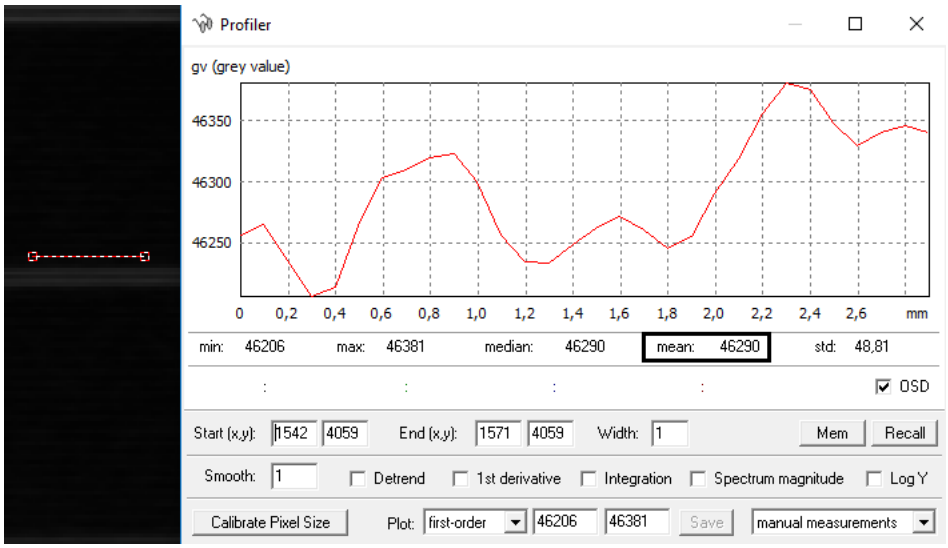
Iznos lokalnog minimuma intenziteta signala (LMIS):

$$LMIS = 45387 - 44918 = 468{,}9$$

Iznos maksimalnog signala (MS) (Slika 14.) računa se tako da se odredi mean vrijednost signala uz žicu (Slika 15.) te se od njega oduzme intenzitet signala na „dnu sedla“ (označeno plavom bojom na Slika 13.).



Slika 14. Maksimalni signal



Slika 15. Mean vrijednost signala uz žicu

Kao što se vidi iz Slika 15. mean vrijednost signala uz žicu iznosi:

$$MEAN = 46290$$

Nakon što je određena mean vrijednost signala uz žicu moguće je izračunati iznos makismalnog signala:

$$MS = MEAN - 44918 = 46290 - 44918 = 1372$$

Na kraju nakon što su dobiveni svi potrebni podatci moguće je odrediti postotak tj. dali je zadovoljen uvjet koji glasi da odnos između vrijednosti maksimalnog signala i lokalnog minimuma intenziteta signala mora biti minimalno 20 %:

$$POSTOTAK = \frac{LMIS}{MS} * 100 = \frac{468{,}9}{1372} * 100 = 34\% > \ 20\ \%\ \text{ZADOVOLJAVA}$$

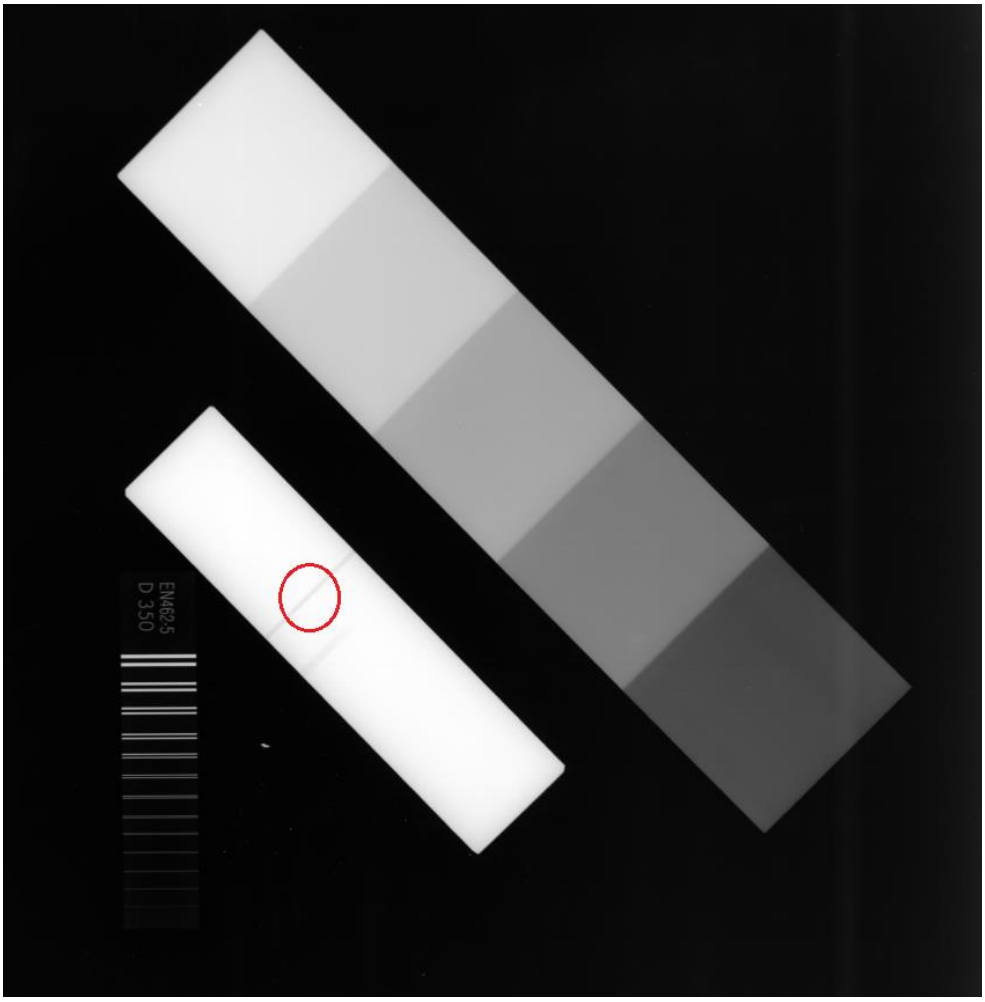
Isti postupak je bio proveden za 13 D (zadnji par zičica) te one nisu prošle uvjet. S tim razlogom je ovaj proračun stavljen u rad.

Nakon što smo odredili koji par žičica (12 D) zadovoljava uvjet; iz tablice 1. direktno očitavamo iznos prostorne rezolucije. Ona za par žičica 12 D iznosi 0.063. Tu vrijednost upisujemo u prozor za unos osnovne prostorne rezolucije (Slika 9.).

2.3.2. Odnos signal-šum

Odnos signal-šum se očitava iz prozora za statistiku (Slika 17.). Provodi se na način da se odabere površina na uzorku koja se želi ispitati. Nakon što se površina (Region Of Interest - ROI) (Slika 16.) odabere svi podatci bivaju ispisani u prozoru za statistiku (Slika 18.).

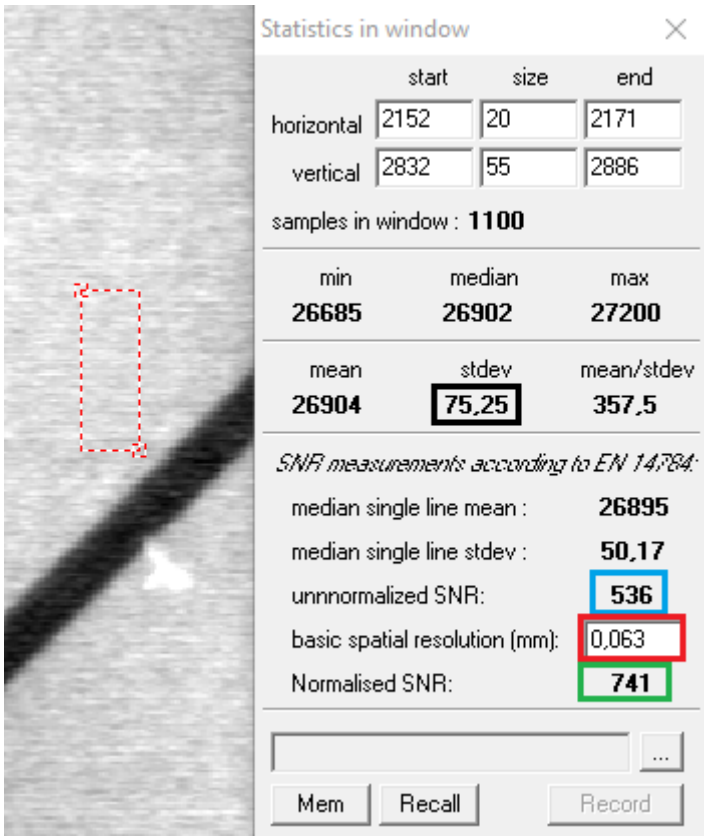
Veličina ROI-a propisana je u normi ISO 17636-2 te iznosi 20 x 55 pixela.



Slika 16. Smještaj površine za mjerenje SNR-a u odnosu na cijeli radiogram

Na (Slika 18) prikazan je statistički prozor za odabrano područje i ROI te je s plavom bojom označen iznos odnosa signal/šum ($SNR_{measured}$) za odabrano uzorkovanje (ROI). Odnos se dobiva sljedećim izrazom:

$$ODNOS\ SIGNAL\ ŠUM\ (SNR) = \frac{PROSIJEČNA\ VRIJEDNOST\ SIGNALA(\mu)}{STANDARDNA\ DEVIJACIJA\ SIGNALA\ (\sigma)}$$

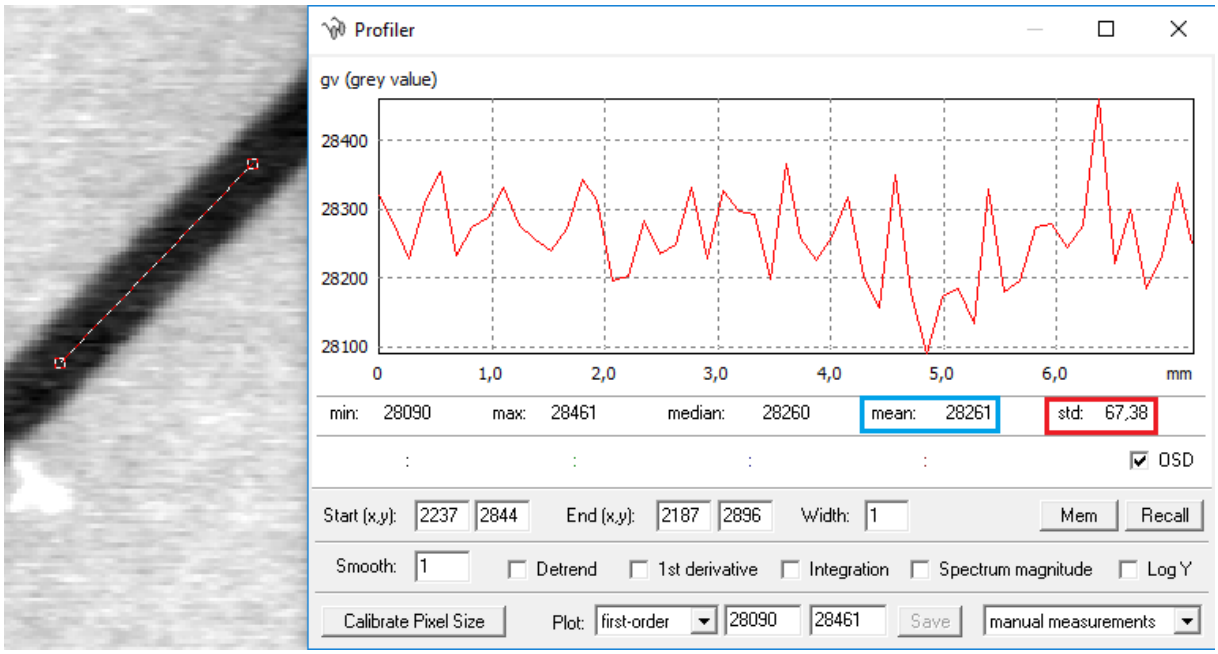


Slika 17. Prozor za statistiku s oznakama i ROI

Crvenim pravokutnikom označena je prostorna rezolucija koju smo izračunali i upisalo u točci 2.3.1. Crnim pravokutnikom označena je standardna devijacija. Normalizirani odnos signal/šum dobiva se u prozoru nakon što unesemo iznos prostorne rezolucije, a označen je sa zelenim pravokutnikom.

Drugi način računanja SNR-a je pomoću Profiler-a tako da se povuče linija alata Profiler preko površine za koju želimo izračunati SNR, te se iz prozora Profiler-a očitaju potrebni podatci (mean vrijednost signala i standardna devijacija) (Slika 18.). Ovaj postupak se koristi u slučaju kada je željena ispitivana površina presitna za propisanu veličinu ROI-a od 20 x 55 pixela. Taj postupak smo iskoristili za izračun SNR-a samog utora (Slika 18.).

Na Slika 18. plavom bojom je označen iznos mean vrijednosti signala (μ) dok je crvenom bojom označena standardna devijacija signala (σ). Njihovim odnosom dobiva se iznos SNR-a.



