

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

Marija Trpčić

**Analiza 3D skeniranja pri razvoju
dentalne protetike**

Zagreb, 2019./2020.

Ovaj rad izrađen je na Zavodu za konstruiranje Fakulteta strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu pod mentorstvom doc. dr. sc. Stanka Škeca, mag. ing. mech. te na Zavodu za mobilnu protetiku Stomatološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu pod komentorstvom izv. prof. dr. sc. Dine Bukovića, dr. med. dent. Rad je predan na natječaj za dodjelu Rektorove nagrade u akademskoj godini 2019./2020.

POPIS OZNAKA

Prikazan je popis oznaka gdje su u prvom stupcu navedene su oznake, u drugom mjerne jedinice, a u trećem opis oznaka.

| | | |
|-----------|-----------------|--|
| A_{aps} | μm | Prosjek apsolutnih devijacija |
| A_{neg} | μm | Prosjek negativnih devijacija |
| A_{poz} | μm | Prosjek pozitivnih devijacija |
| A_{uk} | μm | Prosjek pozitivnih i negativnih devijacija |
| D_i | μm | Devijacija izmjerene točke |
| GV | μm | Vektor devijacije |
| n | - | Broj točaka |
| n_- | - | Broj negativnih točaka |
| n_+ | - | Broj pozitivnih točaka |
| N | - | Broj skenova |
| P_m | - | Izmjerena pozicija |
| P_r | - | Referentna pozicija |
| RMS | μm | Korijen srednje kvadratne pogreške (eng. <i>Root Mean Square</i>) |
| Var | μm^2 | Varijanca jednog skena |
| x_m | μm | Položaj mjerne točke na x osi |
| y_m | μm | Položaj mjerne točke na y osi |
| z_m | μm | Položaj mjerne točke na z osi |
| x_r | μm | Položaj referentne točke na x osi |
| y_r | μm | Položaj referentne točke na y osi |
| z_r | μm | Položaj referentne točke na z osi |
| σ | μm | Standardna devijacija jednog skena |

POPIS KRATICA

Prikazan je popis kratica gdje su u prvom stupcu navedene su kratice, a u drugom stupcu njihovi puni nazivi.

| | |
|-------------|---|
| <i>CAD</i> | Računalom potpomognuto konstruiranje (eng. <i>Computer Aided Design</i>) |
| <i>CAM</i> | Proizvodnja s pomoću računala (eng. <i>Computer Aided Manufacturing</i>) |
| <i>PEEK</i> | Poli (Eter-Eter-Keton) |
| <i>PMMA</i> | Poli (Metil-Metakrilat) |

POPIS SLIKA

| | |
|--|----|
| Slika 1. Eksperimentalna metodologija | 14 |
| Slika 2. CAD model pojednostavljene bezube čeljusti s upornjacima | 15 |
| Slika 3. CAD model gornje čeljusti s prirodnim zubima | 16 |
| Slika 4. Test skeniranja PMMA modela | 17 |
| Slika 5. Test skeniranja modela iz cirkonij-oksidge keramike | 18 |
| Slika 6. Test skeniranja modela iz fotopolimerne smole | 18 |
| Slika 7. Test skeniranja PEEK modela | 18 |
| Slika 8. Model 1 | 19 |
| Slika 9. Model 2 | 19 |
| Slika 10. Skenovi modela 1 skeniranog DWIO skenerom | 21 |
| Slika 11. Provedba usporedbe u računalnom alatu <i>Geomagic Control X</i> | 22 |
| Slika 12. <i>Best fit</i> poravnavanje mjenenog skena po referentnom skenu | 23 |
| Slika 13. Ilustracija pozicija mjenenih i referentnih točaka | 24 |
| Slika 14. Ilustracija maksimuma, minimuma i prosjeka | 28 |
| Slika 15. Dijagram pravokutnika za maksimum | 30 |
| Slika 16. Maksimum skenova, UP360 | 31 |
| Slika 17. Maksimum skenova, UP300 | 31 |
| Slika 18. Maksimum skenova, DWS3 | 32 |
| Slika 19. Dijagram pravokutnika za minimum | 33 |
| Slika 20. Minimum skenova, UP360 | 33 |
| Slika 21. Minimum skenova, UP300 | 34 |
| Slika 22. Minimum skenova, DWS3 | 34 |
| Slika 23. Dijagram pravokutnika za pozitivan prosjek | 35 |
| Slika 24. Pozitivan prosjek skenova, UP360 | 36 |
| Slika 25. Pozitivan prosjek skenova, UP300 | 36 |
| Slika 26. Pozitivan prosjek skenova, DWS3 | 36 |
| Slika 27. Dijagram pravokutnika za negativan prosjek | 38 |
| Slika 28. Negativan prosjek skenova, UP360 | 38 |
| Slika 29. Negativan prosjek skenova, UP300 | 39 |
| Slika 30. Negativan prosjek skenova, DWS3 | 39 |
| Slika 31. Dijagram pravokutnika za RMS | 40 |

| | |
|--|----|
| Slika 32. RMS skenova, UP360..... | 41 |
| Slika 33. RMS skenova, UP300..... | 41 |
| Slika 34. RMS skenova, DWS3 | 42 |
| Slika 35. Dijagram pravokutnika za standardnu devijaciju | 43 |
| Slika 36. Standardna devijacija skenova, UP360..... | 43 |
| Slika 37. Standardna devijacija skenova, UP300..... | 44 |
| Slika 38. Standardna devijacija skenova, DWS3 | 44 |
| Slika 39. Dijagram pravokutnika za prosjek apsolutnih devijacija..... | 45 |
| Slika 40. Prosjek apsolutnih devijacija skenova, UP360..... | 46 |
| Slika 41. Prosjek apsolutnih devijacija skenova, UP300..... | 46 |
| Slika 42. Prosjek apsolutnih devijacija skenova, DWS3..... | 46 |
| Slika 43. Prikaz distribucija devijacija po modelu, UP360, sken 9 | 50 |
| Slika 44. Prikaz distribucija devijacija po modelu, UP360, sken 24..... | 50 |
| Slika 45. Prikaz distribucija devijacija po modelu, UP300, sken 4 | 51 |
| Slika 46. Prikaz distribucija devijacija po modelu, UP300, sken 9 | 51 |
| Slika 47. Prikaz distribucija devijacija po modelu, DWS3, sken 7..... | 52 |
| Slika 48. Prikaz distribucija devijacija po modelu, DWS3, sken 24..... | 52 |
| Slika 49. Dijagram pravokutnika za maksimum, μm | 54 |
| Slika 50. Dijagram pravokutnika za maksimum ekstraoralnih skenera | 55 |
| Slika 51. Maksimum skenova, UP360..... | 55 |
| Slika 52. Maksimum skenova, UP300..... | 56 |
| Slika 53. Maksimum skenova, DWS3..... | 56 |
| Slika 54. Maksimum skenova, DWIO..... | 56 |
| Slika 55. Dijagram pravokutnika za minimum, μm | 58 |
| Slika 56. Dijagram pravokutnika za minimum ekstraoralnih skenera, μm | 58 |
| Slika 57. Minimum skenova, UP360..... | 59 |
| Slika 58. Minimum skenova, UP300..... | 59 |
| Slika 59. Minimum skenova, DWS3..... | 60 |
| Slika 60. Minimum skenova, DWIO | 60 |
| Slika 61. Dijagram pravokutnika za pozitivan prosjek..... | 61 |
| Slika 62. Dijagram pravokutnika rezultata za pozitivan prosjeka ekstraoralnih skenera..... | 62 |
| Slika 63. Pozitivan prosjek skenova, UP360 | 62 |
| Slika 64. Pozitivan prosjek skenova, UP300 | 63 |

| | |
|--|----|
| Slika 65. Pozitivan prosjek skenova, DWS3 | 63 |
| Slika 66. Pozitivan prosjek skenova, DWIO | 63 |
| Slika 67. Dijagram pravokutnika za negativan prosjek..... | 65 |
| Slika 68. Dijagram pravokutnika rezultata negativan prosjek ekstraoralnih skenera | 65 |
| Slika 69. Negativan prosjek skenova, UP360..... | 66 |
| Slika 70. Negativan prosjek skenova, UP300..... | 66 |
| Slika 71. Negativan prosjek skenova, DWS3 | 67 |
| Slika 72. Negativan prosjek skenova, DWIO | 67 |
| Slika 73. Dijagram pravokutnika za RMS | 68 |
| Slika 74. Dijagram pravokutnika rezultata za RMS ekstraoralnih skenera | 69 |
| Slika 75. RMS skenova, UP360..... | 69 |
| Slika 76. RMS skenova, UP300..... | 70 |
| Slika 77. RMS skenova, DWS3 | 70 |
| Slika 78. RMS skenova, DWIO | 70 |
| Slika 79. Dijagram pravokutnika za standardnu devijaciju | 72 |
| Slika 80. Dijagram pravokutnika rezultata za standardnu devijaciju ekstraoralnih skenera | 72 |
| Slika 81. Standardna devijacija skenova, UP360..... | 73 |
| Slika 82. Standardna devijacija skenova, UP300..... | 73 |
| Slika 83. Standardna devijacija skenova, DWS3 | 74 |
| Slika 84. Standardna devijacija skenova, DWIO | 74 |
| Slika 85. Dijagram pravokutnika za prosjek apsolutnih devijacija..... | 75 |
| Slika 86. Dijagram pravokutnika rezultata za prosjek apsolutnih devijacija ekstraoralnih skenera, μm | 76 |
| Slika 87. Prosjek apsolutnih devijacija skenova, UP360..... | 76 |
| Slika 88. Prosjek apsolutnih devijacija skenova, UP300..... | 77 |
| Slika 89. Prosjek apsolutnih devijacija skenova, DWS3..... | 77 |
| Slika 90. Prosjek apsolutnih devijacija skenova, DWIO..... | 77 |
| Slika 91. Prikaz distribucija devijacija na modelu, UP360, sken 20..... | 81 |
| Slika 92. Prikaz distribucija devijacija na modelu, UP360, sken 16..... | 81 |
| Slika 93. Prikaz distribucija devijacija na modelu, UP300, sken 1..... | 82 |
| Slika 94. Prikaz distribucija devijacija na modelu, UP300, sken 11..... | 82 |
| Slika 95. Prikaz distribucija devijacija na modelu, DWS3, sken 6..... | 83 |
| Slika 96. Prikaz distribucija devijacija na modelu, DWS3, sken 11 | 83 |

| | |
|---|----|
| Slika 97. Prikaz distribucija devijacija na modelu, DWIO, sken 13 | 84 |
| Slika 98. Prikaz distribucija devijacija na modelu, DWIO, sken 2 | 84 |

POPIS TABLICA

| | |
|--|----|
| Tablica 1. Pregled postupaka provedbe dosadašnjih istraživanja | 6 |
| Tablica 2. Pregled mjera i rezultata dosadašnjih istraživanja | 9 |
| Tablica 3. Specifikacije skenera za usporedbu | 20 |
| Tablica 4. Broj usporedbi i mjerenih točaka | 25 |
| Tablica 5. Rezultati za maksimum, μm | 31 |
| Tablica 6. Rezultati za minimum, μm | 33 |
| Tablica 7. Rezultati za pozitivan prosjek, μm | 35 |
| Tablica 8. Rezultati za negativan prosjek, μm | 38 |
| Tablica 9. Rezultati za negativan prosjek, μm | 41 |
| Tablica 10. Rezultati za standardnu devijaciju, μm | 43 |
| Tablica 11. Rezultati za prosjek apsolutnih devijacija, μm | 45 |
| Tablica 12. Vrijednosti prosjeka apsolutnih devijacija prikazanih skenova, μm | 48 |
| Tablica 13. Rezultati za maksimum, μm | 55 |
| Tablica 14. Rezultati za minimum, μm | 59 |
| Tablica 15. Rezultati za pozitivan prosjek, μm | 62 |
| Tablica 16. Rezultati za negativan prosjek, μm | 66 |
| Tablica 17. Rezultati za RMS, μm | 69 |
| Tablica 18. Rezultati za standardnu devijaciju, μm | 73 |
| Tablica 19. Rezultati za prosjek apsolutnih devijacija, μm | 76 |
| Tablica 20. Vrijednosti prosjeka apsolutnih devijacija prikazanih skenova, μm | 79 |
| Tablica 21. Srednje vrijednosti i standardne devijacije za sve grupe, μm | 86 |

1. Uvod i motivacija

Posljednjih desetljeća, dentalna industrija se uvelike promijenila uslijed uvođenja digitalnih tehnologija [1]–[3]. Sve više stomatoloških ordinacija, dentalnih laboratorija i proizvodnih centara uvodi CAD/CAM procese za oblikovanje i proizvodnju protetskih nadomjestaka pomoću računala. Razlog tomu je upotreba novih, održivih materijala, pogodnih za industrijsku proizvodnju – npr. titana, cirkonske keramike i alumina keramika [1], [4]–[6], smanjenje vremena proizvodnje i povećanje produktivnosti [6], kao i poboljšanje pouzdanosti dimenzija i oblika te planiranja tijekom izrade protetskog rada [3]. S obzirom na sve navedeno, uvođenje CAD/CAM procesa omogućilo je isplativu proizvodnju pojedinačnih protetskih nadomjestaka. Svi CAD/CAM sustavi sastoje se od tri osnovne komponente: 3D skenera, računalnog alata i proizvodne tehnologije. 3D skener koristi se za pretvorbu geometrije pripremljenog zuba ili čitave čeljusti u digitalni oblik, prema kojem se dizajnira protetski nadomjestak. Računalni alat namijenjen je za oblikovanje CAD modela protetskog nadomjestka prema geometriji prethodno dobivenog digitalnog oblika. Prema pripremljenom CAD modelu, CAM postupkom priprema se kod te se proizvodnom tehnologijom prema kodu izrađuje dizajnirani nadomjestak [3].

Skeneri za dentalnu upotrebu dijele se na intraoralne i ekstraoralne skenere. Intraoralnim skenerima se izravno skeniraju pripremljeni zubi ili tijela za skeniranje koja označavaju pozicije implantata, iz usta pacijenata. Ekstraoralnim skenerima skeniraju se gipsani odljevci čitavih čeljusti ili dijelova čeljusti sa pripremljenim zubima ili tijelima za skeniranje, s time da se gipsani odljevci izrađuju prema prethodno uzetom zagrizu pacijenta.

Intraoralni i ekstraoralni skeneri neprestano su razvijani s ciljem poboljšanja točnosti. Stoga se danas na tržištu može pronaći velik broj ovakvih 3D skenera raznih proizvođača. Budući da je skeniranje korak nakon kojeg kreće CAD oblikovanje protetskih nadomjestaka, točnost skenera ima iznimno važan utjecaj na konačan proizvod. Ako se skenerom ne snimi dovoljno točno površina modela, proizvod se konstruira prema krivim mjerama. Npr. ako je skenirani bataljak preuzak u odnosu na relani bataljak, konačni proizvod bit će preuzak te neće moći nalijeći na bataljak pa će se posljedično dorađivati ručnim alatima ili baciti i ponoviti čitav CAD/CAM proces. Ako je skenirani bataljak preširok u odnosu na stvarni bataljak, dosjed bataljka i nadomjestka u ustima pacijenta bit će previše labav što će prouzrokovati opuštanje cementa kojim se osigurava prijanjanje nadomjestka na bataljak [7]. Posljedično može doći do razvoja paradentoloških bolesti [8], sekundarnog karijesa [9] ili mikropropuštanja – difuzije bakterija, tekućina, molekula ili iona između zuba i nadomjestka [10].

Kako bi se procijenila i usporedila točnost skenera za dentalnu upotrebu provedena su razna eksperimentalna istraživanja. U većini studija je utvrđeno da ekstraoralni skeneri generalno imaju bolju točnost od intraoralnih skenera, posebice prilikom skeniranja cijelih lukova bezubih čeljusti [11]. Intraoralni skeneri mogu imati bolju točnost od ekstraoralnih skenera pri skeniranju pojedinačnih zubi [12], ali im je točnost lošija pomicanjem duž zubnog luka [12]–[15]. Također, točnosti se uvelike razlikuju između različitih intraoralnih skenera, tako da su u nekim studijama intraoralni skeneri ipak zadovoljili kliničke točnosti na cijelim lukovima [16], [17]. Točnost ekstraoralnih skenera također se razlikuje između različitih skenera, posebice s obzirom na tehnologije koje koriste [18]. Klinička točnost uglavnom je zadovoljena za ekstraoralne skenera [13], [18], međutim, ona nije usuglašena među istraživačima. Najčešće se navodi da klinička točnost treba biti ispod 50-75 μm [19], 80 μm [20], 100 μm [21] ili 150 μm [22]. Većina studija ipak se vodi prema McLeanu i Franhoferu, koji tvrde da dosjed na margini između bataljka i nadomjestka mora biti manji od 120 μm [7].

U ovom radu također će se procjenjivati i uspoređivati točnost skenera za dentalnu upotrebu. U svrhu kreiranja istraživačkih pitanja i metodologije istraživanja proveden je detaljan pregled literature s obzirom na tehnologije skeniranja intraoralnih i ekstraoralnih skenera te s obzirom na postupke provođenja eksperimentalnih istraživanja i njihove zaključke.

2. Pregled literature

U ovom poglavlju opisani su skeneri koji se upotrebljavaju u dentalnoj industriji. Prikazan je pregled provedenih studija procjene i usporedbe točnosti skenera. Uz navedeno, izneseni su rezultati i zaključci provedenih studija u svrhu formiranja metodologije ovog istraživanja te kasnije usporedbe rezultata.

2.1. Skeneri u dentalnoj industriji

U dentalnoj industriji skenerima se mjere čeljusti i zubi te se pretvaraju u digitalne skupove podataka. Prema tehnici skeniranja modela dentalni skeneri dijele se na optičke i mehaničke skenere.

Mehanički ili kontaktni skeneri skeniraju modele ticalom koje dodiruje površinu modela. Smatraju se izrazito točnima, no imaju kompliciranu izvedbu, skuplji su i sporiji od optičkih skenera [3].

Optički skeneri imaju znatno veću primjenu u dentalnoj industriji od mehaničkih skenera, a dijele se na intraoralne i ekstraoralne skenere. Optički ekstraoralni dentalni skeneri skeniraju gipsane modele čeljusti. Sastoje se od izvora svjetlosti, jedne ili više kamera te sustava za kretanje od nekoliko osi [23]. Izvor svjetlosti, koji može biti laser ili strukturirano svjetlo, i kamera zajednički se nazivaju glava skenera. Tijekom procesa skeniranja, izvor svjetlosti projicira unaprijed definirane 2D oblike, tj. uzorke linija na površinu objekta, koje poprimaju 3D oblik kada dođu do površine modela. Kamera bilježi snimke ili slike projiciranih linija na objektu. Relativnim pokretima glave skenera ili objekta koji se skenira, stvara se više linija, a time i više njihovih 3D oblika na objektu. Glave laserskih skenera generiraju višestruke linije pomicanjem po linearnoj osi te se zakreću unaprijed određenim pokretima u nekoliko pozicija kako bi se uhvatilo 3D oblik projekcije na površini objekta sa svih strana. Skeneri sa strukturiranim svjetlom imaju fiksnu skenersku glavu koja uzastopno projicira nekoliko pomaknutih uzoraka linija od središnjeg položaja. Unaprijed određenim pokretima zakreće se pločica s objektom u nekoliko pozicija kako bi se kamerom snimila površina objekta sa svih strana [23]. Na temelju poznatog kuta te udaljenosti između kamere i izvora svjetlosti, trigonometrijski se izračunavaju 3D pozicije objekta. Na kraju se oblak 3D objekta, sačinjen od točaka, dobiven iz svih pogleda, transformira u 3D površinu sačinjenu od trokuta [23].