Slika 18. Prozor alata Profiler

Formula za izračunavanje SNR-a:

$$SNR = \frac{\mu}{\sigma} = \frac{28261}{67{,}38} = 419{,}43$$

Nakon što je izračunat SNR moguće je izračunati normalizirani SNR na sljedeći način:

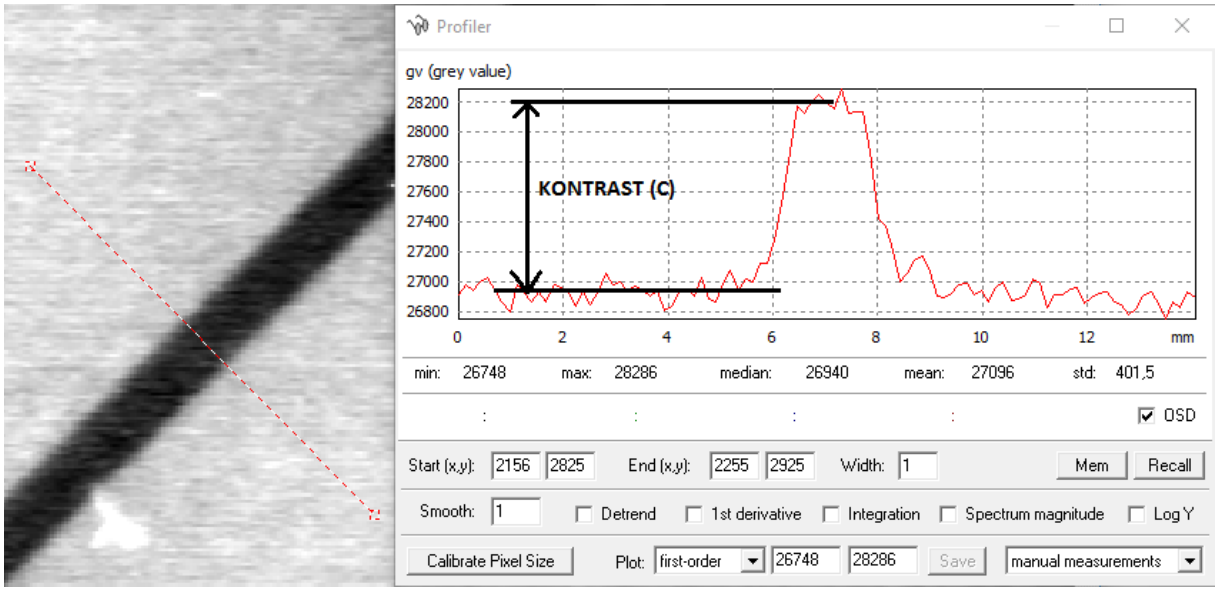
$$SNR_N = SNR_{measured} \frac{88{,}6\ \mu m}{SR_b} = 419{,}43 \frac{88{,}6\ \mu m}{0{,}063\ mm} = 589{,}87$$

2.3.3. Odnos kontrast-šum

Odnos kontrast/šum računat je prema dobivenim podacima dobivenim uzorkovanjem. On se računa prema izrazu:

$$ODNOS\ KONTRAST\ ŠUM\ (CNR) = \frac{KONTRAST\ (C)}{stdev\ (\sigma)}$$

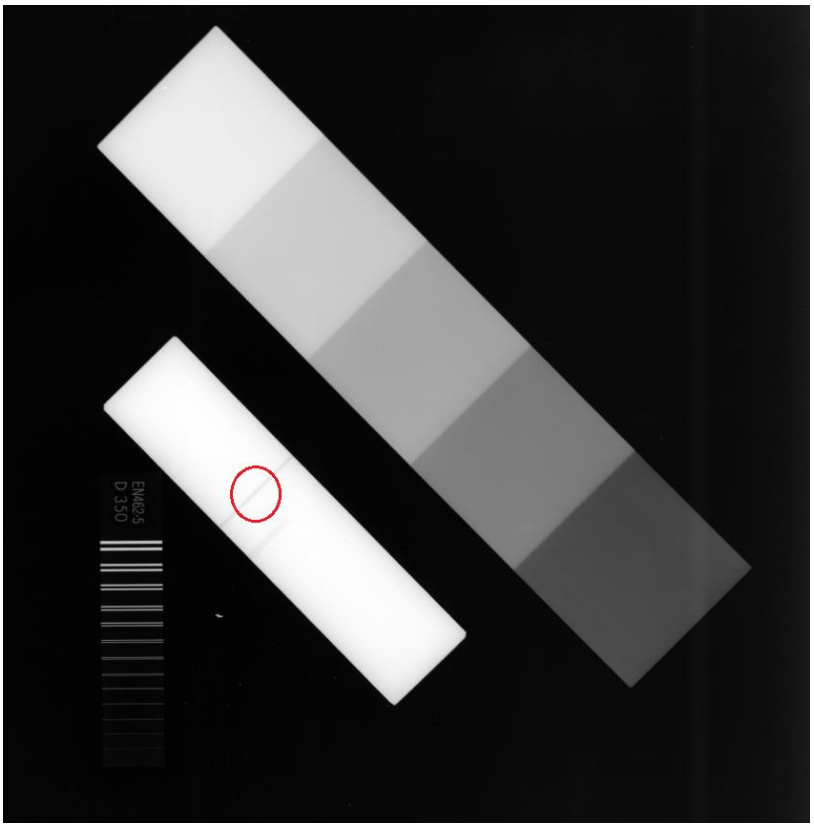
Izraz kontrast (Slika 19.) se računa iz razlike srednje vrijednosti signala na pozadini i srednje vrijednosti signala na objektu.



Slika 19. Slikovni prikaz izraza kontrast

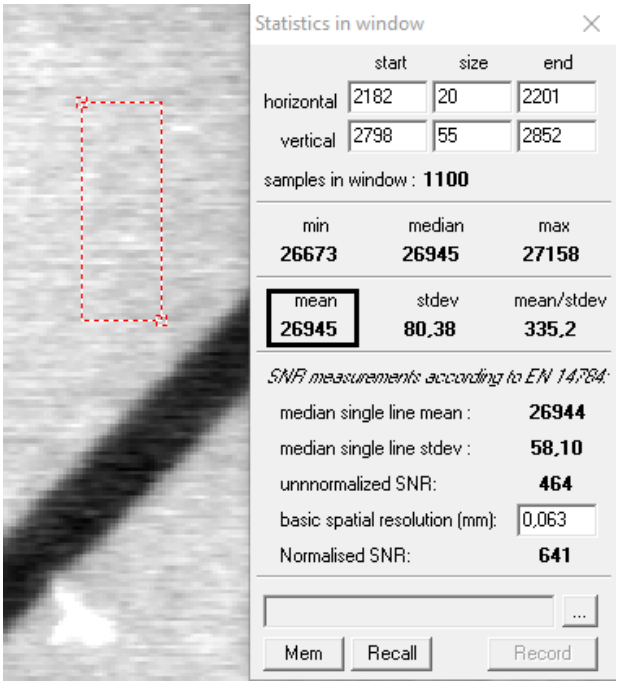
Odnos kontrast-šum izračunati ćemo po prethodnoj formuli. Bit će provedena tri mjerenja. Okvirno područje mjerenja CNR-a prikazano je na (Slika 20.). Kontrast će biti izračunat tako da provedemo tri mjerenja na objektu (utor) s ciljem dobivanja tri seta mean vrijednosti te računanjem njihove aritmetičke sredine. Isti postupak će biti proveden i za pozadinu (površina pored utora).

Nakon određivanja aritmetičkih sredina mean vrijednosti signala objekta (indikacija utora) i pozadine, njihovim oduzimanjem se izračunava kontrast. Dijeljenjem kontrasta i prosječne standardne devijacije između objekta i pozadine dobivamo odnos kontrast-šum (CNR).

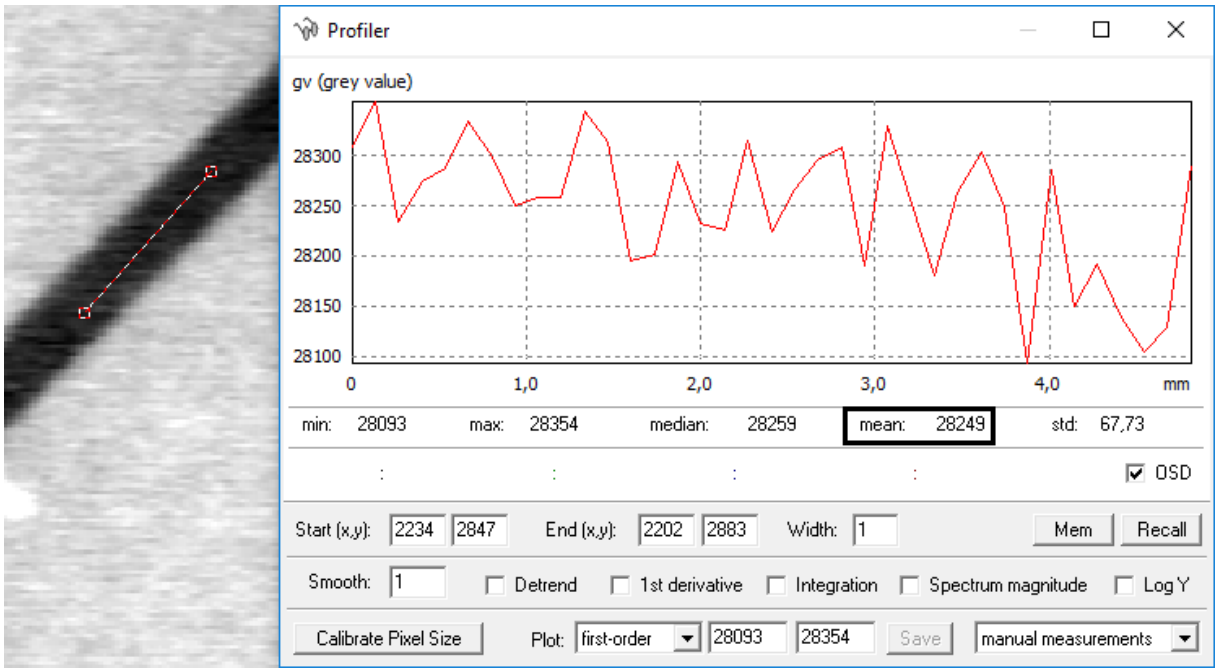


Slika 20. Područje mjerenja za izračun CNR-a

Slijedeće slike (Slika 21. i Slika 22.) prikazuju mjerenja mean vrijednosti signala pozadine (pored utora) i mean vrijednosti signala objekta (utora).



Slika 21. Prozor za statistiku za izmjeru mean vrijednosti signala pozadine (pored utora)



Slika 22. Prozor alata Profiler za izmjeru mean vrijednosti signala objekta (utora)

U (Tablica 2.) prikazane su izmjerene mean vrijednosti signala objekta i pozadine.

	Pozadina	Objekt
1. mjerenje	26945	28249
2. mjerenje	26952	28241
3. mjerenje	26949	28242

Tablica 2. Mean vrijednosti signala objekta i pozadine

Izračun aritmetičkih sredina mean vrijednosti signala objekta i pozadine:

$$MEAN\ POZADINE = \mu_{pozadine} = \frac{26945 + 26952 + 26949}{3} = 26948{,}67$$

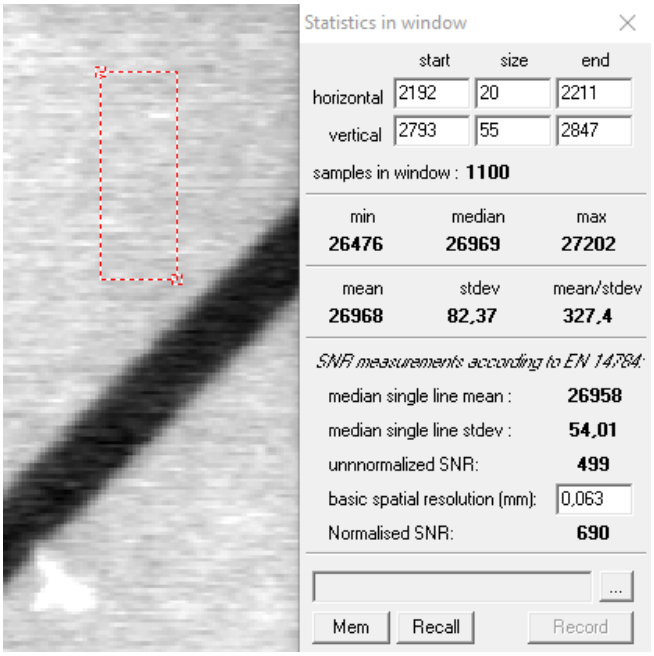
$$MEAN\ OBJEKTA = \mu_{objekta} = \frac{28241 + 28249 + 28242}{3} = 28244{,}00$$

Sad kada su izračunate aritmetičke sredine objekta i pozadine, izračunava se kontrast:

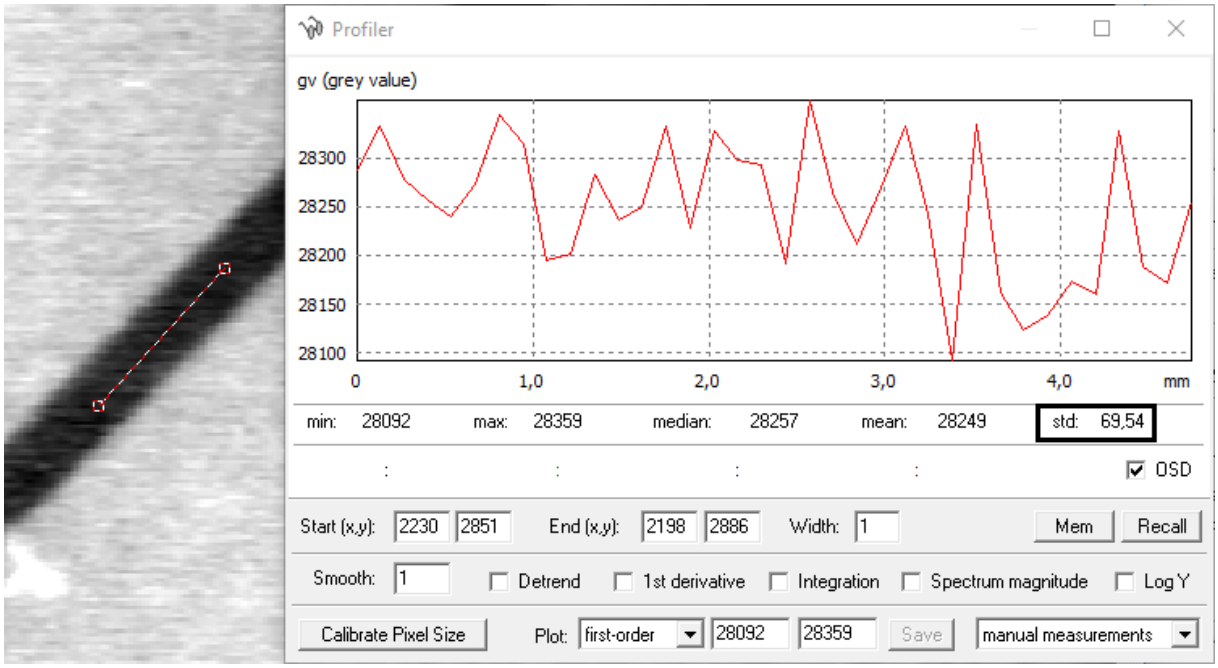
$$KONTRAST\ (C) = \mu_{objekta} - \mu_{pozadine} = 1295{,}33$$

Mjerenje standardne devijacije pozadine provodi se pomoću prozora za statistiku (Slika 23.) tako da se površina odabere na granici objekta. Mjerenje ćemo također provesti tri puta te izračunati aritmetičku sredinu. Nakon toga provodi se mjerenje standardne devijacije samog

objekta (Slika 24.) na isti način ali pomoću alata Profiler (ne možemo smjestiti propisanu veličinu ROI). Kada se odrede obje standardne devijacije, računa se njihova aritmetička sredina.