Intraoralni optički skeneri skeniraju zube, bataljke, tijela za skeniranje ili dentalne lukove direktno iz usta pacijenata. Sastoje se od prenosivog dijela, kojim stomatolog ručno upravlja kako bi snimio potrebno područje te računala i monitora. Na prenosivom dijelu nalaze se

kamere, senzori i izvor svjetlosti - laser ili strukturirano svjetlo, koji projicira uzorke linija slično kao i na prethodno opisanim ekstraoralnim uređajima [24]. Intraoralni skeneri snimaju slike ili videa, tijekom pomicanja i zakretanja duž luka modela, za razliku od ekstraoralnih skenera koji snimaju cijeli dentalni luk pozicioniran iz različitih kutova. Pojedinačne snimljene slike se vežu jedne na druge kako bi se dobio virtualni 3D model [25]. Softver pritom prepoznaje zajedničke točke na slikama. Prve dvije koordinate svake točke (x i y) procjenjuju se na slici, dok se z koordinata izračunava ovisno o metodi izračunavanja udaljenosti objekta od kamere.

2.2. Pregled provedenih istraživanja

Proveden je pregled istraživanja koja se temelje na usporedbi skenera za dentalnu upotrebu. Istraživači su u studijama uspoređivali točnosti ekstraoralnih skenera [18], [19], [26], intraoralnih skenera [14]–[17], [27], [28] ili ekstraoralnih i intraoralnih skenera [12], [13], [29], [30]. U nekim istraživanjima, uspoređene su i tehnike skeniranja u odnosu na konvencionalne tehnike uzimanja impresija [2], [31]–[34] na način da su uspoređeni konačni protetski radovi za čiju su izradu korištene obje metode.

Točnost skenera najčešće je procjenjivana kroz parametre vjerodostojnosti i preciznosti, a rjeđe kroz rezoluciju te raskorak na pojedinim površinama objekta [18]. Pritom je rezolucija definirana kao broj točaka po mm^2 skeniranog objekta, a raskorak na pojedinim površina definiran je prosječnim devijacijama na određenim mjestima virtualnog presjeka skeniranog objekta [18]. Vjerodostojnost je definirana kao devijacija dimenzija skena objekta od stvarnih dimenzija objekta, a preciznost kao devijacija dimenzija između skenova istog objekta [26] ili kao devijacija dimenzija unutar pojedinog skena [18]. Visoka vjerodostojnost skenera znači da skener daje rezultat skeniranja koji je vrlo blizu realnim dimenzijama objekta koji se skenira. Visoka preciznost ukazuje na to da skener daje ponovljive rezultate skeniranja. Dakle, upotrebom točnih skenera u ordinacijama i dentalnim laboratorijima omogućena je izrada protetskih nadomjestaka s točnijim dimenzijama. Time je postignuto manje dorada gotovih proizvoda ručnim alatima u svrhu smanjenja grešaka i manje ponavljanja čitavih CAD/CAM procesa.

U tablici 1 dan je pregled postupaka provedbe dosadašnjih istraživanja u kojima su vršene usporedbe točnosti dentalnih skenera. Za procjenu parametara vjerodostojnosti i preciznosti, istraživači su u studijama koristili *in vivo* i *in vitro* metode. Pri provođenju *in vivo* metoda skeniranje je vršeno određen broj puta direktno na pacijentima intraoralnim uređajima. Pri

provođenju *in vitro* metoda skeniranje je vršeno određen broj puta na modelu intraoralnim i ekstraoralnim uređajima. Treba naglasiti da se oblik, materijal i tehnologija izrade modela razlikuju u provedenim studijama, kao i broj uzastopnih skeniranja. Modeli su predstavljali pojednostavljene ili realne protetske nadomjestke, u obliku cijelih ljudskih čeljusti, pojedinačnih zubi i protetskih nadomjestaka. Za izradu modela korišteni su dentalni gips (sadra), legure Titana i Kobalt-Kroma, plastike PEEK i PMMA i polimerizirana fotopolimerna smola. Kako bi se preko skenova snimljenih dentalnim skenerima, mogla vršiti procjena parametara vjerodostojnosti i preciznosti, skeniranje je vršeno i referentnim uređajem. Za referentni uređaj korišten je optički skener ili koordinatni mjerni uređaj visoke točnosti kako bi se njime mogao dobiti sken koji je dimenzijama vrlo blizu stvarnom modelu (referentni sken) te za koji se za smatra da predstavlja stvarni model. Referentni sken uspoređen je sa skenovima snimljenim skenerima za usporedbu u nekom od softvera za kontrolu kvalitete. Usporedbom su dobivene vrijednosti devijacija modela, a nakon toga su iskazane vjerodostojnost i preciznost. Kako su u istraživanjima korišteni različiti modeli, referentni uređaji i skeneri za dentalnu upotrebu, studije je teško međusobno usporediti.

U tablici 2 dan je pregled korištenih mjera i rezultata istih istraživanja kao iz tablice 1. Istraživači su vjerodostojnost skenera iskazivali pomoću iznosa srednjih vrijednosti RMS ili srednjih vrijednosti apsolutnih devijacija za pojedini skener. Prema rezultatima ovih istraživanja zaključuje se da ekstraoralni skeneri generalno imaju bolju vjerodostojnost od intraoralnih skenera te da ona manje varira duž zubnog luka. Uz to, intraoralni skeneri nisu pokazali zadovoljavajuću točnost za skeniranje bezubih lukova s implantatima. Također, zaključuje se da intraoralni skeneri mogu pokazati bolju vjerodostojnost ukoliko se njima skenira pojedinačni bataljak, zub ili upornjak. U slučaju pojedinačnog skeniranja intraoralni skeneri mogu se pokazati čak i malo boljima od ekstraoralnih skenera.

Dosadašnja istraživanja različito su definirala i mjerila preciznost. Preciznost je mjerena kao *varijabilnost između skenova* međusobnom usporedbom vrijednosti RMS ili prosjeka apsolutnih devijacija skenova za pojedini skener te kao *varijabilnost unutar skena* pomoću srednje vrijednosti standardnih devijacija za pojedini skener. Prema rezultatima ovih istraživanja zaključuje se da ekstraoralni skeneri imaju bolju preciznost od intraoralnih skenera te da ona, kao i vjerodostojnost, manje varira duž zubnog luka. Sukladno rezultatima vjerodostojnosti, intraoralni skeneri nisu pokazali zadovoljavajuću preciznost za skeniranje bezubih lukova s implantatima. Također, preciznost intraoralnih skenera je bolja kod pojedinačnog skeniranja.

Tablica 1. Pregled postupaka provedbe dosadašnjih istraživanja

| Studija | Svrha | Oblik modela | Materijal i tehnologija izrade modela | Referentni uređaj | Referentni sken | Dentalni skeneri koji se uspoređuju | Skenovi za usporedbu | Provedba usporedbi |
|---------|---|---|--|---|---|---|---|---|
| [26] | procjena točnosti ekstraoralnih skenera na temelju vjerodostojnosti i preciznosti | Pojednostavljeni model zubnog luka s upornjacima | <i>Muli-jet</i> printanje; materijal <i>VisiJet PearlStone</i> | industrijski skener <i>ATOS Core 200 5M, GOM</i> | dobiven spajanjem deset uzastopnih skenova | osam ekstraoralnih skenera | po deset skenova snimljenih svakih skenerom | <i>best fit</i> poravnavanje i 3D usporedba referentnog skena sa skenovima za usporedbu u softveru <i>Geomagic Control</i> |
| [27] | usporedba točnosti intraoralnih skenera | bezubi luk s pomoćnim tijelima za skeniranje | glodanje na CNC stroju; materijal PMMA | koordinatni mjerni uređaj <i>SmartScope Flash, CNC 300, OGP</i> | mjerenje točaka na pomoćnim tijelima i bezubom luku u <i>x, y, z</i> koordinatama | osam intraoralnih skenera | po petnaest skenova snimljenih svakih skenerom | <i>best fit</i> poravnavanje i usporedba izmjerenih koordinata sa koordinatama skenova za usporedbu izmjerenim u softveru <i>Rhinoceros</i> |
| [13] | usporedba ponovljivosti intraoralnog skenera sa ponovljivosti ekstraoralnog skenera | model gornje čeljusti sa pet različitih kombinacija zubi i bataljaka | proizvod tvrtke <i>Nissin</i> ; model <i>500 A</i> | nema | nema | jedan intraoralni i jedan ekstraoralni skener | po deset skenova snimljenih svakih skenerom za po pet različitih poredaka bataljaka | <i>best fit</i> poravnavanje i analiza devijacija prvog skena jednog skenera sa ostalim skenovima istog skenera u softveru <i>Geomagic Qualify</i> |
| [15] | procjena i usporedba točnosti intraoralnih skenera kod skeniranja cijelih zubnih lukova i izoliranih zubi | maksimalni zubni luk s izmjenično postavljenim zubima i pomoćnim tijelima za skeniranje | materijal epoksidna smola | industrijski skener <i>ATOS II Triple Scan, GOM</i> | jedan sken modela | četiri intraoralna skenera | po četrdeset skenova snimljenih svakim skenerom | <i>best fit</i> poravnavanje i 3D usporedba referentnog skena cijelog luka i digitalno izoliranih zubi sa skenovima za usporedbu u softveru <i>Geomagic Control</i> |

| | | | | | | | | |
|------|---|--|---|---|--|--|---|---|
| [12] | usporedba intraoralnih i ekstraoralnog skenera na temelju devijacija zubnog luka s obzirom na udaljenost od prvog zuba u luku | zubni luk prema proizvodu tvrtke <i>Frasaco, model ANA-4</i> | materijal dentalni gips | industrijski skener <i>Solutionix C500</i> | jedan sken modela | četiri intraoralna skenera i jedan ekstraoralni skener | po trideset skenova snimljenih svakim skenerom, od koji je prvih deset odbačeno prije usporedbe | <i>best fit</i> poravnavanje prema prvom zubu zubnog luka i 3D usporedba referentnog skena sa skenovima za usporedbu u softveru <i>Geomagic Control</i> |
| [18] | procjena i usporedba točnosti i rezolucije ekstraoralnih skenera uz usporedbu značajki i tehnologije skeniranja | bataljak | glodanje; materijal PEEK | koordinatni mjerni uređaj <i>Global Perforamnce</i> | jedno mjerenje cijelog modela | šest ekstraoralnih skenera grupiranih s obzirom na tehnologiju | po deset skenova snimljenih svakim skenerom | <i>best fit</i> poravnavanje i 3D usporedba referentnog skena sa skenovima za usporedbu u softveru <i>Geomagic Control</i> |
| [19] | usporedba točnosti laboratorijskih skenera | upornjak | završno pljeskarenje; materijal: Ti 6AL4V, razred 5 | koordinatni mjerni uređaj <i>SmartScopeFlas h, CNC 300, OGP</i> | dobiven spajanjem deset uzastopnih skenova | sedam ekstraoralnih skenera | po deset skenova snimljenih svakim skenerom | <i>best fit</i> poravnavanje i 3D usporedba referentnog skena sa skenovima za usporedbu u softveru <i>Geomagic Studio</i> |
| [14] | procjena vjerodostojnosti i preciznosti cijelih zubnih lukova i usporedba na temelju karakteristika s obzirom na princip snimanja i potrebu praha za skeniranje | maksibularna i mandibularna čeljust s bataljcima | zubi <i>A50H</i> -set iz epoksidne smole te maksilarne i mandibularne čeljusti <i>E0</i> su proizvodi su tvrtke <i>Morita</i> | industrijski skener <i>stereoSCAN R8, AICON</i> | jedan sken modela | devet intraoralnih skenera | po deset skenova snimljenih svakim skenerom | <i>best fit</i> poravnavanje i 3D usporedba referentnog skena sa skenovima za usporedbu te skenova za usporedbu međusobno u softveru <i>Geomagic Verify</i> |

| | | | | | | | | |
|------|--|--|---|---|---|--|---|---|
| [28] | mjerenje vjerodostojnosti i preciznosti intraoralnih skenera za cijeli bezubi luk s implantatima | maksibularna čeljust sa pet tijela za skeniranje i tri sfere | materijal čeljusti: dentalni gips; materijal tijela za skeniranje: PEEK | koordinatni mjerni uređaj tvrtke <i>Carl Zeiss</i> | mjerenje opsega svakog tijela za skeniranje u x , y , z koordinatama te mjerenje udaljenosti između centara sfera | industrijski skener <i>ATOS Core</i> i tri intraoralna skenera | po trideset skenova snimljenih svakim skenerom | oblikovanje modela za poravnavanje na temelju mjera izmjerenih mjerenim uređajem u x , y , z koordinatama te poravnavanje sa skenovima za usporedbu u istu poziciju u softveru <i>GOM Inspect</i> |
| [17] | procjena točnosti intraoralnih skenera bezubih čeljusti na koje se stavljaju implantati | bezuba čeljust sa šest tijela za skeniranje | materijal čeljusti: akril; materijal tijela za skeniranje: PEEK | ekstraoralni skener <i>104i, Imetric</i> | jedan sken modela | četiri intraoralna skenera | po petnaest skenova snimljenih svakim skenerom, od koji je prvih pet odbačeno prije usporedbe | <i>best fit</i> poravnavanje i 3D usporedba referentnog skena samo na području tijela za skeniranje sa skenovima za usporedbu te skenova za usporedbu međusobno u softveru <i>Geomagic Studio</i> |
| [16] | procjena efikasnosti intraoralnih skenera, u smislu vjerodostojnosti i preciznosti | zubni luk dvanaest pacijenata | <i>in vivo</i> | industrijski skener <i>Artec Space Spider, Artec 3D</i> | jedan sken zubnog luka svakog pacijenta | dva intraoralna skenera | dva skena zubnog luka svakog pacijenta (jednog skenera) i tri skena zubnog luka svakog pacijenta (jednog skenera) | korištenje ICP algoritma za poravnavanje šest prednjih zubi referentnog skena sa skenovima za usporedbu te međusobna usporedba skenova za usporedbu cijelih zubnih lukova u softveru <i>Viewbox</i> |

Tablica 2. Pregled mjera i rezultata dosadašnjih istraživanja

| Studija | Mjera vjerodostojnosti | Mjera preciznosti | Rezultati | Zaključak studije |
|---------|--|--|---|---|
| [26] | srednja vrijednost RMS za pojedini skener | srednja vrijednost RMS dobivena međusobnom usporedbom skenova za pojedini skener | vjerodostojnost (17,4-33,3 μm); preciznost (15,7-31,7 μm) | Dva skenera pokazala su se značajniju točnost od ostalih. Kod uspoređivanih skenera oni koji koriste tehnologiju strukturnog svjetla pokazali su se točnijim od laserskih. |
| [27] | srednja vrijednost apsolutnih devijacija za pojedini skener | srednja vrijednost standardnih devijacija za pojedini skener | vjerodostojnost (31-344 μm); preciznost (5-121 μm) | Svi skeneri nisu se pokazali zadovoljavajućim za snimanje bezubih lukova s implantatima. |
| [13] | nema | srednja vrijednost standardnih devijacija za pojedini skener | preciznost za intraoralne poretke (7-88,44 μm) i ekstraoralne poretke (8,67-24,33 μm) | Preciznost skenera se smanjivala povećanjem raspona skeniranog područja te je bila klinički prihvatljiva do polovice luka. Preciznost ekstraoralnog skenera bila je prihvatljiva bez obzira na raspon područja skeniranja. |
| [15] | srednja vrijednost apsolutnih devijacija izračunata za pojedini skener | srednja vrijednost standardnih devijacija za pojedini skener | vjerodostojnost za cijeli zubni luk (32,1-98,3 μm) i izolirane zube (8,6-36,4 μm); preciznost za cijeli zubni luk (98,8-261,8 μm) i izolirane zube (13,7-93 μm) | Točnost skenera se je razlikovala s obzirom na raspon skeniranog područja. Dva skenera pokazala su veću točnost i preciznost i kod pojedinačnih zubi i kod cijelih lukova. Sve vrijednosti točnosti bile su unutar klinički prihvatljive točnosti. |
| [12] | srednja vrijednost RMS svakog zuba zubnog luka za pojedini skener | nema | vrijednosti vjerodostojnosti povećavaju se pomicanjem prema kraju zubnog luka; za ekstraoralni skener (14,6-67,3 μm), a intraoralne skenera (9,6-532,4 μm) | Distorzije intraoralnog skena počele su od mjesta od kojeg je krenulo skeniranje. Skenovi cijelih lukova nisu se pokazali prikladnim za proizvodnju fiksnih proteza. S obzirom na RMS vrijednosti intraoralni skeneri mogu se koristiti kod proizvodnje krunica ili mostova unutar raspona skeniranja pola zubnog luka. |

| | | | | |
|------|---|---|---|--|
| [18] | srednja vrijednost prosjeka izračunatog iz apsolutnih devijacija svih točaka za pojedini skener | srednja vrijednost standardnih devijacija za pojedini skener | vjerodostojnost pojedinačnih zubi za skenere sa strukturiranim svjetlom (35,7-46 μm), laserske skenere (29-42,1 μm), kontaktni skener (37,1 μm); preciznost pojedinačnih zubi za skenere sa strukturiranim svjetlom (37,5-50,6 μm), laserske skenere (44-46,6 μm), kontaktni skener (43,8 μm) | Za optimalno skeniranje u CAD/CAM procesima bataljci bi trebali imati glatke površine. Na rezoluciju skenera je utjecala njegova sposobnost skeniranja oštih struktura, ali to nije utjecalo na ukupnu točnost skenera. Točnost svakog skenera pokazala se klinički prihvatljivom. Različite tehnologije nisu utjecale na ukupnu pouzdanost skenera, ali jesu na neke njene aspekte. |
| [19] | srednja vrijednost RMS za pojedini skener | srednja vrijednost standardnih devijacija za pojedini skener | vjerodostojnost (7,7-28,6 μm); preciznost (4-19,5 μm) | Standardizirani proces skeniranja titanskog modela je koristan za procjenu vjerodostojnosti i preciznosti. Dva skenera pokazala su se značajno boljim od ostalih. |
| [14] | srednja vrijednost devijacija svih točaka za pojedini skener | srednja vrijednost devijacija svih točaka dobivena međusobnom usporedbom skenova za pojedini skener | vjerodostojnost (42,3-153,8 μm); preciznost (34,7-357,05 μm) | Dva intraoralna skenera pokazala su se znatno lošijima u odnosu na ostale. SS-OCT princip snimanja imao je lošije rezultate od ostalih metoda. Intraoralni skeneri kod kojih je bio potreban prah za skeniranje imali su bolju vjerodostojnost. Kvantitativne značajke (poligonalni uzorci, reproduktivnost oštih rubova, glatkoća površina) varirale su između različitih skenera. |
| [28] | srednja vrijednost devijacija tijela za skeniranje u x, y, z koordinatama te udaljenost među sferama za pojedini skener | srednja vrijednost standardnih devijacija tijela za skeniranje u x, y, z koordinatama te udaljenost među sferama za pojedini skener | vjerodostojnost intraoralnih skenera (41-114 μm) i industrijskog skenera (0-8 μm) za sve mjere implantata; preciznost intraoralnih skenera (100-135 μm) i industrijskog skenera (2-19 μm) za sve mjere implantata | ATOS skener pokazao je visoku vjerodostojnost i preciznost. Postoji znatna razlika u točnosti različitih intraoralnih skenera kod skeniranja bezubih lukova s implantatima. Također, uočena je niska preciznost svih intraoralnih skenera, ukazujući na to da su intraoralni skeneri nepouzdati za skeniranje bezubih lukova s implantatima. |

| | | | | |
|------|---|--|--|---|
| [17] | srednja vrijednost devijacija za pojedini skener | srednja vrijednost devijacija svih točaka dobivena međusobnom usporedbom skenova za pojedini skener | vjerodostojnost (28-112 μm); preciznost (30-59 μm) | Postoji znatna razlika u točnosti različitih skenera, a jedan od skenera nije zadovoljio zadovoljavajuću razinu točnosti za skeniranje bezubih lukova s implantatima. |
| [16] | srednja vrijednost prosjeka izračunatog iz apsolutnih devijacija svih točaka za pojedini skener | srednja vrijednost prosjeka izračunatog iz apsolutnih devijacija svih točaka dobivena međusobnom usporedbom skenova za pojedini skener | vjerodostojnost (129-164 μm); preciznost s obzirom na cijelu čeljust (razlika između skenera 10 μm) te s obzirom na prednje zube (65-86 μm) | Oba intraoralna skenera pokazala su zadovoljavajuću točnost cijelog maksilarnog luka za uobičajenu kliničku upotrebu. Za pojedine slučajeve, u prostorno nedefiniranim područjima luka uočena je veća nepreciznost, stoga je u određenim zahtjevnim slučajevima upitna točnost intraoralnih skenera |

U dosadašnjim studijama korišteni su modeli različitih oblika i materijala te su njihovim skeniranjem tumačene točnosti raznih skenera (Tablica 1). Kada su skenirani modeli koji su imitirali pojedinačni zub ili bataljak skeneri su ostvarili bolje iznose točnosti u odnosu na to kada su skenirani modeli cijele čeljusti. Također, iznosi vjerodostojnosti i preciznosti bili su lošiji kod skeniranja bezubih čeljusti, posebice za intraoralne skenere. Kada su rezultati točnosti intraoralnih skenera komentirani u vidu kliničke točnosti, u studijama su dobiveni oprečni zaključci. Uz navedeno, vjerodostojnost i preciznost iskazivane su različitim mjerama (Tablica 2) pa se konkretni iznosi ovih parametara ne mogu usporediti u raznim studijama.

U ovom istraživanju koristit će se dva modela kako bi se iste skenere moglo usporediti s obzirom na skeniranje dvije drugačije vrste čeljusti – bezube i one s prirodnim zubima. U radu će se usporediti ekstraoralni i intraoralni skeneri, s različitim tehnologijama skeniranja. Provjerit će se zadovoljavaju li iznosi točnosti skenera kliničku točnost. Dodatno će se usporediti točnost skenera u odnosu na podatke točnosti proizvođača kako bi se ustanovila relevantnost tih podataka. Tijekom navedenih usporedbi koristit će se različite metrike za interpretaciju rezultata kako bi se iznosi vjerodostojnosti i preciznosti mogli usporediti sa velikim brojem studija.

S obzirom na navedeno u sljedećem poglavlju jasno će se definirati cilj rada, formirati istraživačka pitanja i kreirati hipoteze.

3. Ciljevi rada i istraživačka pitanja

Cilj ovog rada je procjena i usporedba točnosti tri ekstraoralna skenera i jednog intraoralnog skenera s različitim tehnologijama skeniranja, uz korištenje parametara vjerodostojnosti i preciznosti. S time da će se procjena točnosti vršiti skeniranjem dva različita modela cijelih čeljusti. Prvim modelom ukazat će se na točnost skenera kod skeniranja bezubih lukova pacijenata, a drugim modelom na točnost kod skeniranja zubnih lukova s prirodnim zubima.

Na temelju pregleda literature, postavljaju se sljedeća istraživačka pitanja:

1. Hoće li ekstraoralni skeneri pokazati veću točnost od intraoralnih skenera?
2. Imaju li skeneri zadovoljavajuću kliničku točnost za cijele dentalne lukove?
3. Kako tehnologija skenera utječe na točnost?
4. Postoji li razlika u točnosti dobivenoj istraživanjem u odnosu na točnost prema proizvođaču?
5. Kako vrsta modela utječe na točnost skenera?

S obzirom na istraživačka pitanja i literaturu kreirane su sljedeće hipoteze.

Prema provedenim istraživanjima u kojima su uspoređivani ekstraoralni skeneri u odnosu na intraoralne skenera [12], [13] proizlazi hipoteza I: Ekstraoralni skeneri generalno pokazuju veću točnost u odnosu na intraoralne skenera.

Sukladno istraživanjima [11], [27] postavlja se hipoteza II: Ekstraoralni skeneri imaju zadovoljavajuću točnost za cijele dentalne lukove. Intraoralni skener nema zadovoljavajuću točnost za cijele dentalne lukove.

S obzirom na rezultate istraživanja iz [18] slijedi hipoteza III: Skeneri koji koriste tehnologiju strukturiranog svjetla točniji su od laserskih skenera.

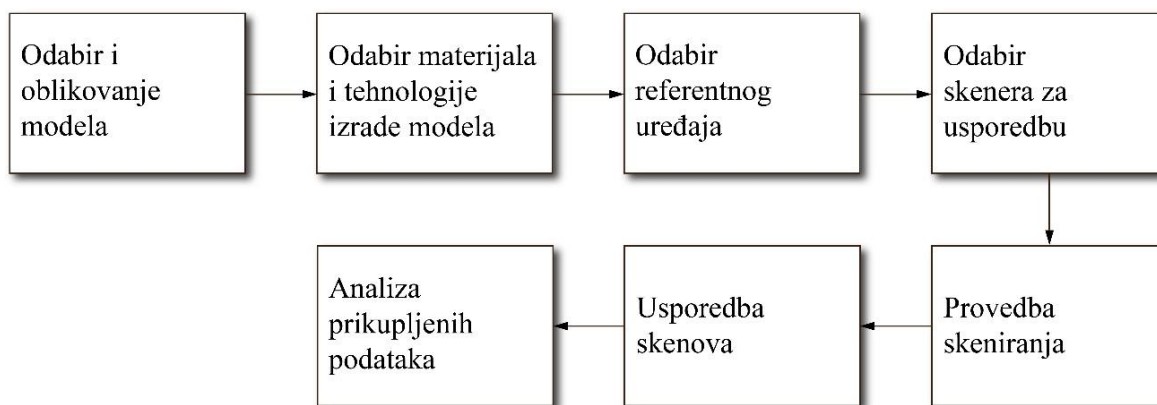
Pretpostavlja se hipoteza IV: Ne postoji razlika u točnosti dobivenoj istraživanjem u odnosu na točnost prema proizvođaču.

Budući da je ustanovljeno kako postoji razlika u točnosti s obzirom na modele iz pregleda literature (Tablica 2), definira se hipoteza V: Skeneri pokazuju različite iznose točnosti na različitim modelima.

4. Metodologija istraživanja

Metodologija ovog istraživanja zasniva se na prethodno proučenim eksperimentalnim studijama [15], [16], [18], [19], [26] u kojima su uspoređivani skeneri za dentalnu upotrebu. Pregledom literature analizirane su već korištene metodologije za određivanje točnosti skenera, njihovi rezultati i zaključci autora. U studijama rezultati variraju jer ne postoji univerzalan model koji se koristi za istraživanja. Rezultate točnosti skenera treba tumačiti s obzirom na to koristi li se za model pojedinačni bataljak, upornjak ili zub, pojednostavljeni model bezube čeljusti ili model čeljusti s prirodnim zubima. Budući da su skeneri pri skeniranju prirodnih i pojednostavljenih ili bezubih cijelih zubnih lukova ostvarivali najveće devijacije, u ovom radu provest će se istraživanje na modelima cijelih čeljusti. Prvim modelom ukazat će se na točnost skenera kod skeniranja bezubih lukova pacijenata, a drugim modelom na točnost kod skeniranja zubnih lukova s prirodnim zubima. Naposljetku, analizirat će se rezultati točnosti skenera, dobiveni usporedbom skenova obaju modela te će se razjasniti utjecaj modela na rezultate.

Ustanovljena je metodologija istraživanja za provođenje eksperimentalne studije, prikazana na slici 1. Koraci su objašnjeni u poglavljima koja slijede.



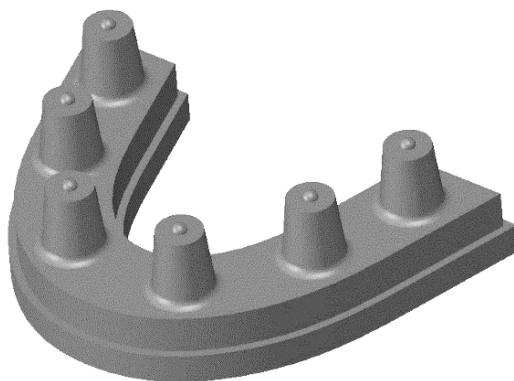
Slika 1. Eksperimentalna metodologija

4.1. Odabir i oblikovanje modela

U ovom poglavlju objasnit će se na koji način i prema kojim smjernicama je oblikovan prvi model, kojim će se ukazati na točnost skenera kod skeniranja bezubih lukova te kako je pripremljen drugi model, kojim će se ukazati na točnost kod skeniranja zubnih lukova s prirodnim zubima.

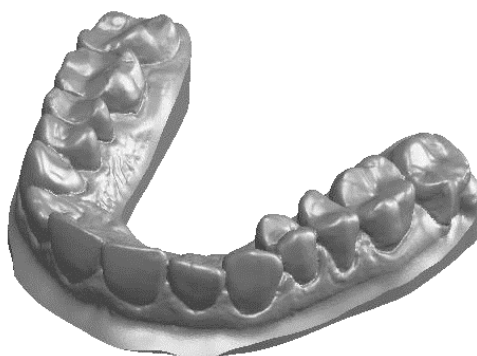
U razmatranim objavljenim *in vitro* studijama korišteni su modeli različitih oblika i dimenzija, koji su predstavljali pojednostavljene [17]–[19], [26], [27] ili realistične protetske nadomjestke i čeljusti [12]–[15]. Pritom se pojednostavljenim smatraju modeli koji predstavljaju upornjake, bataljke ili čeljusti jednostavnih oblika, s ravnim, valjkastim i/ili konusnim ploham. Realističnim se smatraju modeli koji imaju nepravilne oblike i plohe koji su vjerna imitacija prirodnih zubi ili realističnih protetskih nadomjestaka. Za provedbu ovog istraživanja odabrana su dva različita modela. Za prvi model odabran je model pojednostavljene bezube čeljusti s upornjacima koji imitiraju bataljke (Slika 2), a za drugi model gornje čeljusti s prirodnim zubima (Slika 3).

Pojednostavljeni model bezube čeljusti s upornjacima (Model 1) oblikovan je u 3D CAD računalnom alatu *Solidworks 2018*. Kao odrednice tijekom oblikovanja korišteni su model čeljusti prema [26] te model upornjaka prema [35], kao i prosječne mjere zubnog luka za žene [36]. Na ravnoj plohi koja imitira bezubi luk razmješteno je šest identičnih upornjaka visine $h = 9$ mm, promjera na dnu $D = 8$ mm te nagiba $\alpha = 6^\circ$, koji se nalaze na pozicijama: desnog drugog kutnjaka, desnog drugog pretkutnjaka, desnog lateralnog sjekutića, lijevog lateralnog sjekutića, lijevog drugog pretkutnjaka i lijevog drugog kutnjaka. Na gornjim ploham upornjaka oblikovane su polusfere polumjera $R = 1$ mm, kako bi se od njihovih središta mogla provesti mjerenja devijacija između upornjaka.



Slika 2. CAD model pojednostavljene bezube čeljusti s upornjacima

Za izradu modela čeljusti s prirodnim zubima (Model 2) korišten je gipsani maksilarni model čeljusti, dobiven iz prethodno uzetog otiska pacijentice. Gipsani model je skeniran, a zatim prilagođen u 3D CAD alatu *Exocad*, specijaliziranom za korištenje u dentalnoj industriji. Prilagodba se zasnivala na kreiranju ravnog dna modela, u svrhu bolje stabilnosti i lakšeg nalijeganja na površinu pločice skenera, a pritom se nije mijenjala geometrija i oblik zuba.



Slika 3. CAD model gornje čeljusti s prirodnim zubima

Za oblikovane CAD modele potrebno je pronaći pogodan materijal. Prilikom odabira treba paziti na to da materijal bude čvrst, a ne krhak. Također, treba paziti da model napravljen iz odabranog materijala nema reflektirajuće površine i da se njegove površine mogu dobro skenirati. U skladu s materijalom treba odabrati odgovarajuću tehnologiju izrade, a zatim izraditi modele.

4.2. Odabir materijala i tehnologije izrade modela

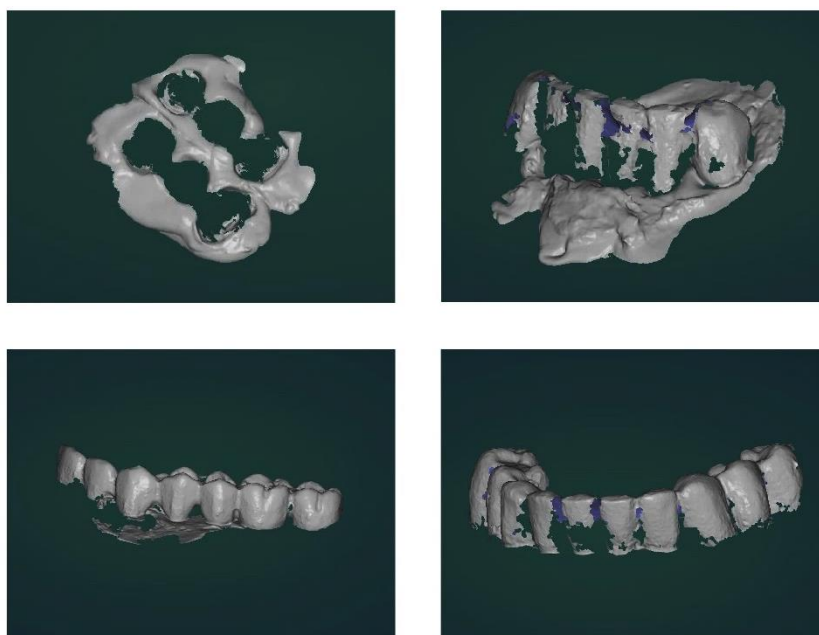
Prilikom odabira materijala i tehnologije izrade modela, uzeti su u obzir materijali korišteni u prethodno provedenim studijama (Tablica 1). Razmotrena je izrada modela od: dentalnog gipsa [12], legure Titana [19], legure Kobalt-Kroma [35], PEEK-a [18], PMMA [27], polimerizirane fotopolimerne smole [15], [26] i cirkonij-oksidge keramike, a zaključci razmatranja opisani su u ovom poglavlju.

Dentalni gips, korišten za izradu modela u [12], [28] je materijal koji se koristi u dentalnoj industriji za izradu odljevaka čeljusti. Prema tome, bilo bi logično skenirati upravo ovakve modele. Međutim, njegova krhkost i sklonost ka trošenju, mogli bi dovesti do oštećenja modela tijekom provedbe eksperimenta. Svaka vanjska promjena površine modela, poput napuknuća ili ogrebotine, odrazila bi se na rezultate skeniranja, a posljedično i na valjanost rezultata.

S druge strane, legure Titana i Kobalt-Kroma su izrazito čvrste i postojeane te bi se njihovom upotrebom značajno smanjila vjerojatnost oštećenja modela. No, ovakvi metalni modeli imaju reflektirajuće površine, koje u procesu skeniranja uzrokuju odbljesak pa je kamerama onemogućeno snimanje svih ploha [18].

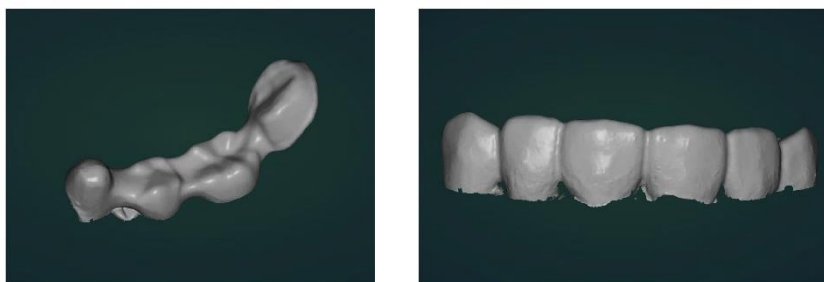
Modeli glodani iz materijala PEEK, PMMA, cirkonij-oksidge keramike (uz dodatni proces sinteriranja) ili izrađeni polimerizacijom fotopolimerne smole u komori čvrsti su i imaju zadovoljavajuću dimenzijsku stabilnost [18]. Modeli iz PEEK-a, cirkonij-oksidge keramike i polimerizirane smole imaju neprozirne i nereflektirajuće površine što ukazuje na to da bi se njihove površine trebale dobro skenirati. Površine PMMA modela lagano su prozirne te je iz tog razloga potrebno utvrditi mogu li se dobro skenirati.

Za ove materijale (PEEK, PMMA, cirkonij-oksidge keramiku i polimeriziranu smolu) provedeno je testiranje, na način da su skenirani već izrađeni protetski radovi, skenerom UP360. Na snimljenim skenovima promatrano je postoji li refleksija te koliko se dobro mogu površine modela skenirati. Pritom se misli na to da se površine mogu dobro skenirati ako su na skenovima prikazane cijele površine modela bez prekida i nepravilnosti. Na slici 4 prikazani su rezultati testa na mostovima izrađanim iz raznih boja PMMA blokova. Kao što je vidljivo na prikazima, plohe modela nisu snimljene uopće ili su snimljene djelomično, stoga je ovaj materijal odbačen za daljnje razmatranje.

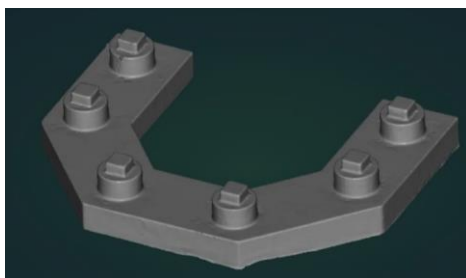


Slika 4. Test skeniranja PMMA modela

Skeniranjem modela izrađenih glodanjem i sinteriranjem cirkonij-oksidge keramike (Slika 5), modela izrađenog polimerizacijom fotopolimerne smole u komori (Slika 6) te modela izrađenog iz PEEK-a (Slika 7) dobiveni su skenovi modela sa svim dobro skeniranim ploham.



Slika 5. Test skeniranja modela iz cirkonij-oksidge keramike



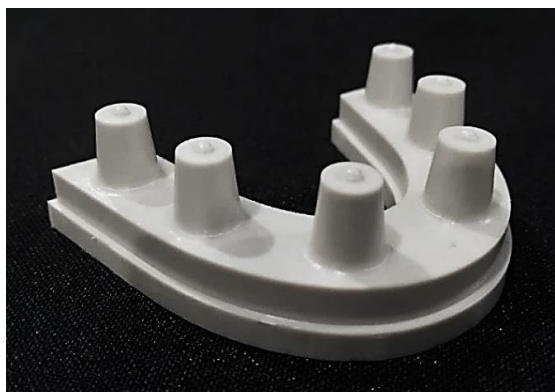
Slika 6. Test skeniranja modela iz fotopolimerne smole



Slika 7. Test skeniranja PEEK modela

Nakon provedenih testova skeniranja materijala, dodatno su razmotreni PEEK, cirkonij-oksidge keramika te polimerizirana fotopolimerna smola. Sva tri navedena materijala imaju dobra optička svojstva tj. nemaju reflektirajuće i neprozirne površine. U odnosu na polimeriziranu fotopolimernu smolu PEEK i cirkonij-oksidge keramika imaju veću čvrstoću i dimenzijsku stabilnost. Međutim, postupak izrade modela iz cirkonij-oksidge keramike, koji se sastoji od glodanja i sinteriranja, složeniji je od postupka izrade modela iz PEEK-a, koji se sastoji samo od glodanja. Stoga je za izradu odabran materijal PEEK. Nakon toga, modeli su izglodani na CNC stroju *Plus Mill RS5*.