Slika 23. Prozor za statistiku za izmjeru iznosa standardne devijacije signala pozadine



Slika 24. Prozor alata Profiler za izmjeru iznosa standardne devijacije i signala objekta (utora)

Tablica 3. prikazuje vrijednosti standardne devijacije pozadine i objekta u tri mjerenja.

	$\sigma_{pozadine}$	$\sigma_{objekta}$
1. mjerenje	82,37	69,54
2. mjerenje	81,56	71,15
3. mjerenje	82,22	70,43

Tablica 3. Vrijednosti standardnih devijacija pozadine i objekta

Izračun aritmetičke sredine standardnih devijacija pozadine:

$$\sigma_{pozadine} = \frac{82{,}37 + 81{,}56 + 82{,}22}{3} = 82{,}05$$

Izračun aritmetičke sredine standardnih devijacija objekta:

$$\sigma_{objekta} = \frac{69{,}54 + 71{,}15 + 70{,}43}{3} = 70{,}37$$

Izračun aritmetičke sredine između standardnih devijacija pozadine i objekta:

$$\sigma = \frac{\sigma_{pozadine} + \sigma_{objekta}}{2} = \frac{82{,}05 + 70{,}37}{2} = 76{,}21$$

Sad kada su izračunate sve potrebne vrijednosti za dobivanje CNR, on glasi:

$$ODNOS\ KONTRAST - \check{S}UM(CNR) = \frac{C}{\sigma} = \frac{1295{,}33}{76{,}21} = 16{,}99$$

Dobivanjem iznosa CNR moguće je izračunati iznos normaliziranog odnosa kontrast-šum (CNR_N) :

$$CNR_N = CNR \times \frac{88{,}6\ \mu m}{SR_b} = 16{,}99 \times \frac{88{,}6\ \mu m}{0{,}063\ mm} = 23{,}90$$

3. PRAKTIČNI DIO RADA

3.1. Parametri i način mjerenja

Izrađen je uzorak (Slika 25.) s umjetnim nepravilnostima (utorima). Nakon toga je sniman RTG uređajem ali s variranjem parametara. Parametri koji su se varirali su:

- Parametri skeniranja (pixel size- dva snimanja: 50 μm i 100 μm)
- I „rezolucije“ slikovnih ploča (debljina fotoosjetljivog fosfornog sloja): GP i „Blue“ (veća rezolucija naspram GP)

Variranjem parametara snimanja dobivena su 4 slikovna zapisa i za svaki će biti:

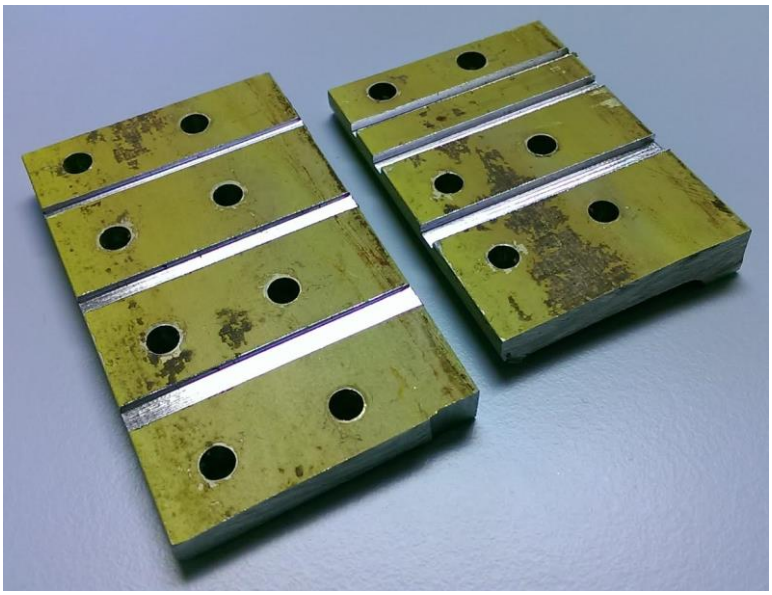
1) određeni svi parametri kvalitete slike (SR, SNR, CNR)

2) usporedno prikazati rezultate ovisno o 4 varijacije iz čega će biti razvidno kako vrijednosti varijacija utječu na vrijednosti parametara kvalitete slike

3) izmjerit će se širina utora pomoću iSee! kompjuterskog programa (izrađeni su utori tri različite širine i dvije različite dubine)

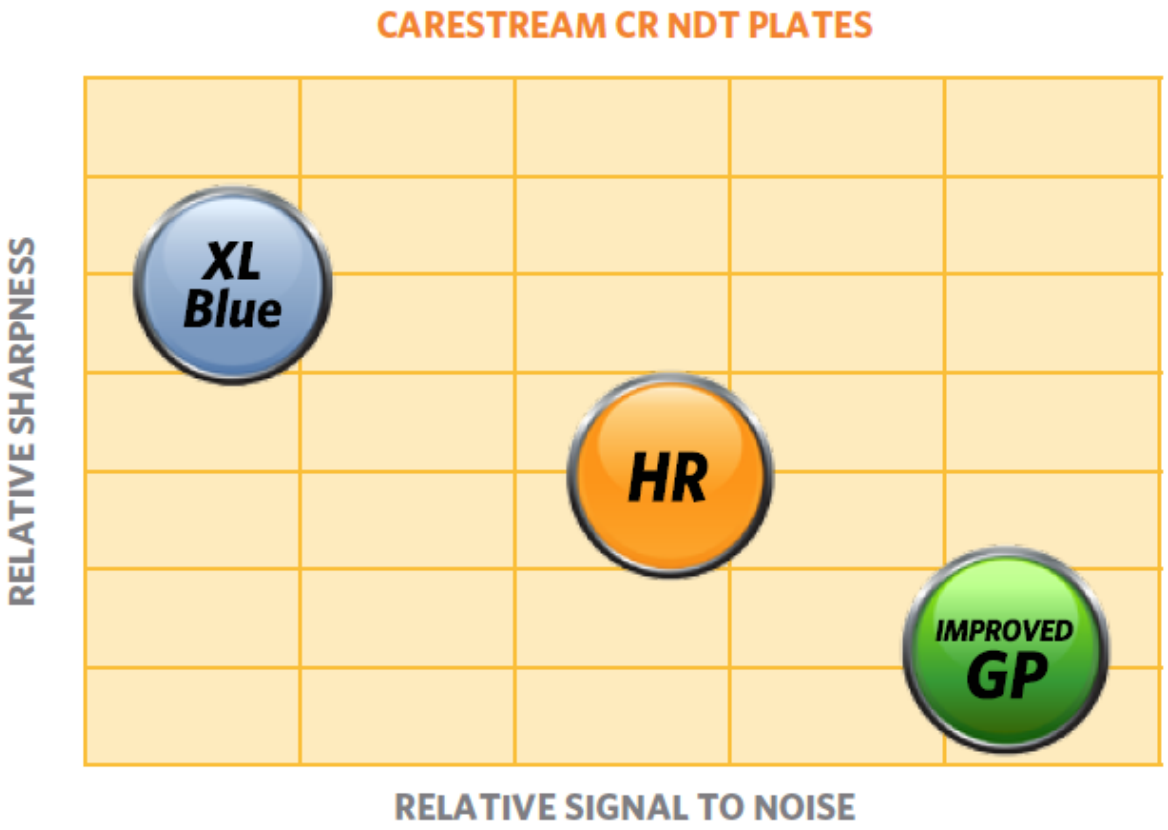
-širine utora su 4, 3 i 2 mm dok su dubine utora 2 mm (zone 1-3) i 1 mm (4-6)

U nastavku rada više se neće prikazivati postupak izračuna parametara kvalitete slike već će biti prikazivani gotovi rezultati. Sve će biti mjereno i računato na način prikazan u poglavlju 2.3.1. nadalje.



Slika 25. Uzorci s umjetnim nepravilnostima (utorima)

Slijedeća slika (Slika 26.) prikazuje kako različite slikovne ploče (GP i Blue) utječu na oštrinu i odnos signal- šum (SNR) slikovnog zapisa.



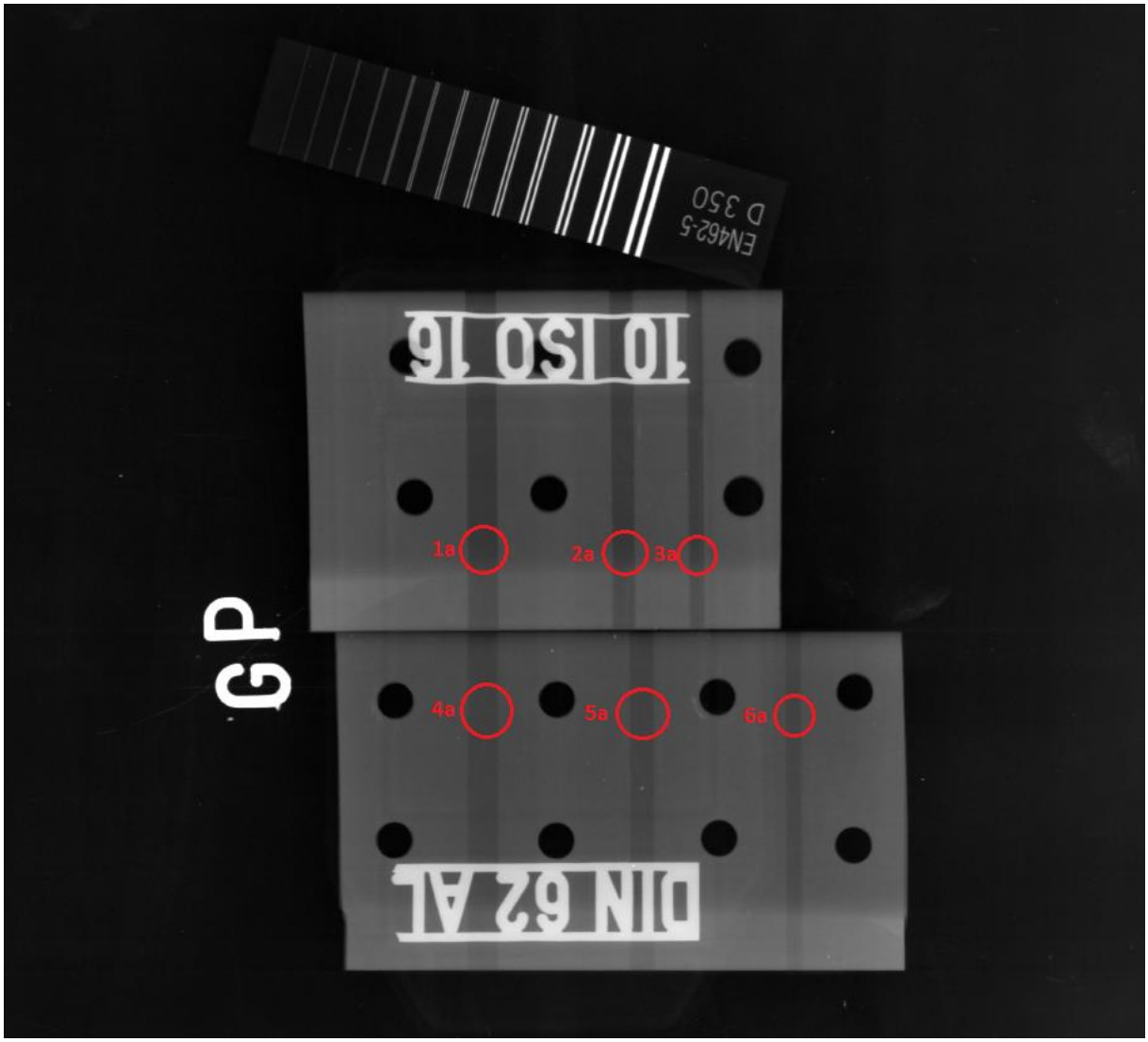
Slika 26. Odnos oštrine i SNR-a slikovnog zapisa s obzirom na korištenu slikovnu ploču [10]

Iz Slike 26. se vidi da slikovne ploče s najvećom rezolucijom (XL Blue) imaju veću oštrinu slikovnog zapisa dok im je SNR manji. Suprotno tome su slikovne ploče s manjom rezolucijom (GP). Kod njih je oštrina slikovnog zapisa niska dok je iznos SNR-a visok.

Kasnije će u radu biti provjereno dali su te pretpostavke istinite.