Na slikama su prikazani su model 1 (Slika 8) i model 2 (Slika 9) nakon izrade.



Slika 8. Model 1



Slika 9. Model 2

4.3. Odabir referentnog uređaja

Model treba mjeriti ili skenirati referentnim uređajem visoke točnosti, kako bi njegove mjere bile što bliže stvarnim mjerama. U prethodno provedenim studijama za referentni uređaj korišteni su industrijski skener [12], [14], [15], [26] ili koordinatni mjerni uređaj [18], [19], [27], [28].

U ovom radu za referentni skener odabran je industrijski skener *Atos Core 135*, proizvođača *GOM*, koji je korišten u već provedenim istraživanjima [26], [37]–[39]. *Atos Core* je industrijski skener koji se smatra izrazito točnim. Koristi tehnologiju strukturiranog svjetla sa dvije ugrađene kamere između kojih je smješten projektor s uskopojasnim plavim svjetlom, a namijenjen je za precizno skeniranje malih i srednjih objekata.

Sken dobiven korištenjem referentnog skenera nazvat će se referentni sken i u istraživanju će se s njime uspoređivati ostali skenovi snimljeni skenerima za usporedbu.

4.4. Odabir skenera za usporedbu

Za usporedbu su odabrani skeneri UP360, UP300, Dental Wings 3Series (DWS3) i Dental Wings Intraoral Scanner (DWIO). Specifikacije odabranih skenera, prema [40]–[42] dane su u tablici 3.

Tablica 3. Specifikacije skenera za usporedbu

| | Skener | | | |
|-------------------------------------|--|--|--|---|
| | UP360 | UP300 | DWS3 | DWIO |
| proizvođač | Up3D | Up3D | Dental Wings | Dental Wings |
| vrsta skeniranja | ekstraoralno | ekstraoralno | ekstraoralno | intraoralno |
| tehnologija | tehnologija strukturiranog svjetla | tehnologija strukturiranog svjetla | laserska triangulacija | <i>MultiScan Imaging</i> |
| broj kamera | 2 | 2 | 2 | 10 |
| točnost (prema proizvođaču) | < 6 μm | < 10 μm | < 20 μm | za pojedinačne zube < 15 μm ; za cijele lukove < 40 μm |
| primjena (prema proizvođaču) | skeniranje cijelih zubnih lukova ili pojedinačnih zubi | skeniranje cijelih zubnih lukova ili pojedinačnih zubi | skeniranje cijelih zubnih lukova ili pojedinačnih zubi | skeniranje cijelih zubnih lukova ili pojedinačnih zubi |

Skenovi dobiveni odabranim skenerima usporedit će u odnosu na referentni sken, a zatim će se rezultati tih usporedbi usporediti za sve skenere međusobno. Odabir tri ekstraoralna skenera i jednog intraoralnog skenera omogućit će spoznaje o točnosti skenera s obzirom na vrstu skeniranja. Kako su unutar skupine ekstraoralnih skenera odabrani skeneri koji koriste dvije različite tehnologije skeniranja, omogućit će se spoznaje s obzirom na tehnologiju. Naposljetku, odabirom dva skenera istog proizvođača unutar skupine skenera koji koriste istu tehnologiju (strukturiranog svjetla) provjerit će se razlika dvaju sličnih skenera.

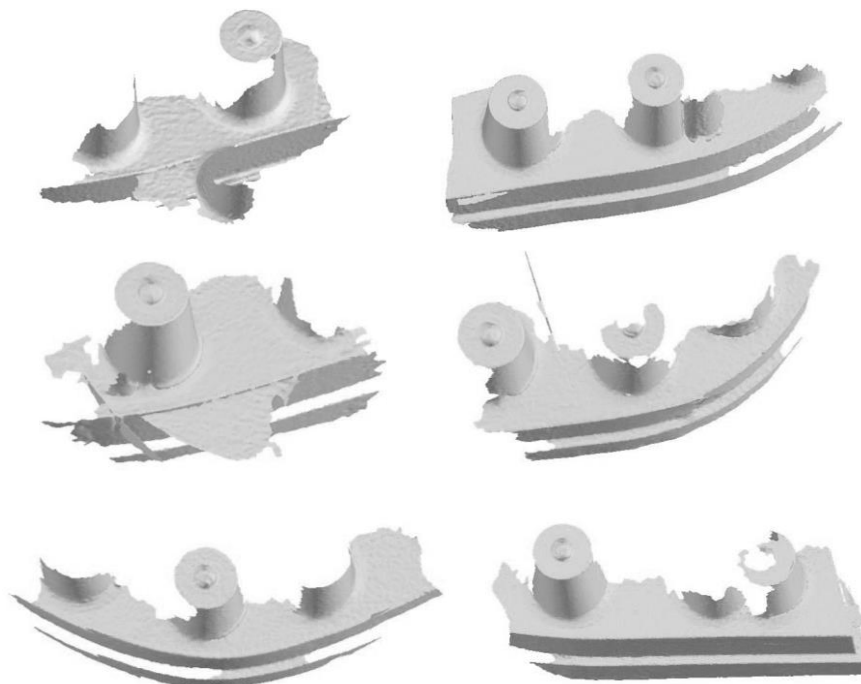
4.5. Provedba skeniranja

Budući da se svi skenovi uspoređuju s referentnim skenom te da se istraživanjem ne utvrđuje preciznost referentnog skenera snimljen je samo po jedan sken modela 1 i modela 2, kao i u

provedenim studijama [12], [14], [17]. Prije skeniranja, izvršena je kalibracija *Atos Core* skenera prema standardu *VDI/VDIE 2634 Part 3* [26] kojim su ustanovljene sljedeće greške: 0,001 mm *probing error (sigma)*; -0,005 mm *probing error (size)*; 0,005 mm *sphere spacing error*; 0,006 mm *length measurement error*. Ovim procesom identificirane su navedene pozicije kamera i projektora, s ciljem vraćanja u nulti položaj. Kalibracija je vršena pomoću kalibracijske pločice *GOM Type CPI40-170-40288*.

Skeneri za usporedbu također su kalibrirani pripadajućim pločicama proizvođača skenera prije skeniranja prvog skena. Svakim skenerom snimljeno uzastopce je po trideset skenova modela 1 i po trideset skenova modela 2 jer se prema ISO standardu treba provesti mjerenje po trideset puta pri istim uvjetima kako bi se mogla provesti pravilna procjena preciznosti [28]. Opcija ručnog zakreta pločica kod ekstraoralnih skenera u svrhu dohvata neskeniranih područja nije korištena – kako bi svi skenovi bili snimljeni pod istim okolnostima. Nadalje, na modelu nije korišten sublimacijski sprej koji služi za smanjenje refleksija sjajnih materijala. Naime, njegovom primjenom mijenja se prekrivena površina modela jer sprej dodaje određenu debljinu i ne može biti jednoliko raspršen što može nepovoljno utjecati na rezultate [43].

Uslijed skeniranja modela 1 skenerom *Dental Wings Intraoral Scanner (DWIO)*, nisu dobiveni reprezentativni skenovi koji nalikuju modelu (Slika 10). Razlog tomu je vrlo jednostavna geometrija modela, koja je prilikom skeniranja u softveru uređaja uzrokovala nepravilna spajanja slika.

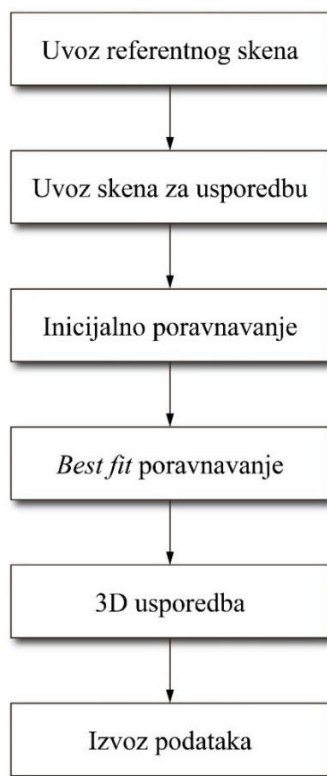


Slika 10. Skenovi modela 1 skeniranog DWIO skenerom

4.6. Usporedba skenova

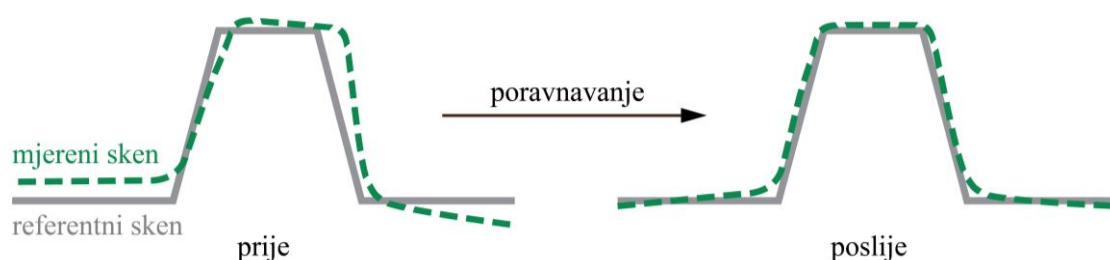
Vrijednosti devijacija za procjenu vjerodostojnosti i preciznosti skenera dobivene se usporedbom referentnih skenova sa skenovima za usporedbu. Za usporedbe je korišten računalni alat *Geomagic Control X*. Ovaj softver namijenjen je za 3D kontrolu kvalitete proizvoda, a budući da omogućava usporedbu skenova, njegove razne inačice upotrebljavane su u provedenim studijama [12]–[14], [17]–[19], [26], [29], [30].

U ovom istraživanju provedena je usporedba referentnog skena modela 1 sa skenovima modela 1 dobivenim upotrebom skenera UP360, UP300 i DWS3 ($N = 90$) te referentnog skena modela 2 sa skenovima modela 2 dobivenim upotrebom skenera UP360, UP300, DWS3 i DWIO ($N = 120$). Sve usporedbe provedene su na isti način, a postupak provedbe usporedbi skenova u računalnom alatu *Geomagic Control X* prikazan je na slici 11 te je objašnjen u ovom poglavlju.



Slika 11. Provedba usporedbe u računalnom alatu *Geomagic Control X*

U računalni alat uvezeni su referentni sken te sken za usporedbu u *stl* formatu. Prema preporuci proizvođača softvera prvo je provedeno inicijalno poravnavanje kako bi se mjereni sken poravnao na referentni model, a zatim *best fit* poravnavanje, kako bi se mjereni sken pouzdanije preklopio preko referentnog (Slika 12).



Slika 12. Best fit poravnavanje mjenenog skena po referentnom skenu

U oba slučaja poravnavanja *Geomagic Control X* koristi *best fit* metodu, samo se ona kod inicijalnog poravnavanja provodi ugrubo, tj. s manjim brojem iteracija. Za provedbu metode softver koristi ICP (eng. *Iterative Closest Point*) algoritam koji uvezene skenove promatra kao skupove točaka te ih uparuje kroz nekoliko koraka [44].

Koraci u ICP algoritmu su sljedeći [45]:

- Svaka točka iz skupa točaka mjenenog skena uparuje se s najbližom točkom iz skupa točaka referentnog skena;
- Procjenjuje se kombinacija rotacije i translacije korištenjem tehnike minimiziranja RMS vrijednosti udaljenosti od točke mjenenog skena do točke referentnog skena;
- Točke mjenenog skena transliraju se i rotiraju prema vrijednostima određenim u prethodnom koraku;
- Postupak se iterira dok se ne dosegne zadan broj iteracija.

U ovom radu, tijekom *best fit* poravnavanja uspoređene su sve mjerene točke (100%). Iteracija je provedena 100 puta jer je prethodno provedenom analizom parametara utvrđeno da za taj iznos vrijednosti konvergiraju. Maksimalna prosječna devijacija iznosila je 0,001 mm, kako je definirano u provedenim studijama [12], [17], [18], [26].

Nakon *best fit* poravnavanja provedena je 3D usporedba svih točaka iz mjenenog skupa (100%) što znači da je za svaki vrh mjenenog skena (koji sadrži n točaka) izračunata vrijednost devijacije. Postupak ove usporedbe opisan je pomoću slike 13. Na slici su prikazane po četiri točke iz skupa točaka mjenenog skena (zelene točke) i po četiri točke iz skupa točaka referentnog skena (sive točke). Svaka mjerena točka, definirana izmjerenom pozicijom $P_m = \langle x_m, y_m, z_m \rangle$, povezana je sa svojim dvojnikom iz referentnog oblaka, definiranim referentnom pozicijom $P_r = \langle x_r, y_r, z_r \rangle$. Dvojnik mjerene točke određen je njenim smjerom

projekcije na referentni sken (u ovom slučaju najkraćom projekcijom). Između izmjerene pozicije i referentne pozicije izračunava se vektor prema izrazu:

$$GV = \langle x_m - x_r, y_m - y_r, z_m - z_r \rangle \quad (4.1)$$

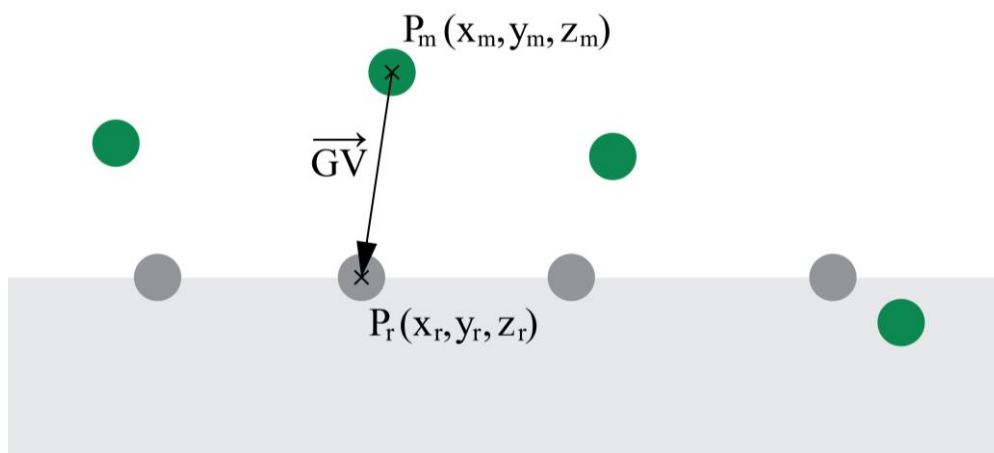
Gdje je GV vektor, x_m , y_m i z_m su koordinate mjerene točke, a x_r , y_r i z_r su koordinate referentne točke.

Vektor se konvertira u skalar prema izrazu:

$$D_i = \sqrt{GV_x^2 + GV_y^2 + GV_z^2}. \quad (4.2)$$

Gdje D_i predstavlja devijaciju te mjerene točke, a GV_x , GV_y i GV_z projekcije vektora GV po koordinatnim osima.

Vrijednost devijacije dobiva predznak ovisno o tome s koje strane referentnog skena se točka nalazi. Ukoliko je mjerena točka iznad vanjske površine skena vrijednost devijacija dobiva pozitivan predznak (bijelo područje), a u suprotnom dobiva negativan predznak (sivo područje). Na ovoj ilustraciji prve tri zelene točke, gledajući s lijeva na desno, imaju pozitivne devijacije, a četvrta točka ima negativnu devijaciju.



Slika 13. Ilustracija pozicija mjerenih i referentnih točaka

Prema devijacijama svim mjerenih točaka jednog skena u računalnom alatu se izračunavaju sljedeće vrijednosti za svaku usporedbu: maksimum, minimum, ukupni prosjek, prosjek pozitivnih devijacija, prosjek negativnih devijacija, RMS, standardna devijacija i varijanca. Ove vrijednosti, uz referentne i izmjerene pozicije te devijacije svih točaka dobivene su kao izlazni podaci iz računalnog alata (Tablica 4). Navedene vrijednosti potrebno je promotriti u kontekstu vjerodostojnosti i preciznosti te prema tome provesti analizu. Analiza prikupljenih podataka prikazana je u sljedećem poglavlju.

Tablica 4. Broj usporedbi i mjerenih točaka

| | Model 1 | | | Model 2 | | | |
|----------------------|---------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|
| skener | UP360 | UP300 | DWS3 | UP360 | UP300 | DWS3 | DWIO |
| broj usporedbi | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| broj mjerenih točaka | 46253 | 46253 | 46253 | 67189 | 67189 | 67189 | 67189 |

5. Analiza prikupljenih podataka

Podaci dobiveni usporedbom skenova u računalnom alatu *Geomagic Control X* podijeljeni su u dvije glavne skupine, s obzirom na skenove modela 1 i modela 2. Unutar tih skupina podaci su podijeljeni ovisno o skenerima (Tablica 4). Za sve provedene usporedbe ($N = 210$) dobivene su devijacije točaka skenova za usporedbu te su u računalnom alatu izračunate vrijednosti: maksimum, minimum, ukupni prosjek, prosjek pozitivnih devijacija, prosjek negativnih devijacija, RMS, standardna devijacija i varijanca. Ove vrijednosti prvo će se opisati, a zatim će se promotriti u kontekstu vjerodostojnosti i preciznosti te će se odrediti koje vrijednosti će biti detaljno analizirane u ovom poglavlju.

5.1. Opis dobivenih vrijednosti

Primjeri maksimuma, minimuma, ukupnog prosjeka te prosjeka pozitivnih devijacija i prosjeka negativnih devijacija prikazani su na slici 14. Na ilustraciji su sivim točkama predočene devijacije mjerenog skena, a crnom linijom razina površine referentnog skena. Razina najveće devijacije točke s pozitivne strane vanjske referentne površine označena je crvenom bojom i predstavlja maksimum. Sa suprotne strane vanjske površine referentnog skena označena je najveća devijacija točke s te (negativne) strane tj. razina minimuma (tamno plava linija). Ovim vrijednostima iskazane su najveće greške skeniranog modela, ovisno o tome s koje strane referentne površine se nalaze. Ukupni prosjek prikazan je zelenom linijom, a izračunat je prema izrazu:

$$A_{uk} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n D_i \quad (5.1)$$

Dakle, ukupni prosjek A_{uk} predstavlja aritmetičku sredinu svih n promatranih točaka. Pritom je iznos devijacije i -te točke označen s D_i .

Prosjek svih pozitivnih devijacija naziva se pozitivan prosjek i označen je žutom linijom. Izračunava se prema izrazu:

$$A_{poz} = \frac{1}{n_+} \sum_{i=1}^{n_+} D_i \text{ za } D_i > 0 \quad (5.2)$$

Drugim riječima, A_{poz} predstavlja pozitivan prosjek koji je aritmetička sredina n_+ promatranih točaka za koje je iznos devijacija veći od nule.

Analogno tome, označen je svjetlo plavom linijom prosjek negativnih devijacija, tj. negativan prosjek te je izračunat prema izrazu:

$$A_{neg} = \frac{1}{n_-} \sum_{i=1}^{n_-} D_i \text{ za } D_i < 0 \quad (5.3)$$

Negativan prosjek A_{neg} predstavlja aritmetičku sredinu n_- promatranih točaka za koje je iznos devijacija manji od nule.