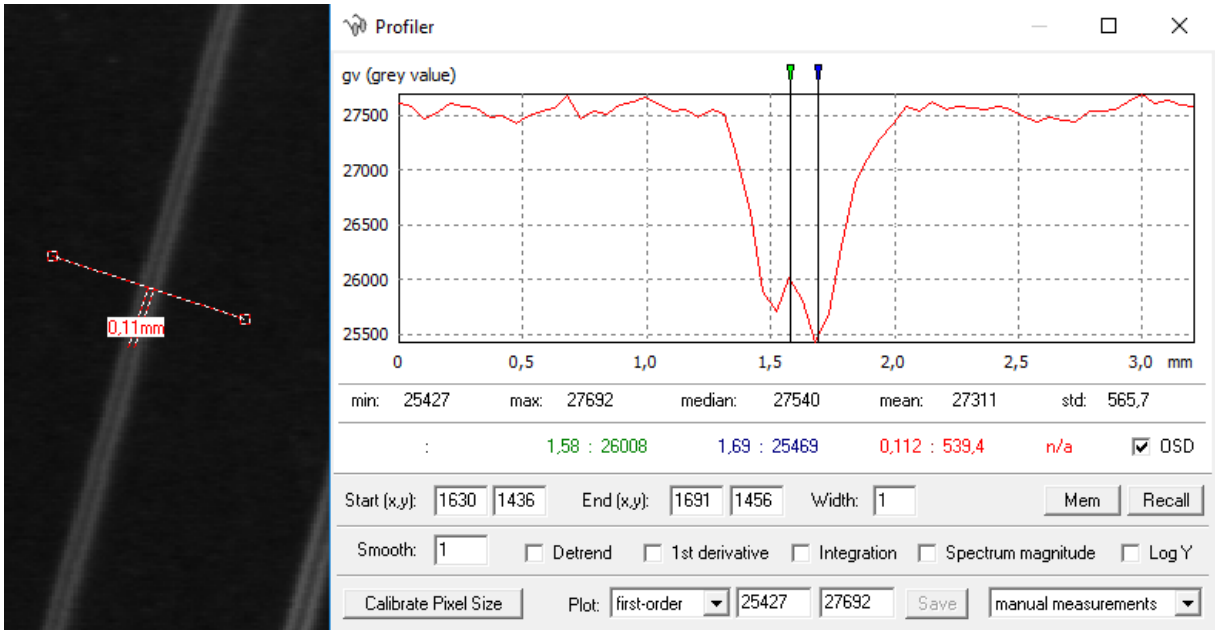
3.2. Izračun SR-a, SNR-a i CNR-a

Prvi slikovni zapis koji će biti obrađen je Blue_50um_5.25V_15V_3mA_110kV.tif (Blue 50um) (Slika 27.). Na istoj će biti prikazana okvirna područja zone mjerenja (ROI). Za ovu sliku će se zone mjerenja označavati brojevima od 1 do 6 uz indeks a) kako ne bi došlo do komplikacija u čitanju rezultata mjerenja daljnjih slikovnih zapisa. Zone mjerenja od 1 do 3 se odnose na uzorak na kojemu su utori dublji. Isti će se način označavanja koristiti i za ostale slikovne zapise (zone mjerenja od 1 do 3 će označavati dublje utore). Mjerenja će biti napravljena pomoću statističkog alata dimenzija 20 x 55 (ROI) kako norma propisuje (ISO 17636-2_2013 Annex D) [5].



Slika 27. Slikovni zapis Blue 50um uz okvirno označene ROI-eve

Najprije se računa osnovna prostorna rezolucija (SR) prema postupku opisanom u poglavlju 2.3.1. Sljedeća slika (Slika 28.) prikazuje zadnji par žičica (10D) koji zadovoljavaju uvjet od 20%.



Slika 28. Par žičica 10D prikazane pomoću alata Profiler

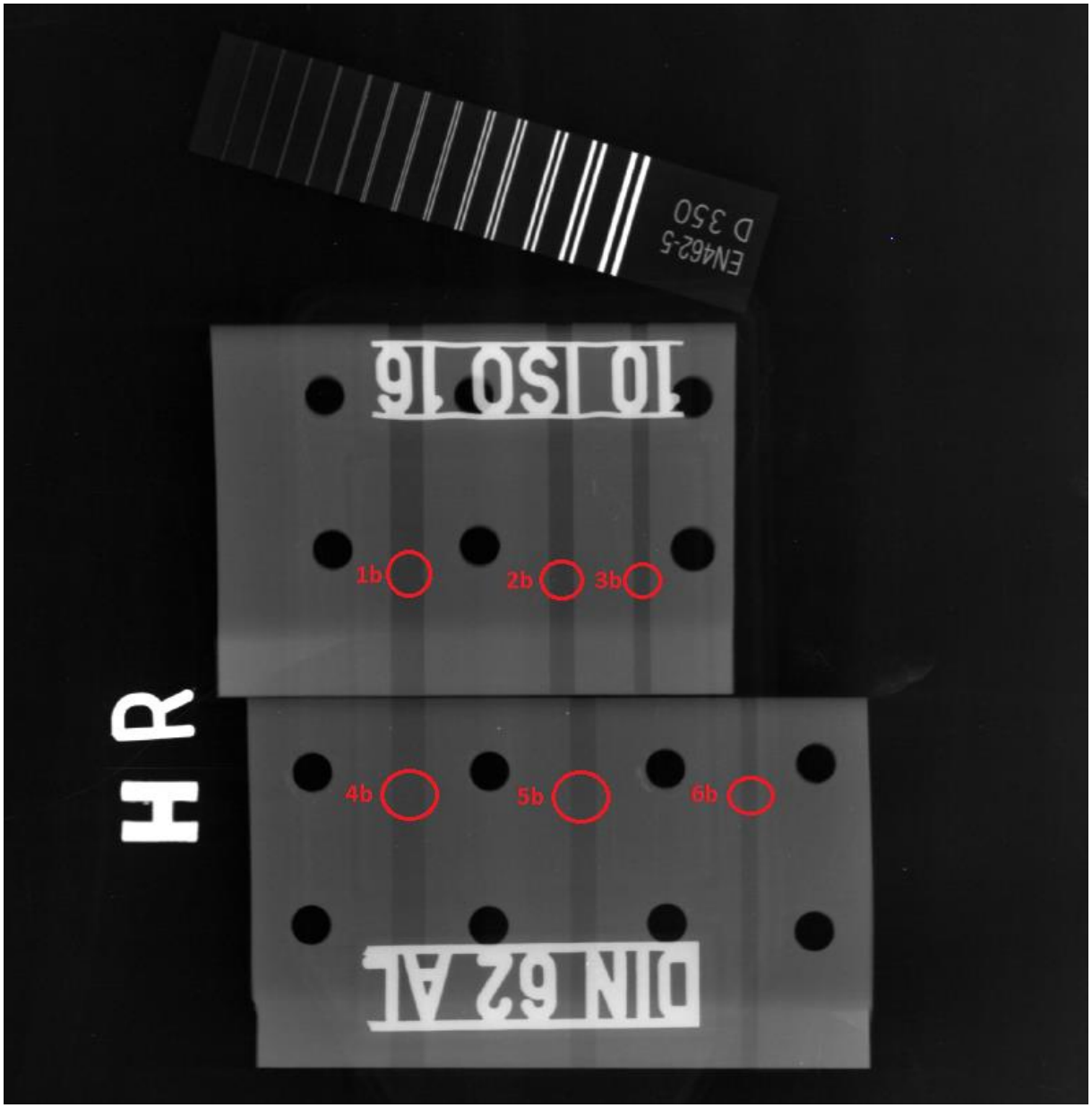
Nakon što se odredi zadnji par žičica koji zadovoljavaju uvjet, iz tablice 1. se uzima iznos osnovne prostorne rezolucije. Ona iznosi 0,100 mm te se upisuje u program iSee!

Pomoću osnovne prostorne rezolucije moguće je dalje određivati SNR i CNR. U sljedećoj tablici (Tablica 4.) bit će ispisani iznosi za SNR i CNR za svaku zonu mjerenja označenu na Slika 27.

	SNR	SNR_N	CNR	CNR_N
1a	357	307	10,98	9,73
2a	376	333	10,93	9,68
3a	368	325	9,99	8,85
4a	359	287	5,63	4,99
5a	348	286	5,94	5,26
6a	346	297	5,19	4,59

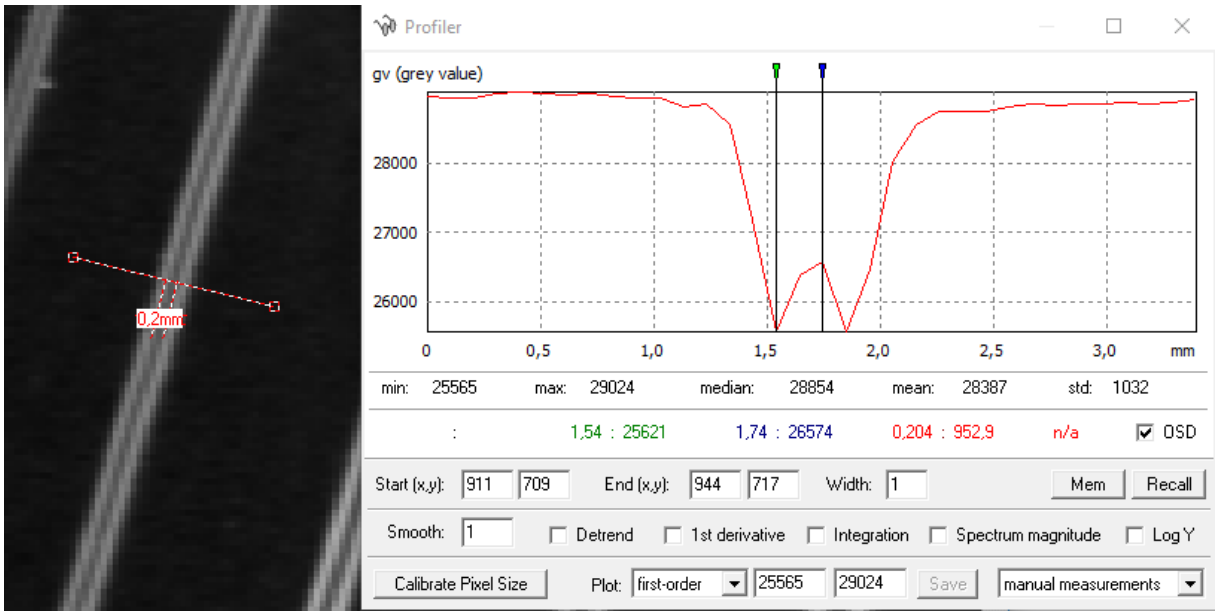
Tablica 4. Iznosi SNR-a i CNR-a za Blue 50um

Drugi slikovni zapis koji će biti obrađen je Blue_100um_5.25V_15V_700_3mA_110kV.tif (Blue 100 um) (Slika 29.). Isti postupak će se provesti kao i za prvi slikovni zapis samo što će se okvirne zone mjerenja označavati brojevima od 1 do 6 uz indeks b).



Slika 29. Slikovni zapis Blue 100um uz okvirno označene ROI-eve

Kao i kod prvog slikovnog zapisa najprije se određuje osnovna prostorna rezolucija. Slika 30. prikazuje zadnji par žičica a to je 8D par. Ponovno se iz tablice 1. očitava iznos osnovne prostorne rezolucije te ona iznosi 0,160 mm.



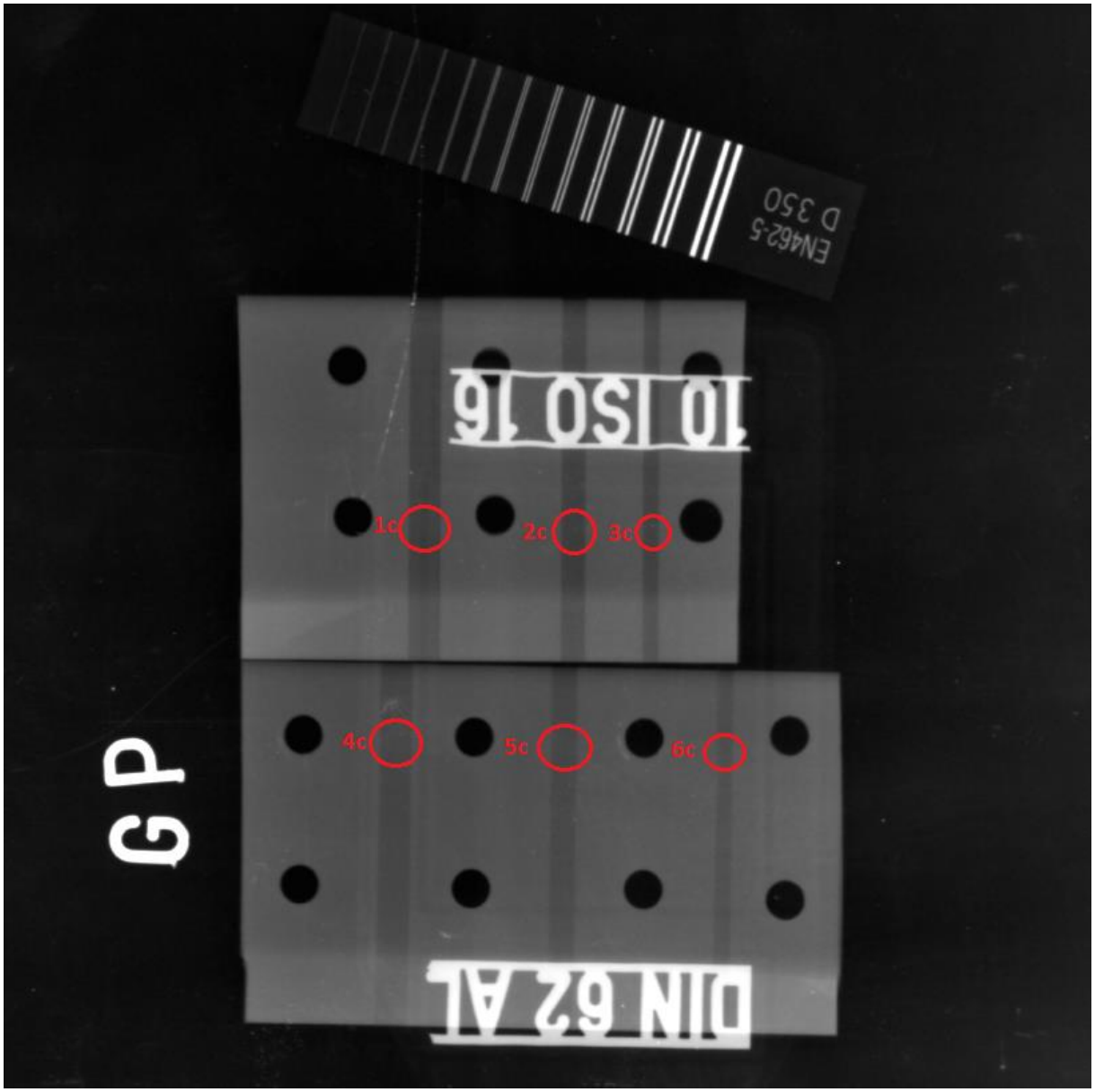
Slika 30. Par žičica 8D prikazan pomoću alata Profiler

Sljedeća tablica (Tablica 5.) prikazuje iznose SNR-a i CNR-a za drugi slikovni prikaz.