Uz navedene vrijednosti dobivena je RMS vrijednost koja predstavlja magnitudu svih devijacija prema izrazu:

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n D_i^2} \quad (5.4)$$

Dakle, RMS je korijen srednje kvadratne pogreške za svih n promatranih točaka s iznosima devijacija $D_i, \forall i \in \{1, 2, \dots, n\}$.

Standardna devijacija ukazuje na to koliko su devijacije raspršene od prosjeka, a izračunava se prema izrazu:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (D_i - A_{uk})^2} \quad (5.5)$$

Prema tome, σ označava standardnu devijaciju razlika devijacija pojedine točke ($D_i, \forall i \in \{1, 2, \dots, n\}$) i ukupnog prosjeka A_{uk} za n promatranih točaka.

Varijanca je kvadratna vrijednost standardne devijacije, koja se izračunava prema izrazu:

$$Var = \sigma^2 \quad (5.6)$$

Drugim riječima, Var označava varijancu, a σ standardnu devijaciju.

Navedene vrijednosti potrebno je promotriti u kontekstu vjerodostojnosti i preciznosti. Maksimum i minimum predstavljaju najveće greške skenera i time ukazuju na najlošiju vjerodostojnost pojedinih točki unutar skena. Pozitivni i negativni prosjeci daju uvid u vjerodostojnost skenera s obzirom na njegovu sklonost stvaranju grešaka s pozitivne ili negativne strane referentne površine. Sukladno tomu, ukupni prosjek ukazuje na to prevladavaju li u skenu pozitivne ili negativne devijacije. On ovisi o predznacima devijacija, pa prilikom izračuna dolazi do njihovog međusobnog poništavanja. Stoga, ukupni prosjek ne može biti relevantan pokazatelj vjerodostojnosti. S druge strane, prilikom izračuna vrijednosti

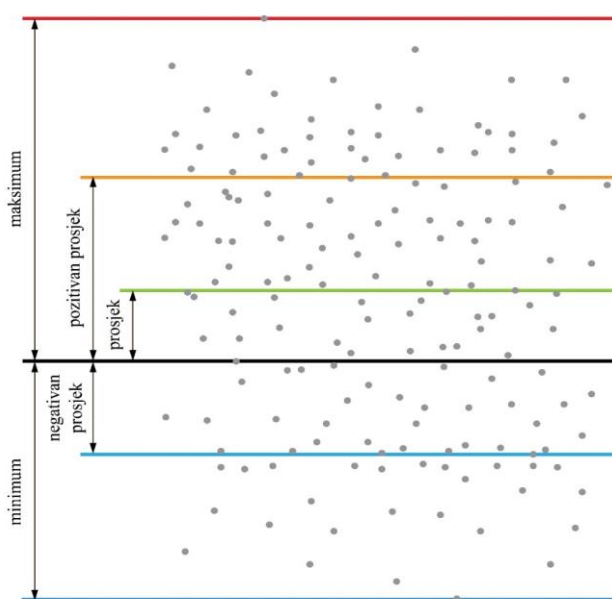
RMS obuhvaćane su pozitivne i negativne devijacije te su kvadrirane. Dakle, kod vrijednosti RMS predznaci ne utječu na rezultate, pa se ona smatra relevantnim pokazateljem vjerodostojnosti. Kao takva, koristi se u istraživanjima za procjenu vjerodostojnosti skenera [12], [19], [26]. Standardna devijacija, ukazuje na preciznost unutar skena jednog skenera te se u svrhu njene procjene koristi u istraživanjima [13], [15], [18], [19], [27]. Budući da je varijanca samo kvadrat standardne devijacije, smatra se redundantom za daljnju analizu.

Za procjenu vjerodostojnosti izračunat će se i prosjek apsolutnih devijacija, s obzirom na to da je i na taj način provedena procjena vjerodostojnosti u studijama [14]–[16], [18], [27]. Izraz za prosjek apsolutnih devijacija računa se prema:

$$A_{aps} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |D_i| \quad (5.7)$$

gdje je A_{aps} je prosjek svih apsolutnih devijacija, n broj promatranih točaka, a D_i devijacija i -te točke.

Preciznost će se u ovom radu promatrati na dva načina. Promatrat će se u smislu *varijabilnosti* unutar skena te će se u tu svrhu analizirati spomenute dobivene vrijednosti standardnih devijacija za svaki skener. Time će se promatrati raspršenost točaka pojedinih skenova [18], [19]. *Varijabilnost* između skenova pojedinih skenera komentirat će se na temelju standardnih devijacija vrijednosti RMS i prosjeka apsolutnih devijacija. Uz navedeno, provest će se i statistički test u svrhu usporedbe devijacija svih snimljenih točaka za 30 skenova unutar grupe jednog skenera. Također, prikazat će se distribucija devijacija po modelu za skenove s najmanjim i najvećim iznosima vjerodostojnosti kod pojedinog skenera.



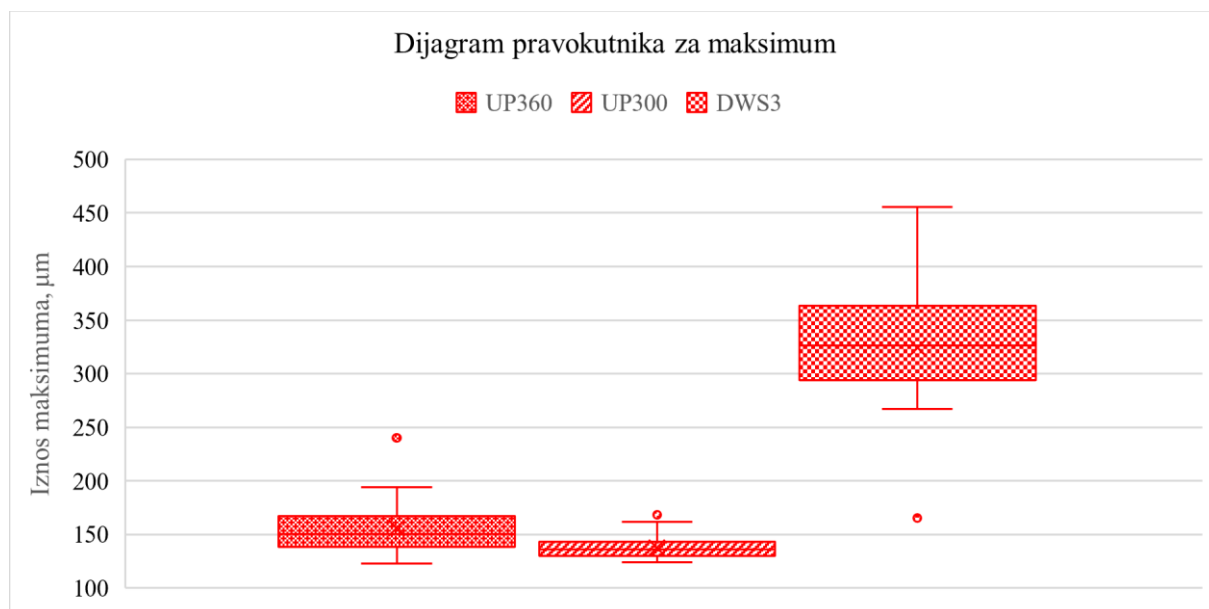
Slika 14. Ilustracija maksimuma, minimuma i prosjeka

5.2. Model 1

Provedena je analiza odabranih podataka za skenove modela pojednostavljene bezube čeljusti s upornjacima za ekstraoralne skenere UP300, UP360 i Dental Wings 3Series (DWS3). Za svaki sken pojedinog skenera izdvojene su vrijednosti maksimuma, minimuma, pozitivnog prosjeka, negativnog prosjeka, RMS, standardne devijacije te prosjeka apsolutnih devijacija. Kako bi se agregirali podaci za svaku mjeru (maksimum, minimum, pozitivan prosjek, negativan prosjek, ukupni prosjek, RMS, prosjek standardnih devijacija i prosjek apsolutnih devijacija) izračunate su vrijednosti aritmetičke sredine, medijana, standardne devijacije i raspona. Navedene izračunate vrijednosti prikazane su u tablicama. Grafički je prikazana distribucija rezultata svih skenova, a dijagramom pravokutnika prikazani su medijani i raspon rezultata. Za provjeru značajnosti razlika rezultata između skenera UP360, UP300 i DWS3 korišteni su testovi inferencijalne statistike, a analiza je provedena u statističkom paketu *R studio*. Prvo je proveden *Shapiro-Wilk* test kako bi se provjerila normalnost distribucija. U slučaju da test nije ukazao na značajno odstupanje podataka od normalne razdiobe, proveden je *Levine* test za testiranje pretpostavke homogenosti varijanci. Ako *Levenov* test nije ukazao na značajno odstupanje od pretpostavke homogenosti varijanci korišten je *ANOVA* test za generalnu značajnost razlika, a za pregled značajnih razlika između parova skenera korišten je *Tukey* test. Kada pretpostavke normalnosti distribucija i homogenosti varijance nisu bile zadovoljene, korišten je *Kruskal-Wallis* test pa *Mann-Whitney-Wilcoxon* test uz *Holm* korekciju za višestruke usporedbe. Za varijabilnost je na kraju poglavlja proveden *Friedman* test u svrhu usporedbe devijacija svih snimljenih točaka. Kako bi se ustanovila magnituda razlika provedena je post-hoc *Kendall W* analiza. Konačno, značajnost razlika među parovima skenova pojedinog skenera utvrđena je provedbom *Wilcoxon signed-rank* testa za svaki par skenova, pri čemu je korištena *Bonferroni* korekcija za višestruke usporedbe. Naposljetku su prikazane i komentirane distribucije devijacija po modelu s obzirom na skenove s najnižim i najvišim iznosom vjerodostojnosti.

5.2.1. Maksimum

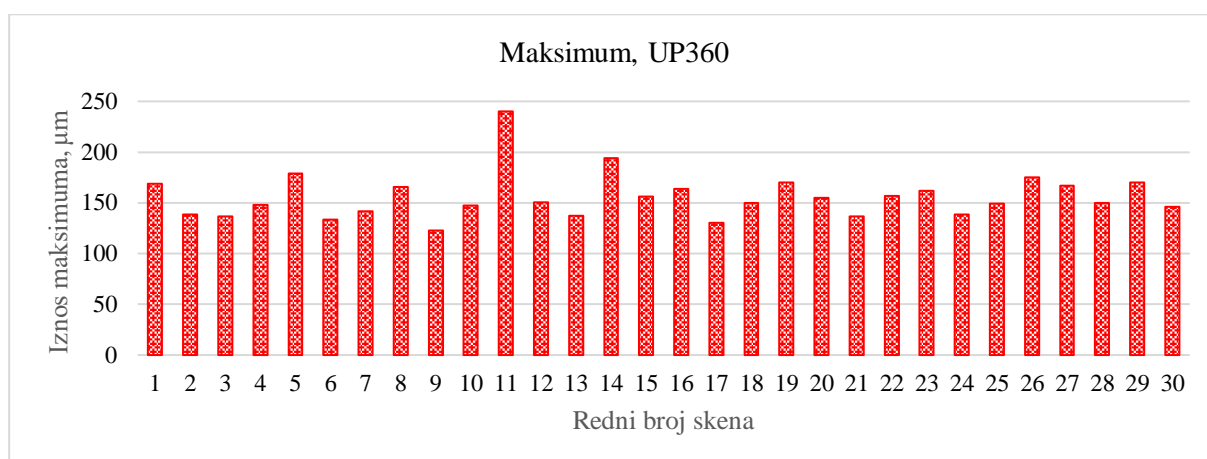
Na slici 15 prikazan je dijagram pravokutnika rezultata maksimuma za odabrane skenere. Rezultati svih snimljenih skenova pojedinog skenera uzeti su u obzir ($N = 30$) te su u tablici 5 ispisani iznosi aritmetičke sredine, standardne devijacije, medijana te minimalne i maksimalne vrijednosti maksimuma. Grafovima je prikazana distribucija rezultata maksimuma dobivenih usporedbom skenova za usporedbu s referentnim skenom (Slika 16, Slika 17 i Slika 18). Skener UP300 postigao je najniže iznose aritmetičke sredine, standardne devijacije, medijana i maksimalne vrijednosti. Međutim, skener UP360 postigao je najnižu vrijednost maksimuma za sken 9 (122,76 μm), što znači da je jedan ili više skenova skenera UP360 postiglo manje iznose maksimalne devijacije u odnosu na UP300. Iz grafa (Slika 16) uočava se da većina rezultata maksimuma za UP360 varira između 122,76 i 193,76 μm , dok sken 11 ima nešto veći iznos (240, 24 μm). Rezultati grafa za skener UP300 (Slika 17) variraju između 123,88 (sken 18) i 168, 12 μm (sken 8). Skener DWS3 postigao je najviše iznose i najveći raspon rezultata. Oni variraju između 266,94 i 400,07 μm (Slika 18), s jednim nižim iznosom – sken 4 (168,12 μm) i jednim višim iznosom – sken 1 (455,50 μm).



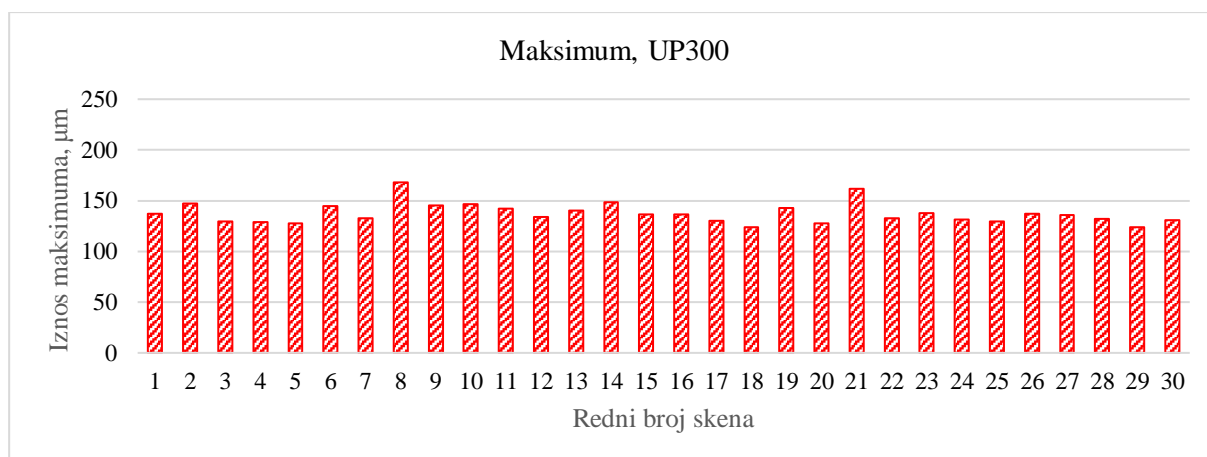
Slika 15. Dijagram pravokutnika za maksimum

Tablica 5. Rezultati za maksimum, μm

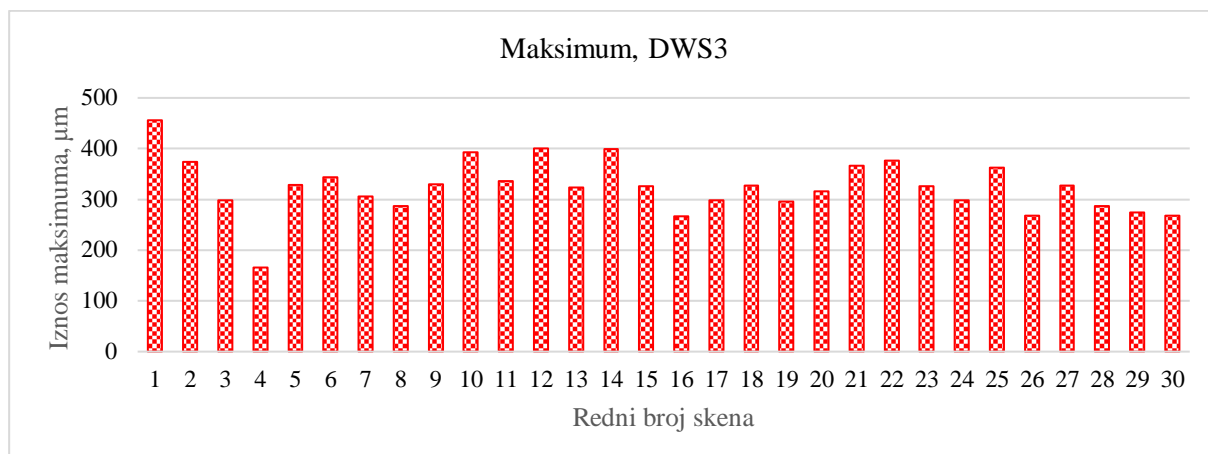
| | Aritmetička sredina | Standardna devijacija | Medijan | Minimalna vrijednost | Maksimalna vrijednost |
|--------------|---------------------|-----------------------|---------|----------------------|-----------------------|
| UP360 | 155,98 | 22,63 | 150,06 | 122,76 | 240,24 |
| UP300 | 137,44 | 10,14 | 136,03 | 123,88 | 168,12 |
| DWS3 | 324,05 | 54,39 | 326,12 | 165,41 | 455,50 |



Slika 16. Maksimum skenova, UP360



Slika 17. Maksimum skenova, UP300



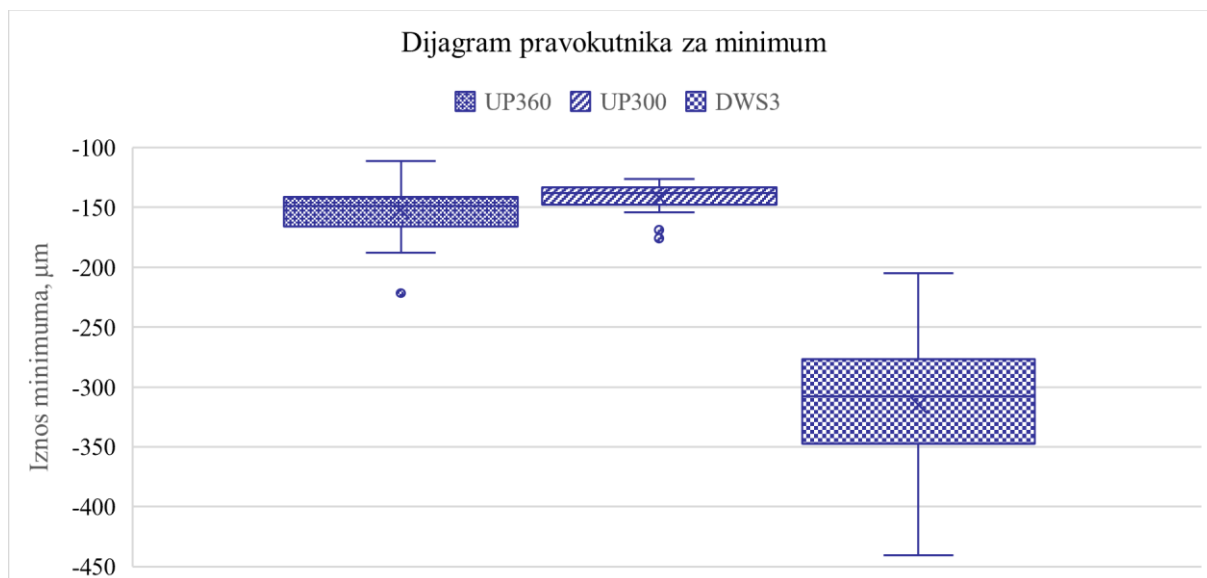
Slika 18. Maksimum skenova, DWS3

Shapiro-Wilk test pokazao je značajna odstupanja rezultata od normalnih distribucija za skenere UP360 ($p = 0,0011$) i UP300 ($p = 0,0062$). Za skener DWS3 ($p = 0,2134$) nisu utvrđena značajna odstupanja. Kruskal-Wallis testom ustanovljeno je da postoje statistički značajne razlike između uspoređivanih skenera ($p < 0,001$). Naposljetku, Mann-Whitney-Wilcoxon test za višestruke usporedbe pokazao je značajne razlike između svih parova skenera ($p < 0,001$).