	SNR	SNR_N	CNR	CNR_N
1b	446	243	12,11	6,71
2b	466	238	12,38	6,86
3b	455	207	10,4	5,76
4b	449	259	6,92	3,83
5b	451	246	7,42	4,11
6b	444	225	7,57	4,19

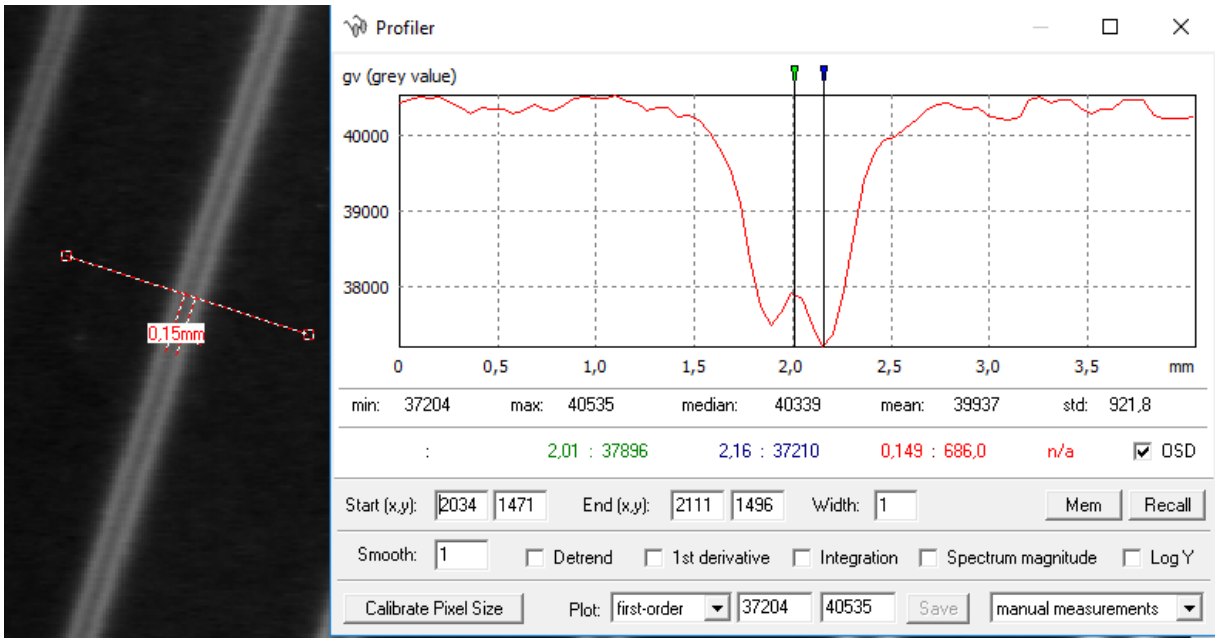
Tablica 5. Iznosi SNR-a i CNR-a za Blue 100um

Treći slikovni zapis koji će biti obrađen je GP_50um_5.25V_15V_700_3mA_110kV.tif (GP 50um) (Slika 31.). Isti postupak će se provesti kao i za prijašnje slikovne zapise. Okvirne zone mjerenja označavati će se brojevima od 1 do 6 uz indeks c).



Slika 31. Slikovni zapis GP 50um uz okvirno označene ROI-eve

Kao i kod prijašnjih slikovnih zapisa najprije se određuje iznos osnovne prostorne rezolucije. Zadnji par zičica (Slika 32.) koji zadovoljavaju uvjet su par 8D. Ponovno iz tablice 1 uzimamo iznos osnovne prostorne rezolucije te ona iznosi 0,160 mm.



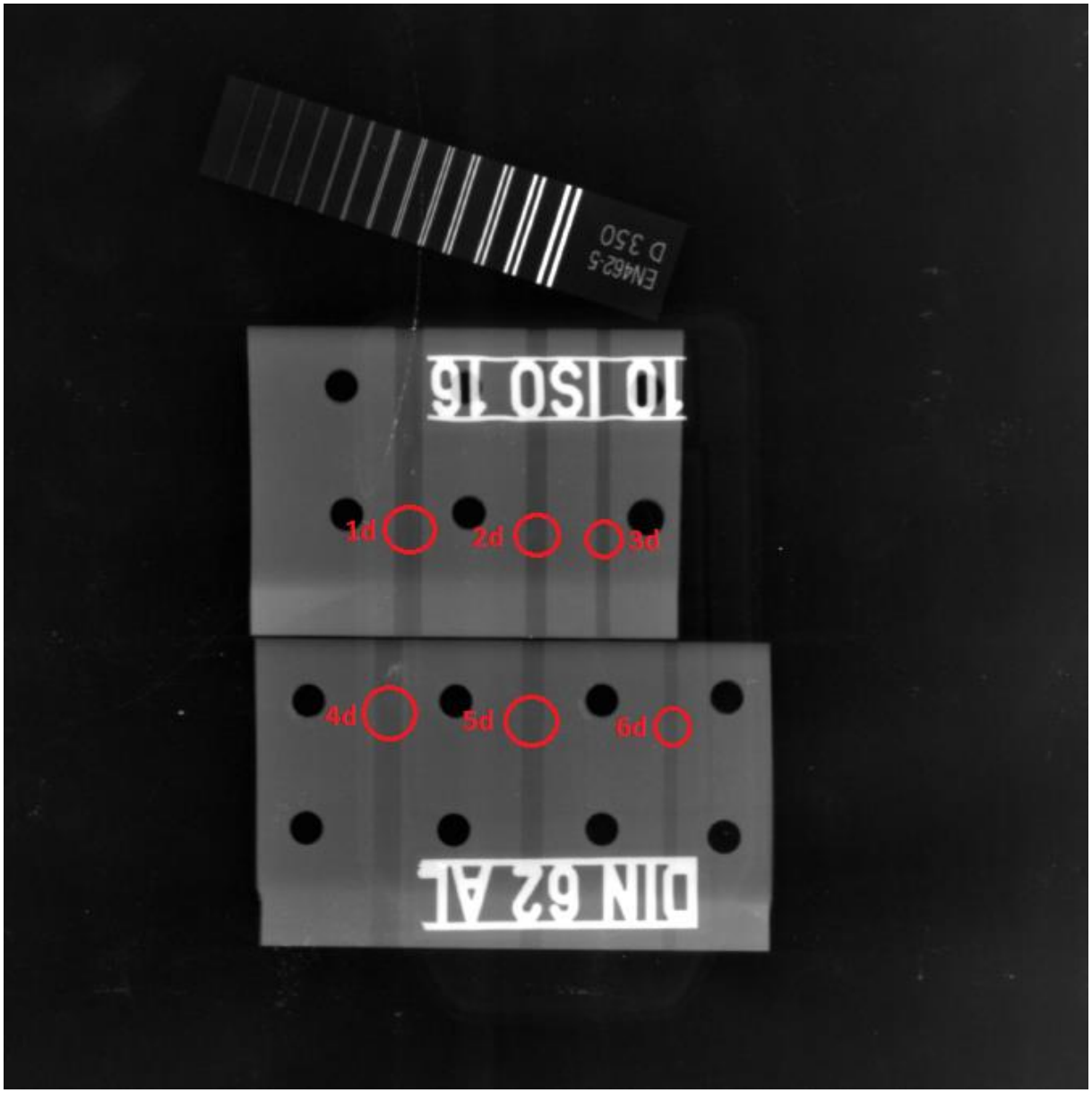
Slika 32. Par žičica 8D prikazan pomoću alata Profiler

Sljedeća tablica (Tablica 6.) prikazuje iznose SNR-a i CNR-a za GP 50um:

	SNR	SNR_N	CNR	CNR_N
1c	484	264	10,81	5,99
2c	534	291	10,62	5,88
3c	538	293	11,69	6,47
4c	557	303	7,39	4,09
5c	518	282	6,27	3,47
6c	572	312	5,94	3,29

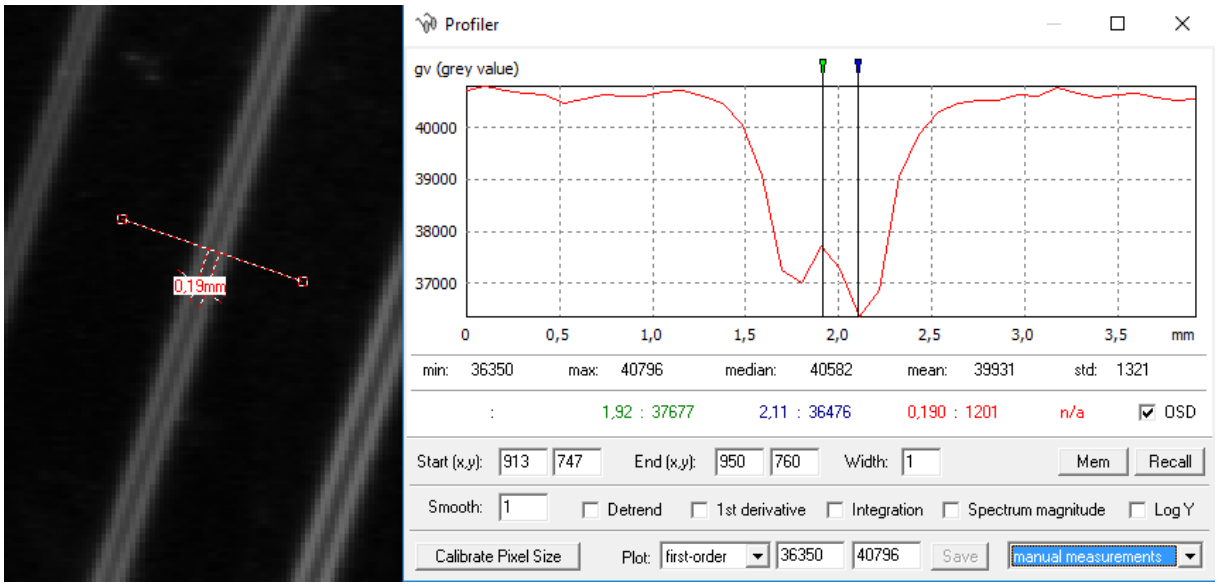
Tablica 6. Iznosi SNR-a i CNR-a za GP 50um

Četvrti slikovni zapis koji će biti obrađen je GP_100um_5.25V_15V_700_3mA_110kV.tif (GP 100um) (Slika 33.). Isti postupak će se provesti kao i za prijašnje slikovne zapise. Okvirne zone mjerenja označavati će se brojevima od 1 do 6 uz indeks d).



Slika 33. Slikovni zapis GP 100um uz okvirno označene ROI-eve

Kao i kod prijašnjih slikovnih zapisa najprije se određuje iznos osnovne prostorne rezolucije. Zadnji par zičica (Slika 34.) koji zadovoljavaju uvjet su par 7D. Ponovno iz tablice 1 uzimamo iznos osnovne prostorne rezolucije te ona iznosi 0,200 mm.



Slika 34. Par žičica 7D prikazan pomoću alata Profiler

Sljedeća tablica (Tablica 7.) prikazuje iznose SNR-a i CNR-a za GP 100um:

	SNR	SNR_N	CNR	CNR_N
1d	408	171	10,93	4,84
2d	610	263	11,82	5,24
3d	553	256	12,19	5,40
4d	613	282	6,19	2,74
5d	583	245	6,22	2,76
6d	621	269	6,21	2,75

Tablica 7. Iznosi SNR-a i CNR-a za GP 100um

Iz dobivenih tablica tj. rezultata vidljivo je da na iznos osnovne prostorne rezolucije slikovnog zapisa utječe „rezolucija“ slikovnih ploča. Blue ploče imaju veću rezoluciju, naspram GP ploča, te je kod njih manji iznos osnovne prostorne rezolucije. To se može vidjeti po zadnjem paru žičica na duplex indikatoru koje zadovoljavaju traženi odnos od 20% (poglavlje 2.3.1.). U slučaju Blue slikovnih ploča zadnji parovi (10D i 8D) su bili veći naspram GP ploča (8D i 7D).

Nadalje „pixel size“ također utječe na osnovnu prostornu rezoluciju na način da ako je pixel size manji, iznos osnovne prostorne rezolucije je manji. Zato je zadnji vidljivi par žičica kod Blue slikovne ploče uz pixel size od 50 µm bio 10D dok je uz pixel size od 100 µm bio 8D.