5.2.2. Minimum

Slika 19 prikazuje dijagram pravokutnika rezultata minimuma za sve skenere. Rezultati svih snimljenih skenova ($N = 30$) pojedinog skenera uzeti su u obzir. U tablici 6 ispisani su iznosi aritmetičke sredine, standardne devijacije, medijana te minimalne i maksimalne vrijednosti minimuma. Grafovima je prikazana distribucija rezultata minimuma dobivenih usporedbom skenova s referentnim skenom (Slika 20, Slika 21 i Slika 22). Skener UP300 postigao je najniže iznose aritmetičke sredine, standardne devijacije, medijana i maksimalne vrijednosti. Pritom se najnižim iznosom naziva onaj iznos čija je apsolutna vrijednost najmanja. Skener UP360 postigao je najniži iznos minimuma za sken 24 ($-111,27 \mu\text{m}$). Budući da najniži iznos minimuma za skener UP300 iznosi $-126,11 \mu\text{m}$, primjećuje se da je u jednom ili više skenova skenera UP360 minimalna postignuta devijacija manja nego u skenovima skenera UP300. Iz grafa (Slika 20) uočava se da većina rezultata minimuma za UP360 varira između $-111,27$ i $-176,64 \mu\text{m}$, osim skenova 8 i 11 (najveći iznosa $-221,63 \mu\text{m}$). Rezultati za skener UP300 (Slika 21) variraju između, ponovno najnižeg, iznosa skena 18 ($-126,11 \mu\text{m}$) i najvećeg iznosa za sken

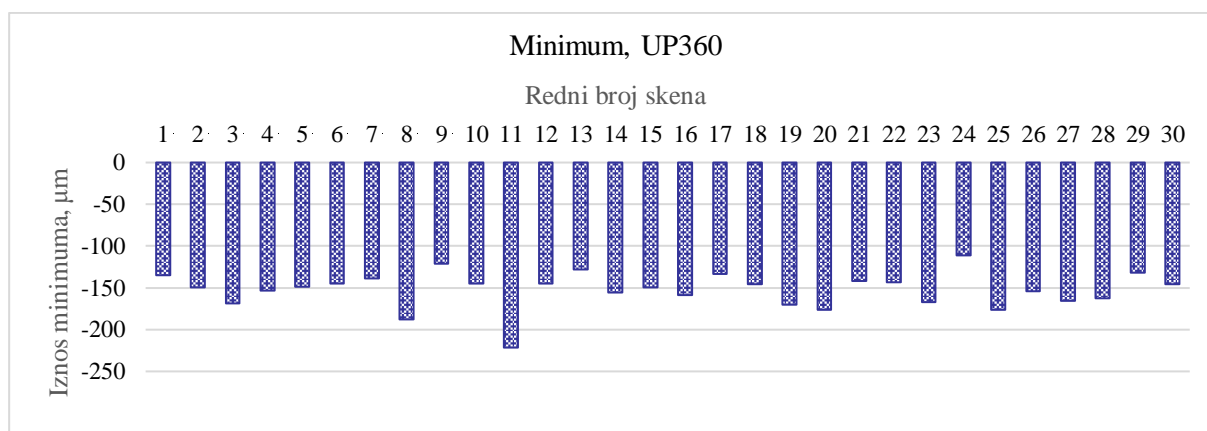
21 (-175,81 μm). Skener DWS3 postigao je najviše apsolutne iznose sa najvećim rasponom rezultata i u ovom slučaju. Oni variraju između -242,18 i -397,20 μm (Slika 22), s jednim nižim – ponovo sken 4 (-205,05 μm) i jednim višim iznosom – ponovo sken 1 (-440,66 μm).



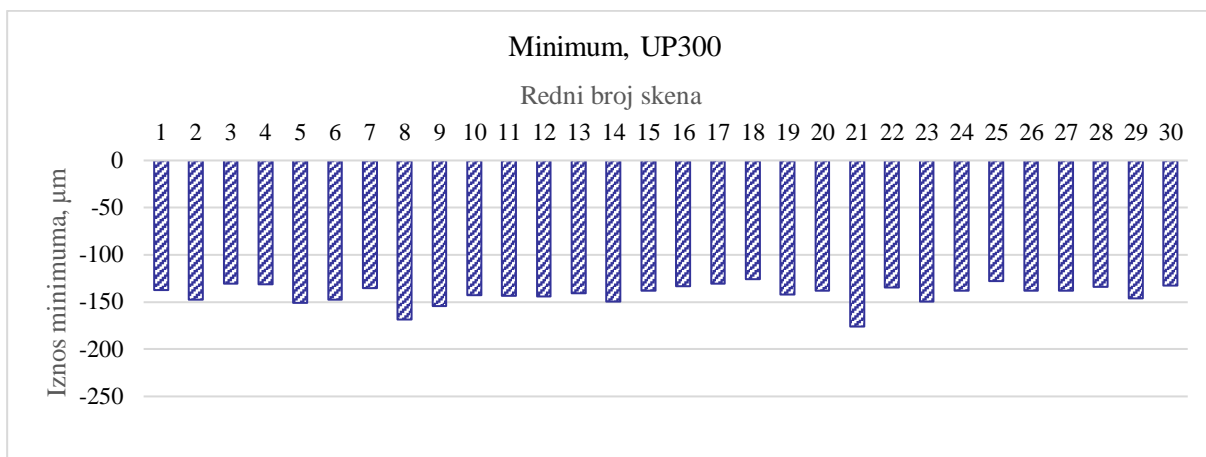
Slika 19. Dijagram pravokutnika za minimum

Tablica 6. Rezultati za minimum, μm

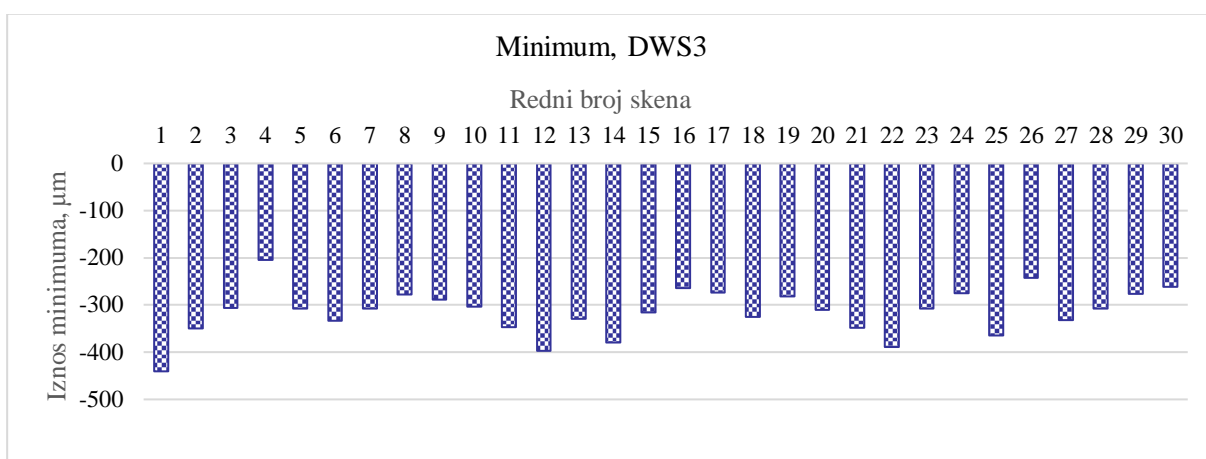
| | Aritmetička sredina | Standardna devijacija | Medijan | Minimalna vrijednost | Maksimalna vrijednost |
|--------------|---------------------|-----------------------|---------|----------------------|-----------------------|
| UP360 | -152,45 | 21,46 | -148,83 | -111,27 | -221,63 |
| UP300 | -141,52 | 11,09 | -138,04 | -126,11 | -175,81 |
| DWS3 | -314,89 | 49,25 | -307,50 | -205,05 | -440,66 |



Slika 20. Minimum skenova, UP360



Slika 21. Minimum skenova, UP300

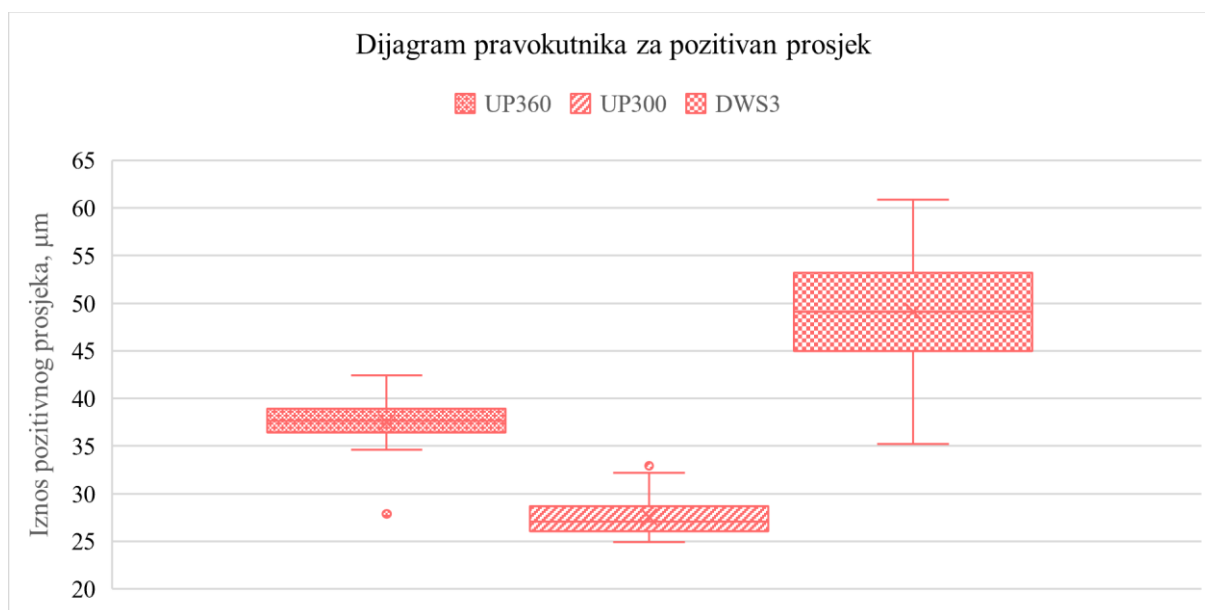


Slika 22. Minimum skenova, DWS3

Shapiro-Wilk test pokazao je značajna odstupanja rezultata od normalnih distribucija za skener UP300 ($p = 0,0053$). Za skener UP360 ($p = 0,0910$) i DWS3 ($p = 0,8226$) nisu utvrđena značajna odstupanja. Kruskal-Wallis testom ustanovljeno je da postoje statistički značajne razlike između uspoređivanih skenera ($p < 0,001$). Naposljetku, Mann-Whitney-Wilcoxon test za višestruke usporedbe pokazao je značajne razlike između parova skenera DWS3 sa UP360 i UP300 ($p < 0,001$) te između parova skenera UP300 i UP360 ($p = 0,001$).

5.2.3. Prosjek pozitivnih devijacija

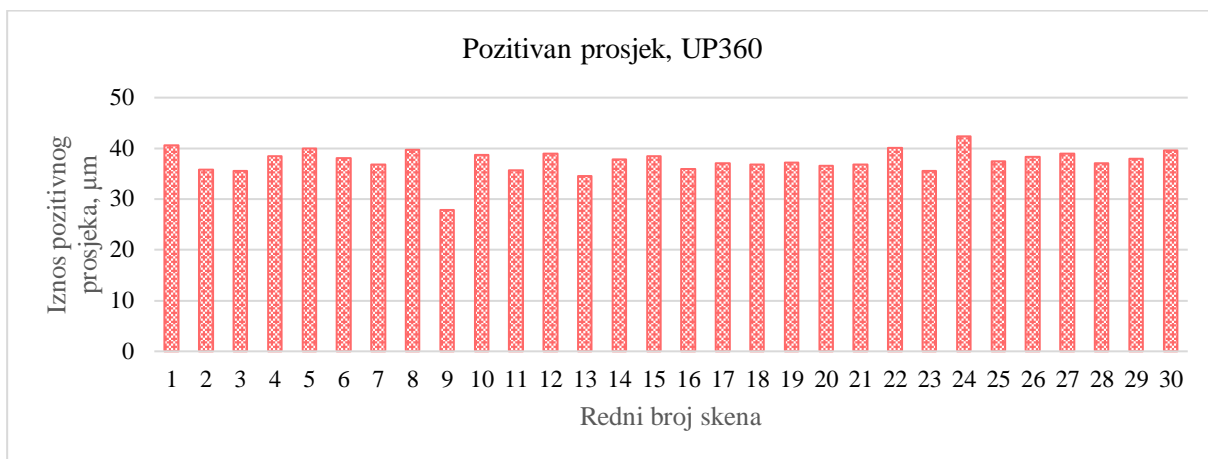
Dijagram pravokutnika na slici 23 prikazuje rezultate pozitivnih prosjeka za odabrane skenere. Pritom su rezultati svih snimljenih skenova pojedinog skenera ($N = 30$) uzeti u obzir te su u tablici 7 ispisani iznosi aritmetičke sredine, standardne devijacije, medijana te minimalne i maksimalne vrijednosti pozitivnog prosjeka. Na slikama je prikazana distribucija rezultata pozitivnih prosjeka dobivenih usporedbom skenova s referentnim skenom (Slika 24, Slika 25 i Slika 26). Skener UP300 postigao je najniže iznose, dok je skener DWS3 postigao najviše iznose svih vrijednosti. Kod skenera UP360 (Slika 24) minimalna vrijednost pozitivnog prosjeka izračunata je za sken 9 (27,89 μm). Maksimalna vrijednost izračunata je za sken 24 (42,41 μm), koji je imao najniži iznos minimuma. Rezultati skenera UP300 (Slika 25) variraju između minimalne vrijednosti za sken 4 (24,95 μm) i maksimalne vrijednosti za sken 9 (32,92 μm), a skenera DWS3 (Slika 26) između minimalne vrijednosti za sken 7 (35,21 μm) i maksimalne vrijednosti za sken 13 (60,88 μm).



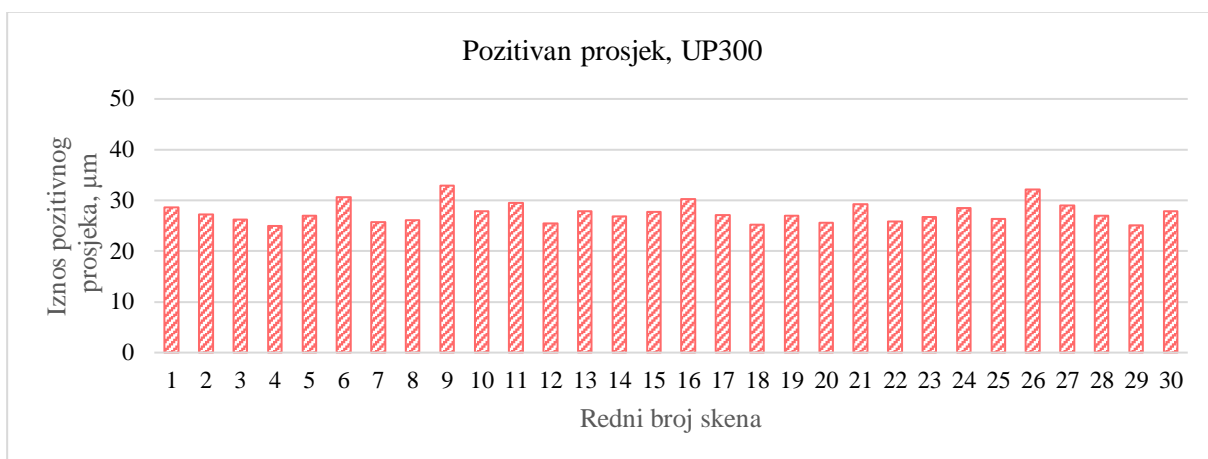
Slika 23. Dijagram pravokutnika za pozitivan prosjek

Tablica 7. Rezultati za pozitivan prosjek, μm

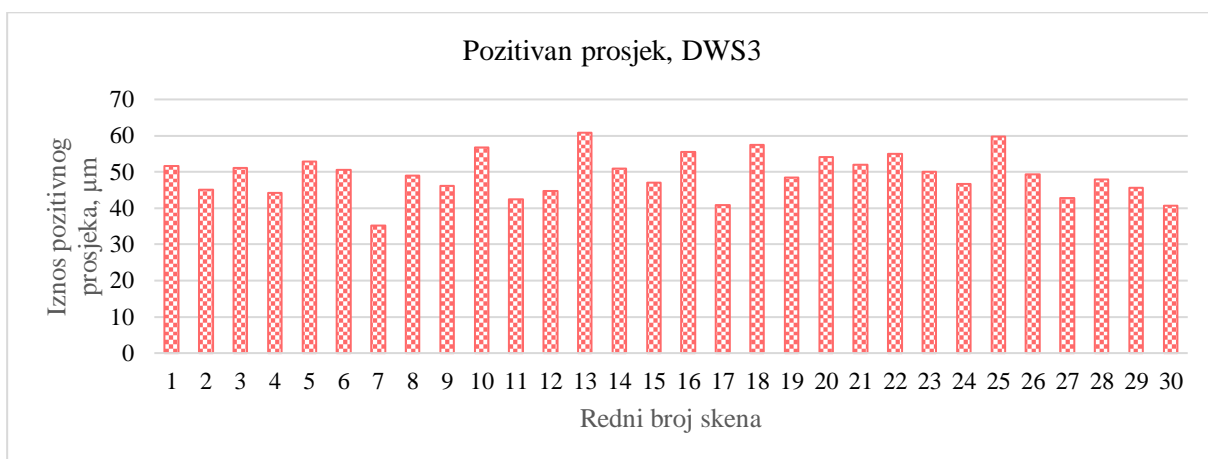
| | Aritmetička sredina | Standardna devijacija | Medijan | Minimalna vrijednost | Maksimalna vrijednost |
|--------------|---------------------|-----------------------|---------|----------------------|-----------------------|
| UP360 | 37,50 | 2,52 | 37,62 | 27,89 | 42,41 |
| UP300 | 27,58 | 1,29 | 27,05 | 24,95 | 32,92 |
| DWS3 | 49,15 | 5,97 | 49,10 | 35,21 | 60,88 |



Slika 24. Pozitivan prosjek skenova, UP360



Slika 25. Pozitivan prosjek skenova, UP300

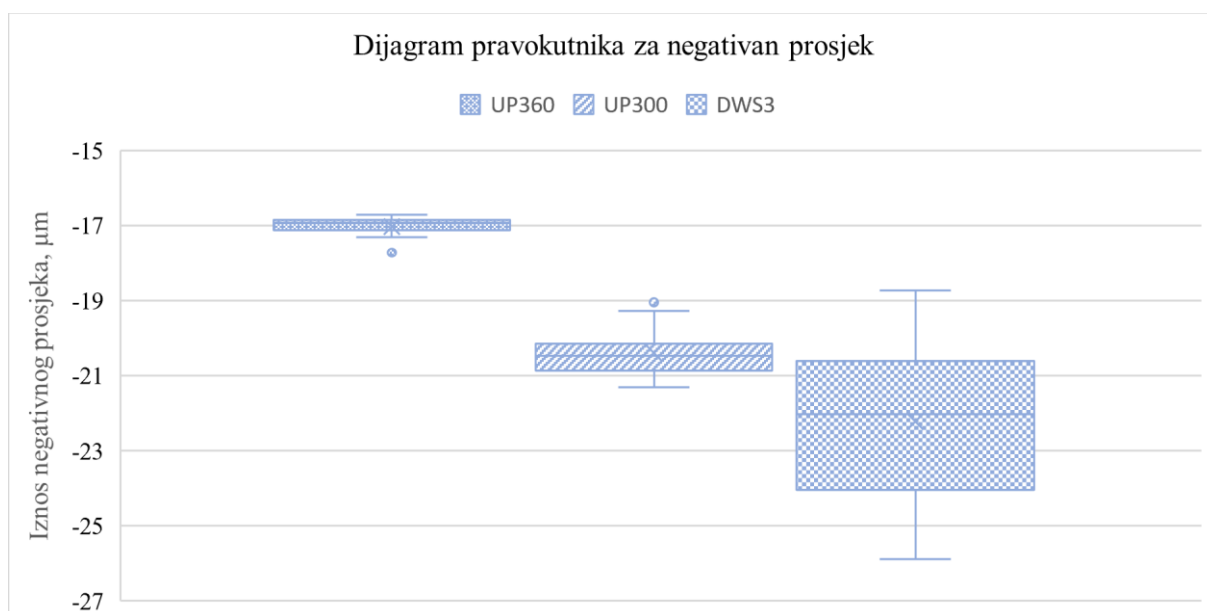


Slika 26. Pozitivan prosjek skenova, DWS3

Shapiro-Wilk test pokazao je značajna odstupanja rezultata od normalnih distribucija za skenere ($p = 0,0013$) i UP300 ($p = 0,0320$). Za skener DWS3 ($p = 0,9985$) nisu utvrđena značajna odstupanja. Kruskal-Wallis testom ustanovljeno je da postoje statistički značajne razlike između uspoređivanih skenera ($p < 0,001$). Naposljetku, Mann-Whitney-Wilcoxon test za višestruke usporedbe pokazao je značajne razlike između svih parova skenera ($p < 0,001$).

5.2.4. Prosjek negativnih devijacija

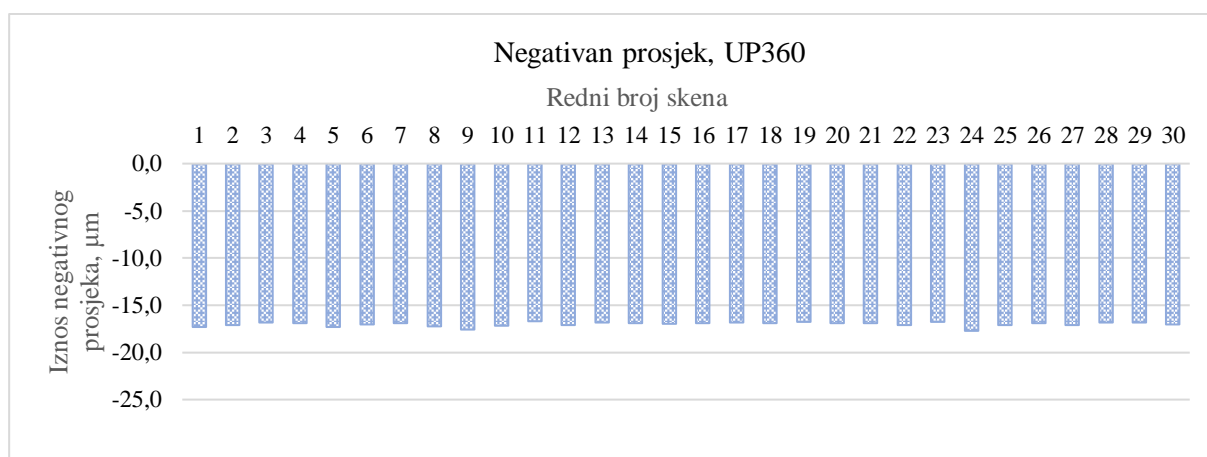
Rezultati negativnih prosjeka za odabrane skenere prikazani su dijagramom pravokutnika na slici 27. Rezultati svih snimljenih skenova pojedinog skenera ($N = 30$) uzeti su u obzir te su u tablici 8 ispisani iznosi aritmetičke sredine, standardne devijacije, medijana te minimalne i maksimalne vrijednosti negativnog prosjeka. Grafovima je prikazana distribucija rezultata negativnih prosjeka dobivenih usporedbom skenova s referentnim skenom (Slika 28, Slika 29 i Slika 30). U ovom slučaju, skener UP360 postigao je najniže iznose svih vrijednosti. Pritom se za najniži iznos označava onaj iznos čija je apsolutna vrijednost najmanja. Skener DWS3 postigao je najvišu apsolutnu aritmetičku sredinu, standardnu devijaciju, medijana i minimalnu vrijednost, dok je UP300 postigao najveću apsolutnu maksimalnu vrijednost. Skener UP360 (Slika 28) postigao je najniži iznos za sken 11 ($-16,67 \mu\text{m}$), koji ujedno ima najniže iznose minimuma i maksimuma, a najviši za sken 24 ($-17,6 \mu\text{m}$), koji ujedno ima najniži iznos pozitivnog prosjeka. Rezultati skenera UP300 (Slika 29) variraju između $-19,04 \mu\text{m}$, za sken 9 – koji ima najviši iznos pozitivnog prosjeka i $-21,32 \mu\text{m}$, za sken 3. Rezultati skenera DWS3 (Slika 30) su između $-18,72 \mu\text{m}$, za sken 7 – kojima i najniži iznos pozitivnog prosjeka i $-25,88 \mu\text{m}$, za sken 25.



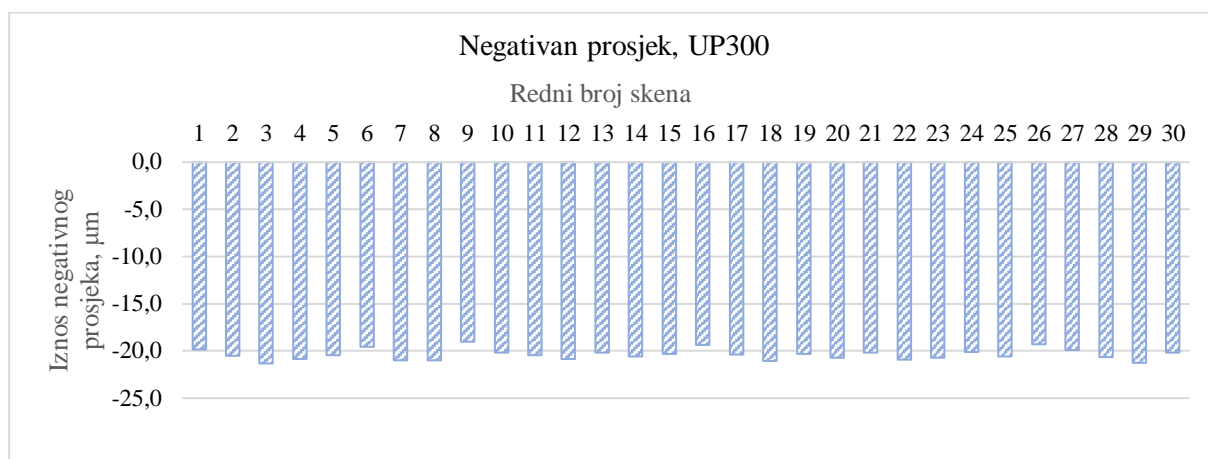
Slika 27. Dijagram pravokutnika za negativan prosjek

Tablica 8. Rezultati za negativan prosjek, μm

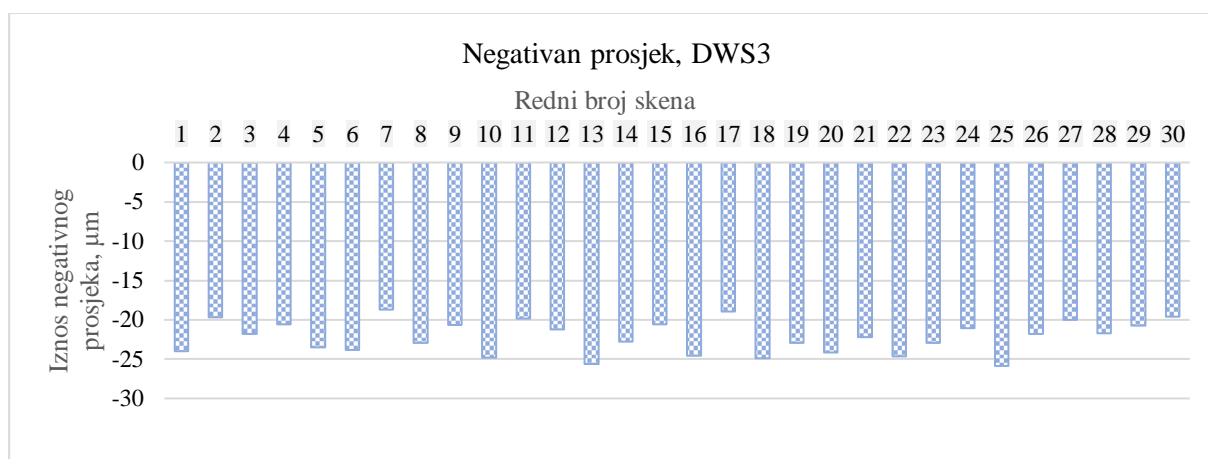
| | Aritmetička sredina | Standardna devijacija | Medijan | Minimalna vrijednost | Maksimalna vrijednost |
|--------------|---------------------|-----------------------|---------|----------------------|-----------------------|
| UP360 | -17,02 | 0,24 | -16,94 | -16,71 | -17,72 |
| UP300 | -20,40 | 0,57 | -20,46 | -19,04 | -21,32 |
| DWS3 | -22,23 | 2,06 | -22,03 | -18,72 | -25,88 |



Slika 28. Negativan prosjek skenova, UP360



Slika 29. Negativan prosjek skenova, UP300

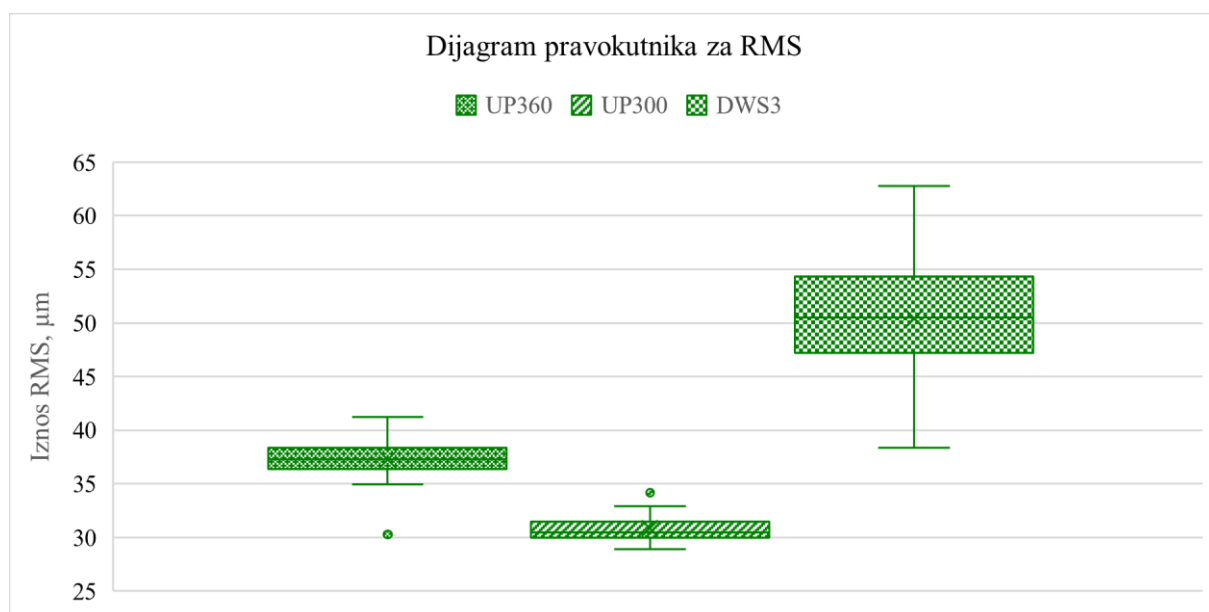


Slika 30. Negativan prosjek skenova, DWS3

Shapiro-Wilk test pokazao je značajna odstupanja rezultata od normalnih distribucija za skener UP360 ($p = 0,0032$). Za skenere UP300 ($p = 0,3727$) i DWS3 ($p = 0,3861$) nisu utvrđena značajna odstupanja. Kruskal-Wallis testom ustanovljeno je da postoje statistički značajne razlike između uspoređivanih skenera ($p < 0,001$). Naposljetku, Mann-Whitney-Wilcoxon test za višestruke usporedbe pokazao je značajne razlike između svih parova skenera ($p < 0,001$).

5.2.5. RMS

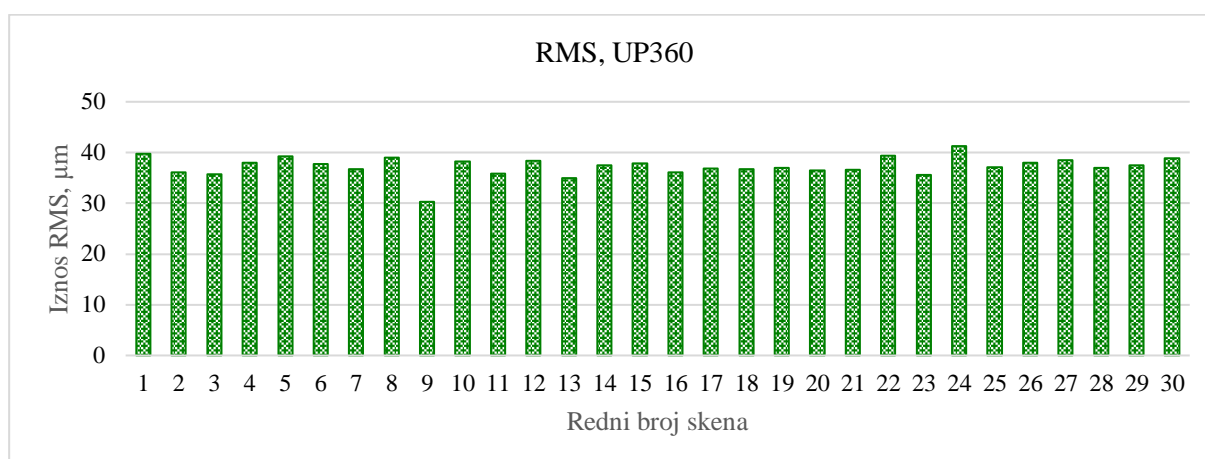
Slika 31 prikazuje dijagram pravokutnika rezultata RMS za odabrane skenere. Rezultati svih snimljenih skenova pojedinog skenera ($N = 30$) uzeti su u obzir te su u tablici 9 ispisani iznosi aritmetičke sredine, standardne devijacije, medijana te minimalne i maksimalne vrijednosti RMS. Slike (Slika 32, Slika 33 i Slika 34) prikazuju distribucije rezultata RMS dobivenih usporedbom skenova s referentnim skenom. Skener UP300 postigao je najniže iznose svih vrijednosti, dok je skener DWS3 postigao najviše iznose. Kod skenera UP360 (Slika 32) minimalna vrijednost RMS izračunata je za sken 9 ($30,28 \mu\text{m}$), a maksimalna za sken 24 ($41,25 \mu\text{m}$). Skenovi 9 i 24 također imaju najniži, odnosno najviši iznos rezultata pozitivnih prosjeka. Rezultati skenera UP300 (Slika 33) variraju između minimalne vrijednosti za sken 4 ($28,92 \mu\text{m}$) i maksimalne vrijednosti za sken 9 ($34,38 \mu\text{m}$), koji također imaju minimalne i maksimalne iznose za rezultate pozitivnih prosjeka. Rezultati skenera DWS3 (Slika 34) variraju između minimalne vrijednosti za sken 7 ($38,34 \mu\text{m}$) i maksimalne vrijednosti za sken 25 ($62,78 \mu\text{m}$). Ovi skenovi imaju minimalne i maksimalne iznose za rezultate negativnih prosjeka.



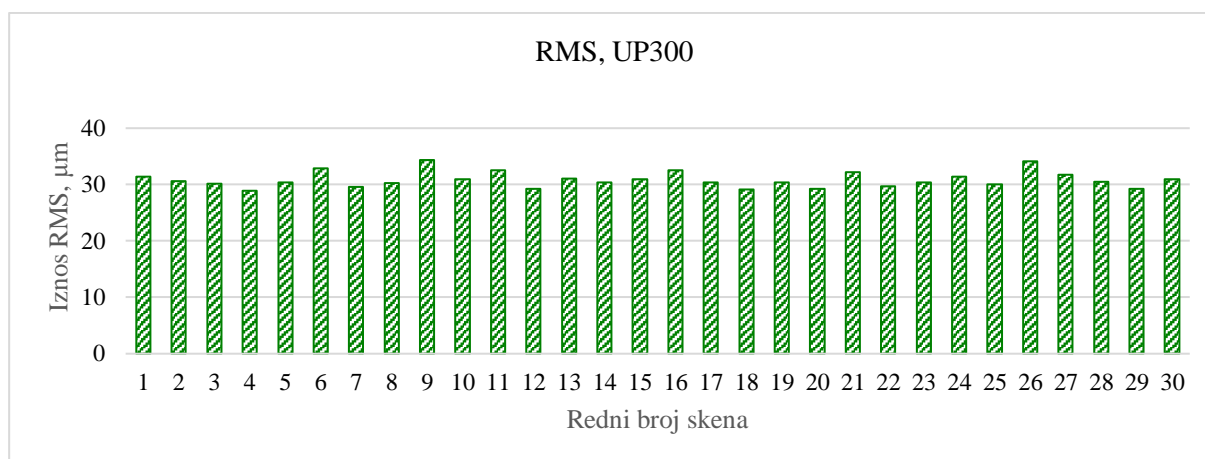
Slika 31. Dijagram pravokutnika za RMS

Tablica 9. Rezultati za negativan prosjek, μm

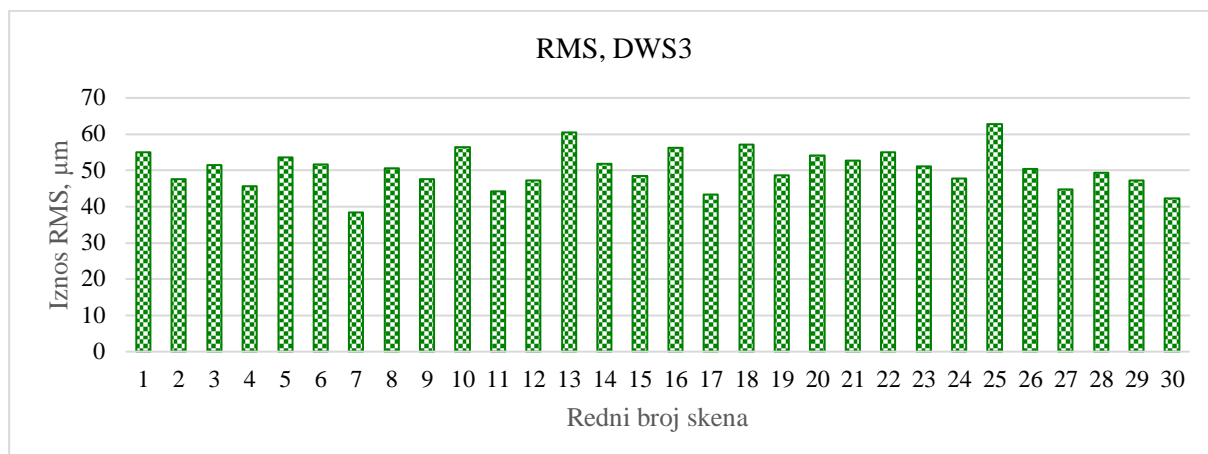
| | Aritmetička sredina | Standardna devijacija | Medijan | Minimalna vrijednost | Maksimalna vrijednost |
|--------------|---------------------|-----------------------|---------|----------------------|-----------------------|
| UP360 | 37,27 | 1,92 | 37,29 | 30,28 | 41,25 |
| UP300 | 30,85 | 1,39 | 30,45 | 28,92 | 34,15 |
| DWS3 | 50,43 | 5,42 | 50,50 | 38,34 | 62,78 |