Slijedeća tablica (Tablica 8.) prikazuje iznose osnovne prostorne rezolucije (SRb) s obzirom na korištene slikovne ploče i mijenjanje pixel size-a:

	SRb
BLUE 50 um	0,100 mm
BLUE 100 um	0,160 mm
GP 50 um	0,160 mm
GP 100 um	0,200 mm

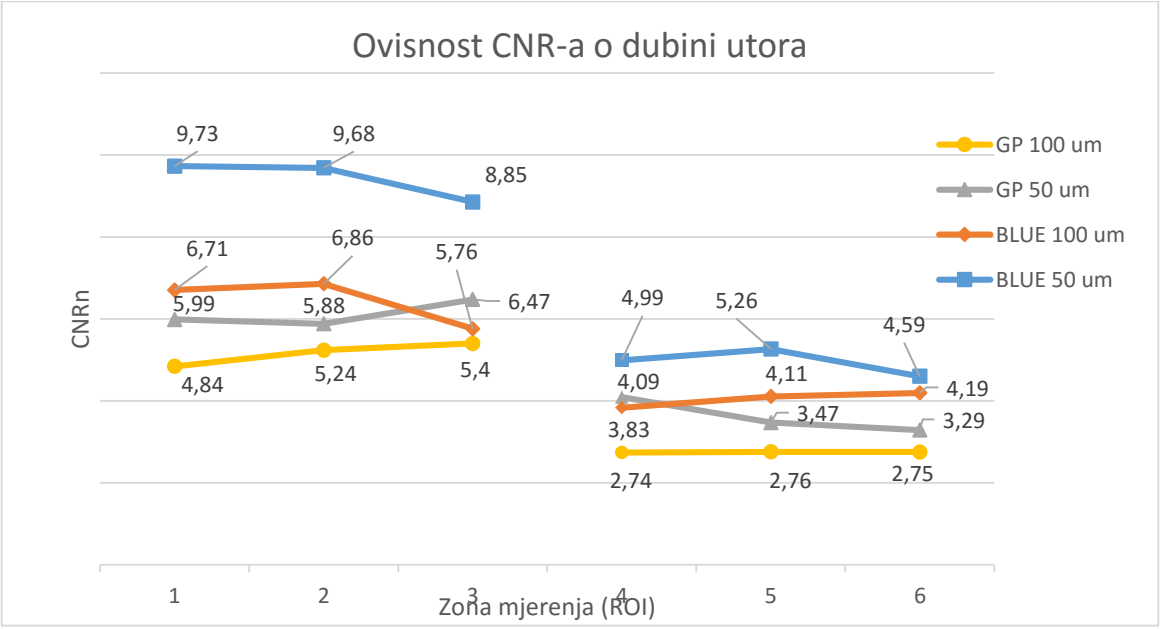
Tablica 8. Iznosi SRb-a s obzirom na korištene slikovne ploče

SNR_N je obrnuto proporcionalan osnovnoj prostornoj rezoluciji što se vidi po većim iznosima SNR_N-a kod slikovnih zapisa koji su imali manju osnovnu prostornu rezoluciju. Takav rezultat je bio očekivan po formuli za SNR_N iz poglavlja 2.3. (formula za SNR_N – stranica 15).

CNR_N također ima isti odnos s osnovnom prostornom rezolucijom kao i SNR_N.

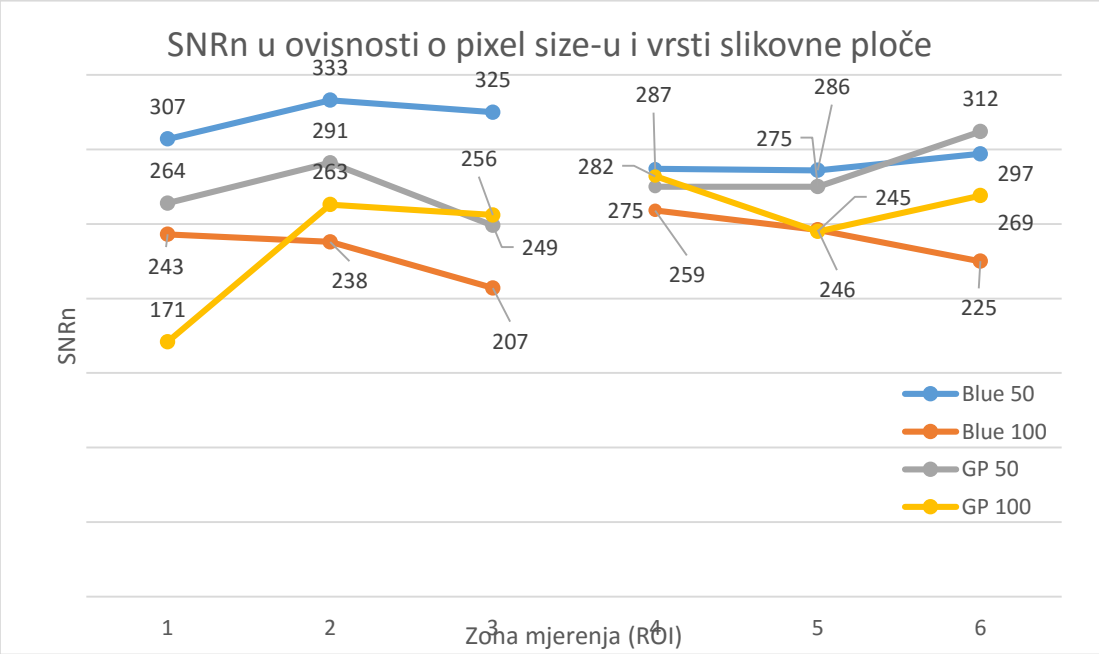
Iznos SNR-a se mijenjao s obzirom na korišteni tip slikovne ploče. Kod Blue slikovnih ploča iznos SNR-a je manji naspram GP slikovnih ploča. Takva je bila pretpostavka u poglavlju 3.1. (Slika 26.). Što se tiče iznosa SNR-a i dubine utora, vidljivo je da nema značajnog utjecaja.

Prema dobivenim rezultatima zaključujemo da CNR ovisi o dubini utora na način da što je dubina utora veća to je CNR veći. To smo zaključili po tome što je u svim mjerenjima iznos CNR-a bio veći na zonama mjerenja od 1 do 3 naspram od 4 do 6. Zone mjerenja od 1 do 3 imaju veću dubinu utora naspram 4 do 6. Odnos CNR-a s obzirom na dubinu utora prikazan je sljedećim grafom (Slika 35.)

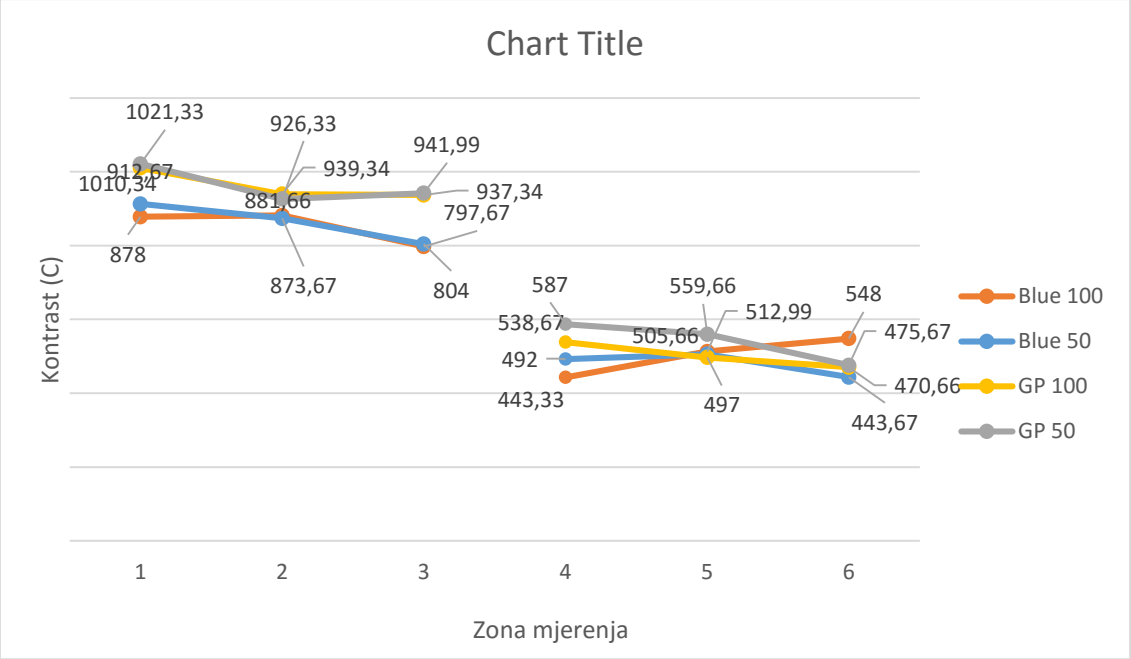


Slika 35. Grafički prikaz ovisnosti CNR-a o dubini utora

Slijedeća slika (Slika 36.) prikazuje ovisnost SNRn-a o mijenjanju veličine pixela i tipa slikovne ploče.



Slika 36. Ovisnost SNRn-a o parametrima snimanja



Slika 37. Kontrast (C) u ovisnosti o pixel size-u i vrsti slikovne ploče

Slijedeća tablica (Tablica 9.) prikazuje ovisnost kontrasta (C) o dubini utora, korištenom tipu slikovne ploče i pixel size-u:

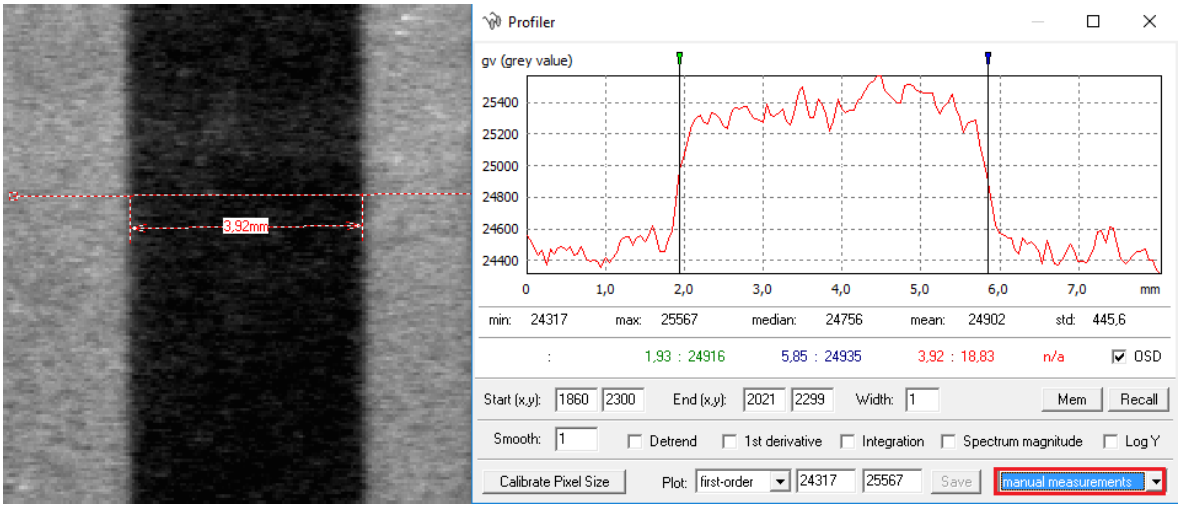
	Dubina utora	Pixel size						
		50 um			100 um			
		zone 1 i 4	zone 2 i 5	zone 3 i 6	zone 1 i 4	zone 2 i 5	zone 3 i 6	
BLUE	2 mm	912,67	873,67	804,00	878,00	881,66	797,67	C
	1 mm	492,00	505,66	443,67	443,33	512,99	548,00	
GP	2 mm	1021,33	926,33	941,99	1010,34	939,34	937,34	
	1 mm	583,00	559,66	475,67	538,67	497,00	470,66	

Tablica 9. Ovisnost kontrasta

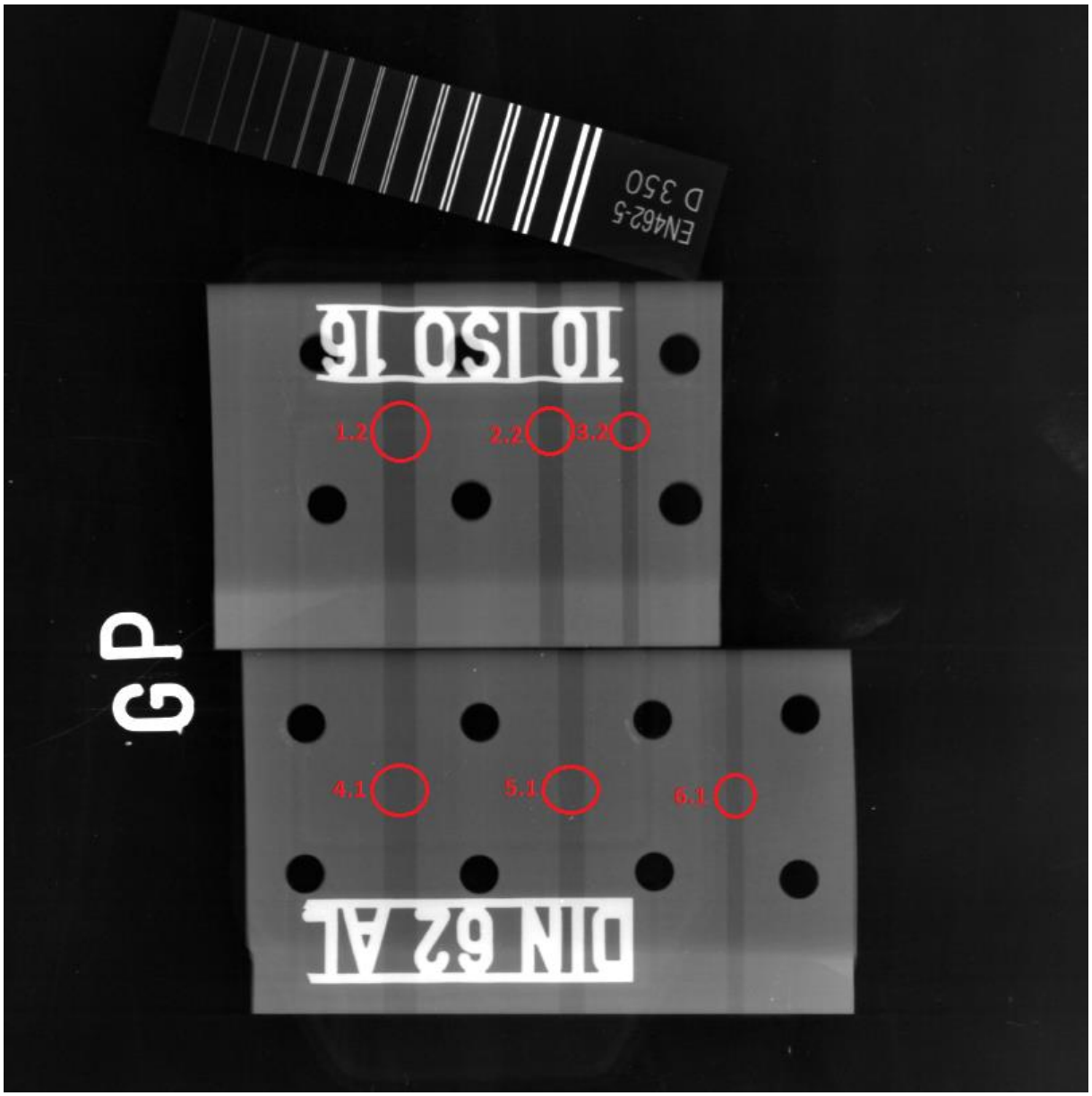
Iz Tablice 9. se vidi da dolazi do pada iznosa kontrasta kod utora manjih dubina. Upravo taj pad kontrasta utječe na pad iznosa CNR-a kod utora manjih dubina s obzirom na utore većih dubina. Slika 37. (na prijašnjoj stranici) prikazuje ovisnost kontrasta o pixel size-u i tipu slikovne ploče.

3.3. Mjerenje širina utora

Širine utora mjerit će se pomoću alata Profiler na način da se povuče linija alata Profiler preko površine koju želimo izmjeriti. Nakon toga u samom prozoru alata Profiler odabire se opcija „manual measurements“ (ručno mjerenje) te se mjerne točke postavljaju na sredini prijelaza intenziteta signala (Slika 38.). Zone mjerenja (ROI) prikazane su na Slika 39. te će biti jednako označene za sve slikovne zapise. Oznake će biti redoslijed od 1 do 6 uz dodatak brojki 1 i 2. Zone mjerenja od 1 do 3 su utori dubine 2 mm te će uz njih biti broj 2 dok su zone mjerenja označene brojevima od 4 do 6 utori dubine 1 mm te će uz njih biti broj 1.



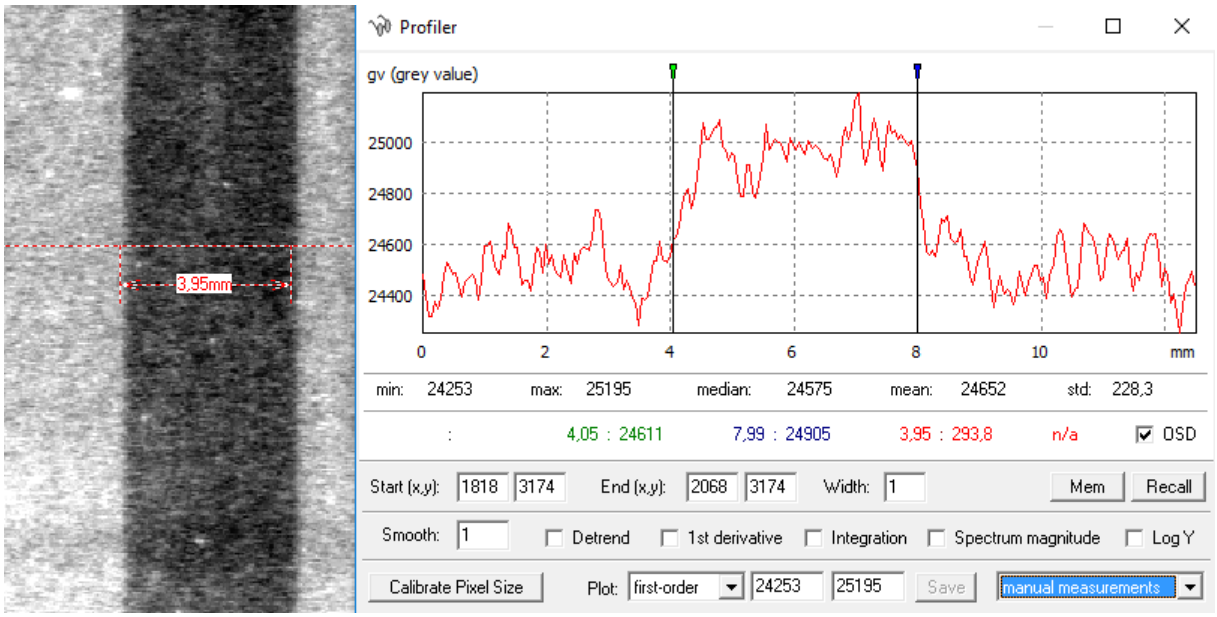
Slika 38. Prikaz mjerenja širine utora



Slika 39. Okvirni prikaz zoni mjerenja pri mjerenju širina utora

Prvi slikovni prikaz kojemu ćemo izmjeriti širine utora je Blue 50um (Slika 39.). Kako bi se vidjele razlike u intenzitetu signala bit će prikazane slike mjerenja pomoću alata Profiler na zonama 1.2 (Slika 40.) i 4.1 (Slika 41.). Širine utora na tim zonama mjerenja bi trebale biti 4 mm. Razlog zašto će biti prikazane te zone je da se vide poteškoće prilikom mjerenja širine utora. Pretpostavka je da će biti teže točno izmjeriti širinu na utoru 4.1 zbog manje dubine utora, a time i manjeg kontrasta. Takav način mjerenja će biti prikazan i za daljnje slikovne zapise.

Slika 40. Mjerenje širine utora pomoću Profiler-a u zoni mjerenja 1.2 za Blue 50um



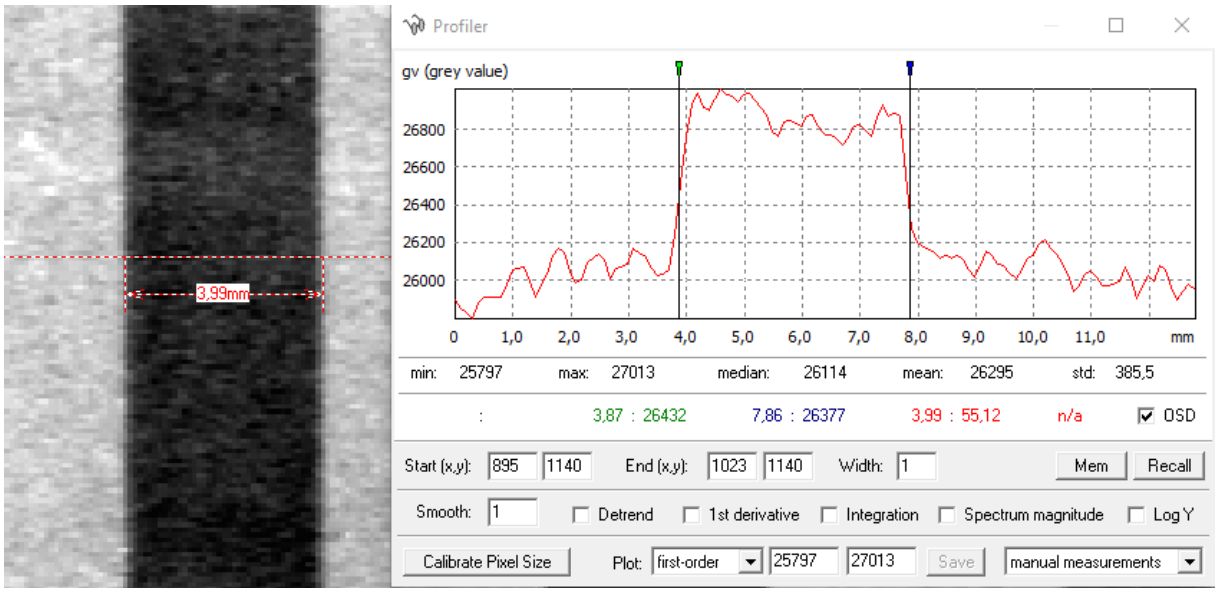
Slika 41. Mjerenje širine utora pomoću Profiler-a u zoni mjerenja 4.1 za Blue 50um

Slijedeća tablica (Tablica 10.) prikazuje širine utora prvog slikovnog zapisa (Blue 50um):

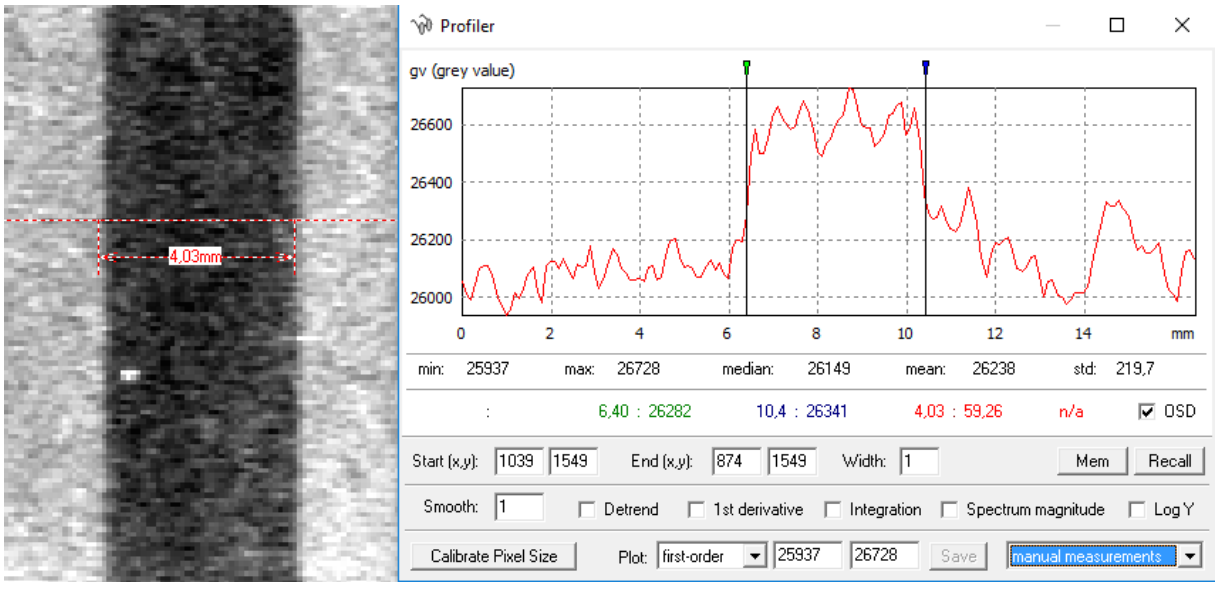
	Širina
1.2.	3,97 mm
2.2.	2,95 mm
3.2.	1,94 mm
4.1.	3,95 mm
5.1.	3,13 mm
6.1.	2,05 mm

Tablica 10. Širine utora slikovnog zapisa Blue 50um

Drugi slikovni zapis na kojemu će se mjeriti širine utora je Blue 100um. Kao i kod prvog zapisa provest će se isti način označavanja zona mjerenja te će iste slike mjerenja (u istim zonama mjerenja) biti prikazane. Slijedeće dvije slike prikazuju mjerenje širine utora u zonama 1.2 i 4.1 (Slika 42. i Slika 43.)



Slika 42. Mjerenje širine utora pomoću Profiler-a u zoni mjerenja 1.2 za Blue 100um



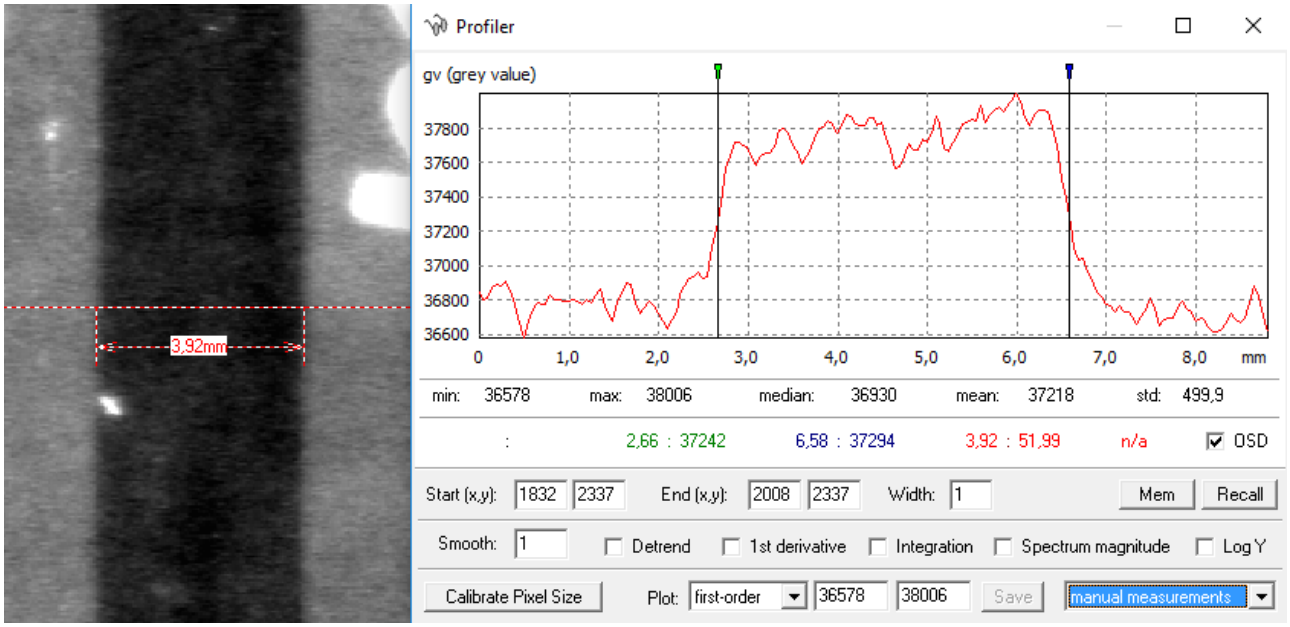
Slika 43. Mjerenje širine utora pomoću Profiler-a u zoni mjerenja 4.1 za Blue 100um

Tablica na slijedećoj stranici (Tablica 11.) prikazuje širine utora drugog slikovnog zapisa (Blue 100 um):

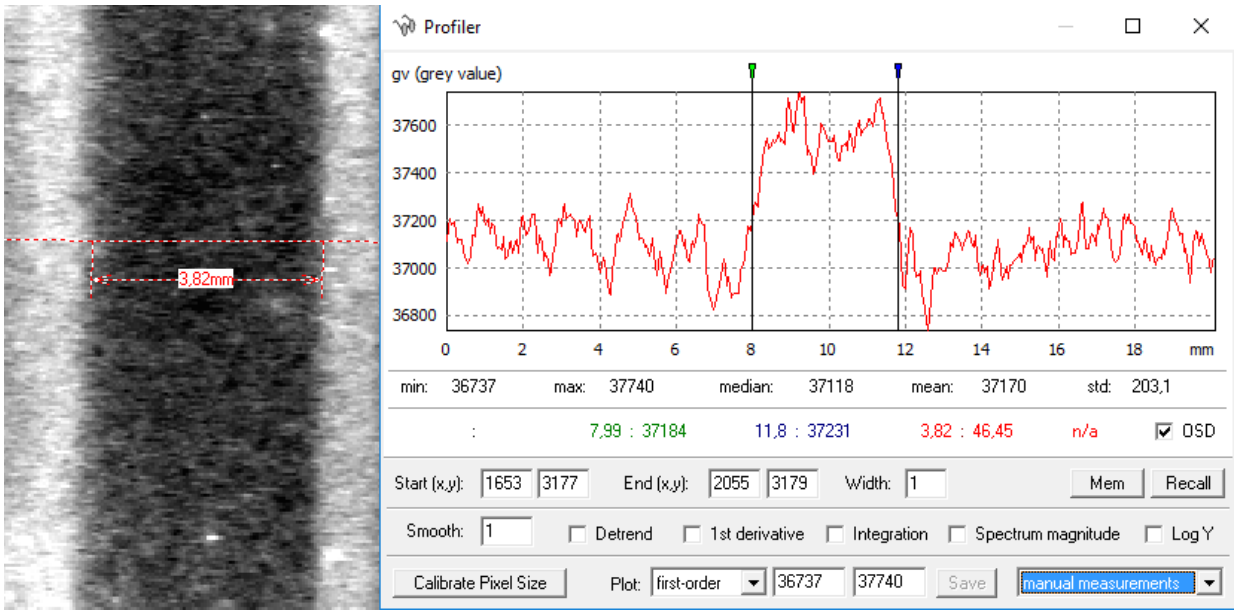
	Širina
1.2.	3,99 mm
2.2.	2,97 mm
3.2.	1,99 mm
4.1.	4,03 mm
5.1.	3,05 mm
6.1.	2,03 mm

Tablica 11. Širine utora slikovnog zapisa Blue 100um

Treći slikovni zapis na kojemu će se mjeriti širine utora je GP 50um. Kao i kod prijašnjih slikovnih zapisa koristiti će se isti način označavanja zoni mjerenja te će iste slike mjerenja biti prikazane. Slijedeće dvije slike prikazuju mjerenje širine utora u zonama 1.2 i 4.1 (Slika 44. i Slika 45.).



Slika 44. Mjerenje širine utora pomoću Profiler-a u zoni mjerenja 1.2 za GP 50um



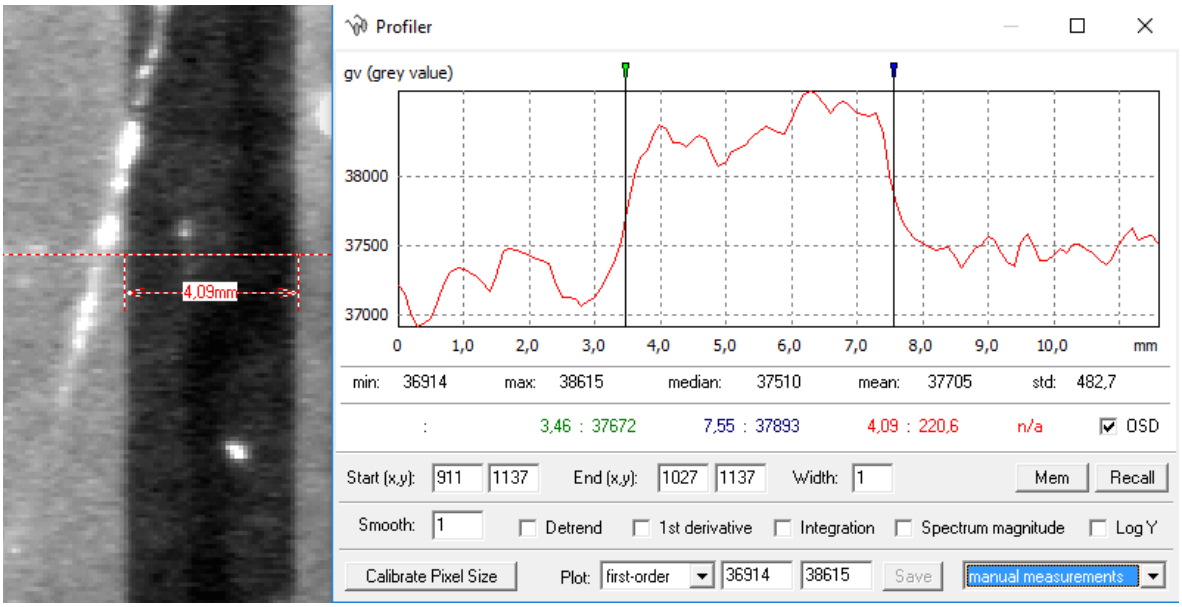
Slika 45. Mjerenje širine utora pomoću Profiler-a u zoni mjerenja 4.1 za GP 50um

Slijedeća tablica (Tablica 12.) prikazuje širine utora trećeg slikovnog zapisa (GP 50um):

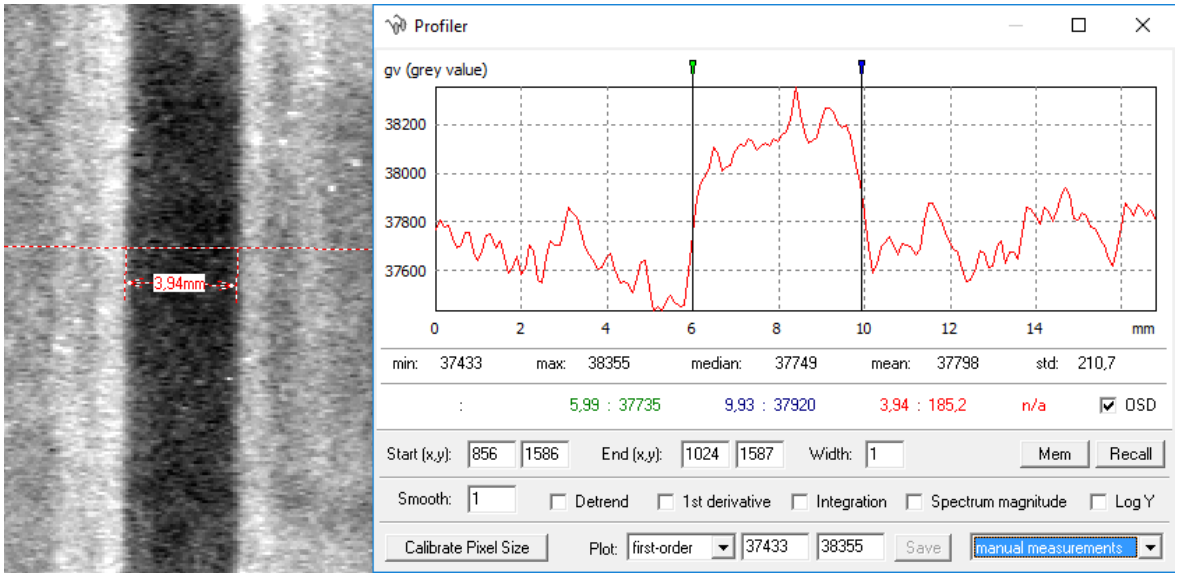
	Širina
1.2.	3,92 mm
2.2.	3,01 mm
3.2.	2,02 mm
4.1.	3,82 mm
5.1.	3,13 mm
6.1.	2,01 mm

Tablica 12. Širine utora slikovnog zapisa GP 50um

Četvrti slikovni zapis na kojemu će se mjeriti širine utora je GP 100um. Kao i kod prijašnjih slikovnih zapisa koristiti će se isti način označavanja zoni mjerenja te će iste slike mjerenja biti prikazane. Slijedeće dvije slike prikazuju mjerenje širine utora u zonama 1.2 i 4.1 (Slika 46. i Slika 47.).



Slika 46. Mjerenje širine utora pomoću Profiler-a u zoni mjerenja 1.2 za GP 100um



Slika 47. Mjerenje širine utora pomoću Profiler-a u zoni mjerenja 4.1 za GP 100um

Slijedeća tablica (Tablica 13.) prikazuje širine utora četvrtog slikovnog zapisa (GP 100um):

	Širina
1.2.	4,09 mm
2.2.	2,97 mm
3.2.	2,01 mm
4.1.	3,94 mm
5.1.	3,17 mm
6.1.	2,05 mm

Tablica 13. Širine utora slikovnog zapisa GP 100um

Slijedeća tablica (Tablica 14.) prikazuje iznose svih širina utora u odnosi s pixel size-om, vrsti slikovne ploče i dubini utora:

	Dubina utora	Pixel size						
		50 um			100 um			
		zone 1 i 4	zone 2 i 5	zone 3 i 6	zone 1 i 4	zone 2 i 5	zone 3 i 6	
BLUE	2 mm	3,97 mm	2,95 mm	1,94 mm	3,99 mm	2,97 mm	1,99 mm	Širina
	1 mm	3,95 mm	3,13 mm	2,05 mm	4,03 mm	3,05 mm	2,03 mm	
GP	2 mm	3,92 mm	3,01 mm	2,02 mm	4,09 mm	2,97 mm	2,01 mm	
	1 mm	3,82 mm	3,13 mm	2,01 mm	3,94 mm	3,17 mm	2,05 mm	

Tablica 14. Iznosi širina svih utora s obzirom na različite parametre

Kod većine rezultata proizlazi da je lakše i točnije odrediti širinu utora s većom dubinom. Utori na mjernim zonama od 1 do 3 su uglavnom točnije izmjereni s obzirom na utore na mjernim zonama od 4 do 6. Jedan od razloga tome je što je kontrast (i CNR) veći u zonama gdje su utori većih dubina. Kako je kontrast veći, lakše ga je odrediti tj. točnije izmjeriti naspram utora nižih dubina. Također vidi se razlika u rezultatima između različitih tipova slikovnih ploča. Širine mjerene na Blue slikovnim zapisima su u većini slučajeva bile bliže istinitim vrijednostima (2, 3, 4 mm) naspram GP slikovnim zapisa (uz određene iznimke). Razlog tome su manji iznosi osnovne prostorne rezolucije kod Blue slikovnih ploča. Kako je osnovna prostorna rezolucija manja (bolje), najmanji primjetan detalj na slikovnom zapisu također postaje manji i primjetljiviji.

4. ZAKLJUČAK

Računalna radiografija je vrlo efikasan i brz postupak za dobivanje eksperimentalnih rezultata. Najveći razlog tome je što se uz tradicionalnu opremu (izvore zračenja) i noviji tip medija (slikovne ploče) može generirati digitalni radiografski zapis. Taj digitalni radiografski zapis ima mnoge prednosti naspram tradicionalno korištenih radiografskih filmova. Jedna od njih je mogućnost prenošenja digitalnog radiografskog zapisa na druga računala koja imaju potrebni software (u ovom slučaju iSee! Programski software) kako bi se na njima mogla nastaviti analiza eksperimenta. Isto tako slikovnu ploču je moguće iskoristiti nekoliko tisuća puta.

Što se tiče provedenih ispitivanja i dobivenih rezultata, u ovome radu, mogu se donijeti zaključci koji će u nastavku teksta biti navedeni.

Iznosi SNR-a i CNR-a ovise o tipu slikovnih ploča koje se koriste prilikom snimanja. U slučaju SNR-a, njegov iznos je bio veći u slučaju GP slikovnih ploča naspram Blue slikovnih ploča. Što se tiče iznosa CNR-a, bio je veći kod Blue slikovnih ploča naspram GP slikovnih ploča. Nadalje vidljivo je kako dubina utora itekako utječe na iznos CNR-a (isto tako i kontrasta- C). Iznosi CNR-a su bili znatno veći kod utora koji su imali veću dubinu naspram utora manjih dubina. Iznos SNR-a je generalno ostao nepromijenjen s obzirom na dubine utora. Osim SNR-a i CNR-a vidljivo je da SR_b također ovisi o tipu korištenih slikovnih ploča i to na način da je (generalno) iznos SR_b –a manji kod Blue slikovnih ploča naspram GP slikovnih ploča. Što se tiče mijenjanja parametara skeniranja (50 i 100 veličina pixela- pixel size) vidljivo je kako je to najviše utjecalo na iznos SR_b –a i to na način da kod manjih veličina pixela, SR_b biva manji.

Na mjerenje širine utora najviše je utjecala dubina utora. Utjecala je na način da je kod utora manjih dubina generalno bilo teže izmjeriti tj. dobiti „prave vrijednosti“ širine utora.

LIITERATURA

[1] Rizici pojave karcinoma uslijed izloženosti ionizirajućem

http://web.zpr.fer.hr/ergonomija/2004/librenjak/x-zrake.htm, 23.2.2017.

[2] Radiopedia.org – Focal spot

https://radiopaedia.org/articles/focal-spot, 23.2.2017.

[3] Rizici pojave karcinoma uslijed izloženosti ionizirajućem

http://web.zpr.fer.hr/ergonomija/2004/librenjak/gama.htm, 23.2.2017.

[4] 2D rendgenski (X-ray) vizijski sustavi

http://www.fsb-ikarus.eu/wp-content/uploads/2016/03/2D-rendgenski-vizijski-sustavi.pdf

[5] Anatoli Vladimirov: Comparison of image quality test methods in computed radiography, 2010

[6] ISO 17636-2:2013, Non-destructive testing of welds- Radiographic testing

[7] EN462-5 / ASTM E2002-98 for industrial NDT radiography- Duplex IQI

[8] Kowotest: Duplex IQI, Duplex IQI according to ISO 19232-5

[9] EN 14784-1, Non-destructive testing – Industrial computed radiography, 2005.

[10] Carestream INDUSTREX brochure- NDT- imaging plates 201402

PRILOZI

I. CD-R dics