Slika 32. RMS skenova, UP360



Slika 33. RMS skenova, UP300

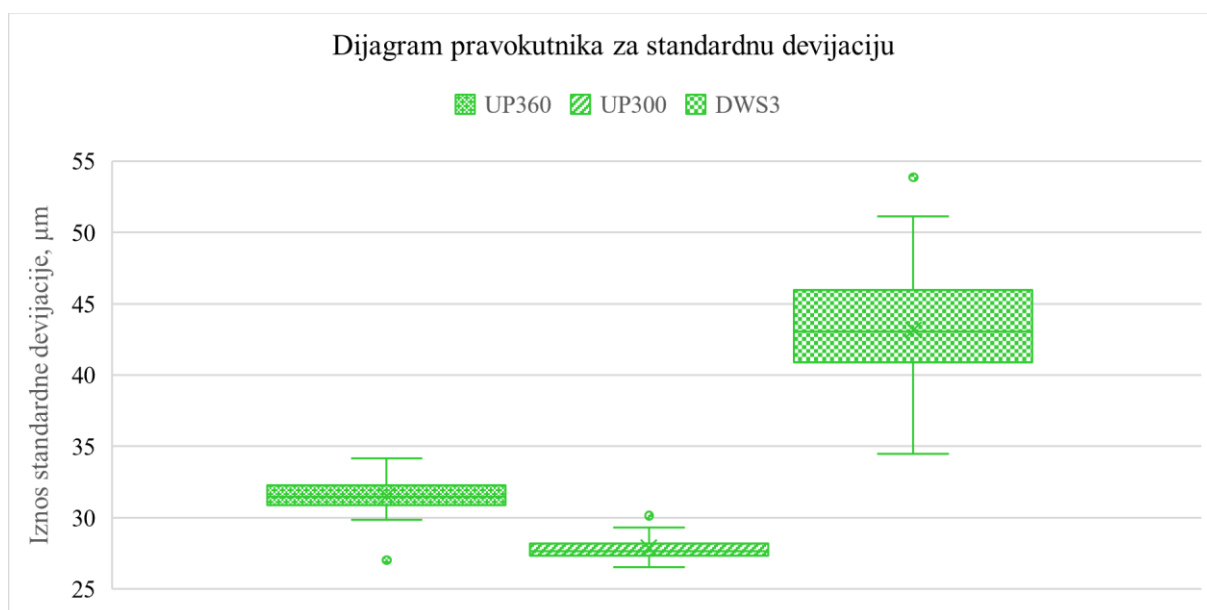


Slika 34. RMS skenova, DWS3

Shapiro-Wilk test pokazao je značajna odstupanja rezultata od normalnih distribucija za skener UP360 ($p = 0,0064$) i UP300 ($p = 0,0234$). Za skener DWS3 ($p = 0,9989$) nisu utvrđena značajna odstupanja. Kruskal-Wallis testom ustanovljeno je da postoje statistički značajne razlike između uspoređivanih skenera ($p < 0,001$). Naposljetku, Mann-Whitney-Wilcoxon test za višestruke usporedbe pokazao je značajne razlike između svih parova skenera ($p < 0,001$).

5.2.6. Standardna devijacija

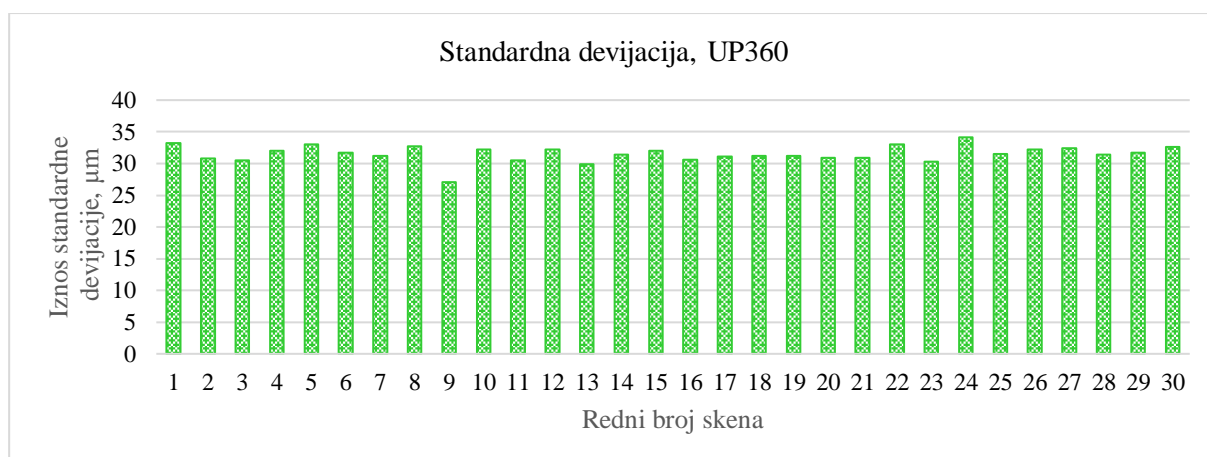
Rezultati standardnih devijacija za odabrane skenera dani su na slici 35. Rezultati svih snimljenih skenova pojedinog skenera ($N = 30$) uzeti su u obzir te su u tablici 10 ispisani iznosi aritmetičke sredine, standardne devijacije, medijana te minimalne i maksimalne vrijednosti standardnih devijacija. Grafovima je prikazana distribucija rezultata standardnih devijacija dobivenih usporedbom skenova s referentnim skenom (Slika 36, Slika 37 i Slika 38). Skener UP300 postigao je najniže iznose svih vrijednosti, dok je skener DWS3 postigao najviše iznose. Rezultati standardnih devijacija kreću se unutar raspona od 27,02 μm (sken 9) do 34,16 μm (sken 24) za UP360 (Slika 36); od 26,52 μm (sken 4) do 30,15 μm (sken 9) za UP300 (Slika 37); od 34,50 μm (sken 7) do 53,89 μm (sken 25) za DWS3 (Slika 38). Iz ovih rezultata može se uočiti da su skenovi koji su postigli najviše ili najniže iznose za vrijednost RMS, postigli i najviše, odnosno najniže iznose za standardnu devijaciju.



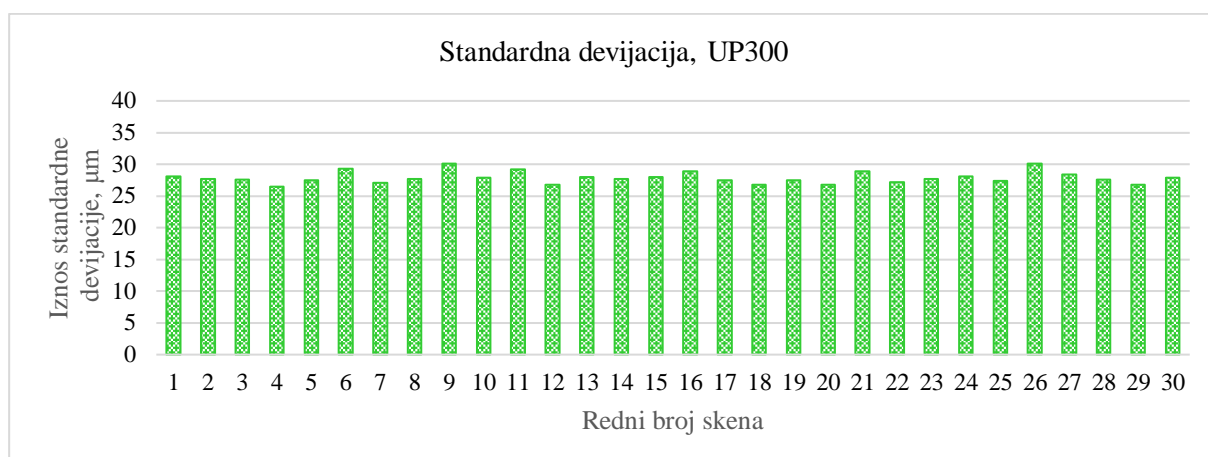
Slika 35. Dijagram pravokutnika za standardnu devijaciju

Tablica 10. Rezultati za standardnu devijaciju, µm

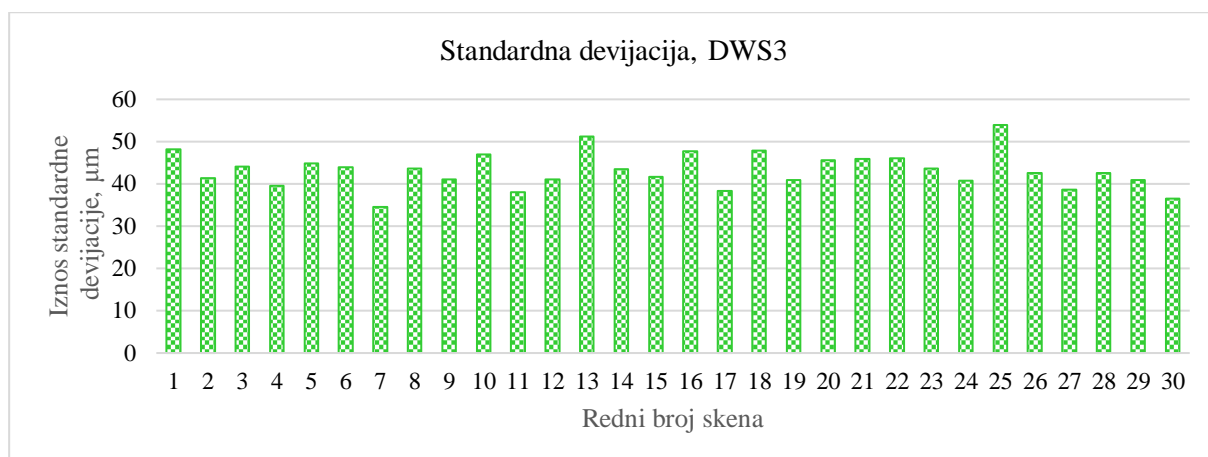
| | Aritmetička sredina | Standardna devijacija | Medijan | Minimalna vrijednost | Maksimalna vrijednost |
|--------------|---------------------|-----------------------|---------|----------------------|-----------------------|
| UP360 | 31,52 | 1,30 | 31,48 | 27,02 | 34,16 |
| UP300 | 27,89 | 0,93 | 27,67 | 26,52 | 30,15 |
| DWS3 | 43,18 | 4,25 | 43,04 | 34,50 | 53,89 |



Slika 36. Standardna devijacija skenova, UP360



Slika 37. Standardna devijacija skenova, UP300

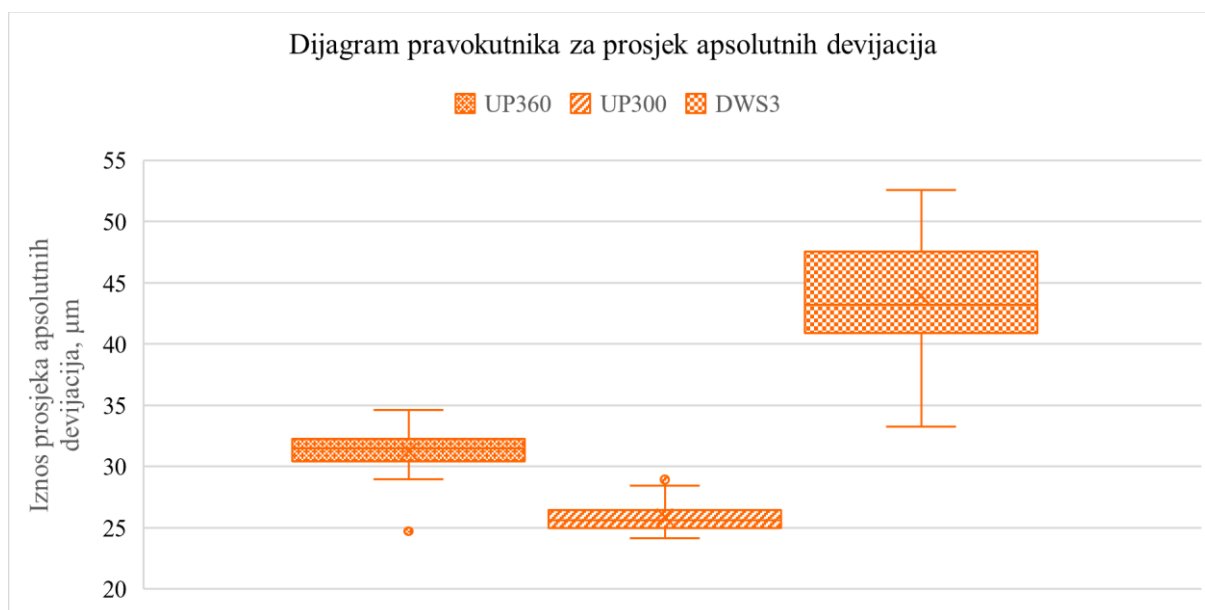


Slika 38. Standardna devijacija skenova, DWS3

Shapiro-Wilk test pokazao je značajna odstupanja rezultata od normalnih distribucija za skener UP360 ($p = 0,0289$) i UP300 ($p = 0,0170$). Za skener DWS3 ($p = 0,9336$) nisu utvrđena značajna odstupanja. Kruskal-Wallis testom ustanovljeno je da postoje statistički značajne razlike između uspoređivanih skenera ($p < 0,001$). Naposljetku, Mann-Whitney-Wilcoxon test za višestruke usporedbe pokazao je značajne razlike između svih parova skenera ($p < 0,001$).

5.2.7. Prosjek apsolutnih devijacija

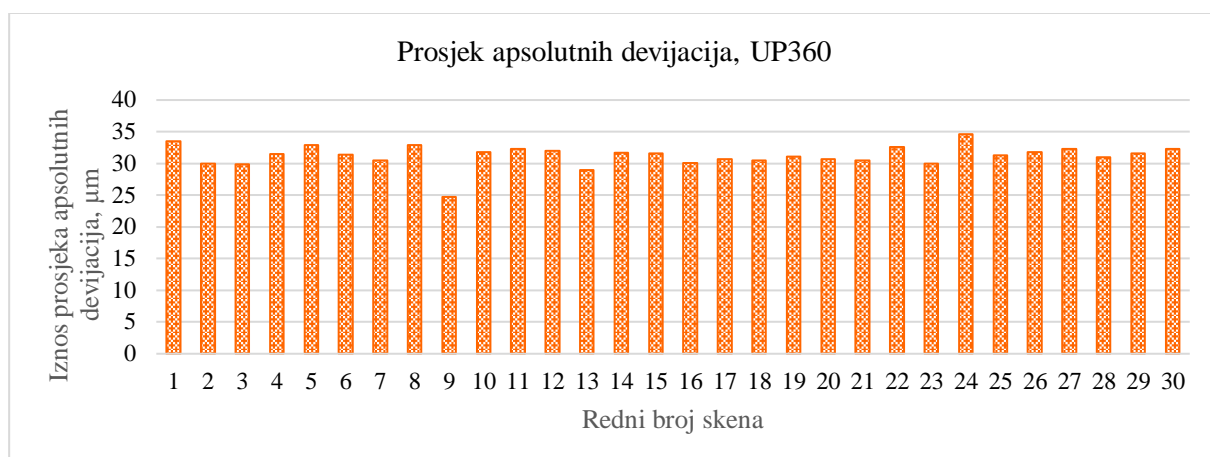
Na slici 39 prikazan je dijagram pravokutnika rezultata prosjeka apsolutnih devijacija za odabrane skenere. Rezultati svih snimljenih skenova pojedinog skenera ($N = 30$) uzeti su u obzir te su u tablici 11 ispisani iznosi aritmetičke sredine, standardne devijacije, medijana te minimalne i maksimalne vrijednosti prosjeka apsolutnih devijacija. Na grafovima (Slika 40, Slika 41 i Slika 42) je prikazana distribucija rezultata dobivenih usporedbom skenova s referentnim skenom. Skener UP300 postigao je najniže iznose svih vrijednosti, dok je skener DWS3 postigao najviše iznose. Kod skenera UP360 (Slika 40) minimalna vrijednost prosjeka apsolutnih devijacija izračunata je za sken 9 (24,72 μm), a maksimalna za sken 24 (34,6 μm). Rezultati skenera UP300 (Slika 41) variraju između minimalne vrijednosti za sken 4 (24,16 μm) i maksimalne vrijednosti za sken 9 (28,94 μm), a skenera DWS3 (Slika 42) između minimalne vrijednosti za sken 7 (33,28 μm) i maksimalne vrijednosti za sken 25 (52,57 μm). Dakle, rezultati prosjeka apsolutnih devijacija konzistentni su s rezultatima za RMS.



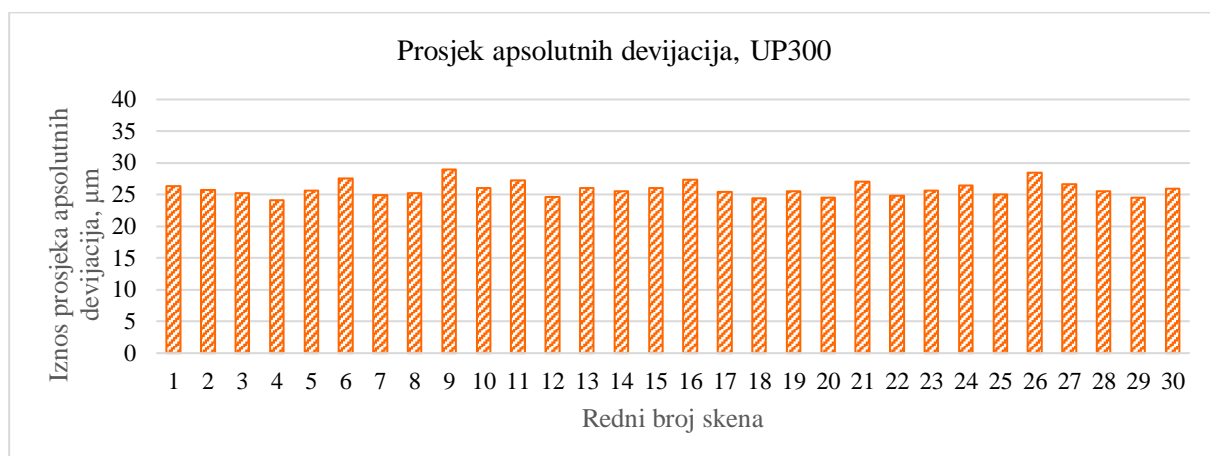
Slika 39. Dijagram pravokutnika za prosjek apsolutnih devijacija

Tablica 11. Rezultati za prosjek apsolutnih devijacija, μm

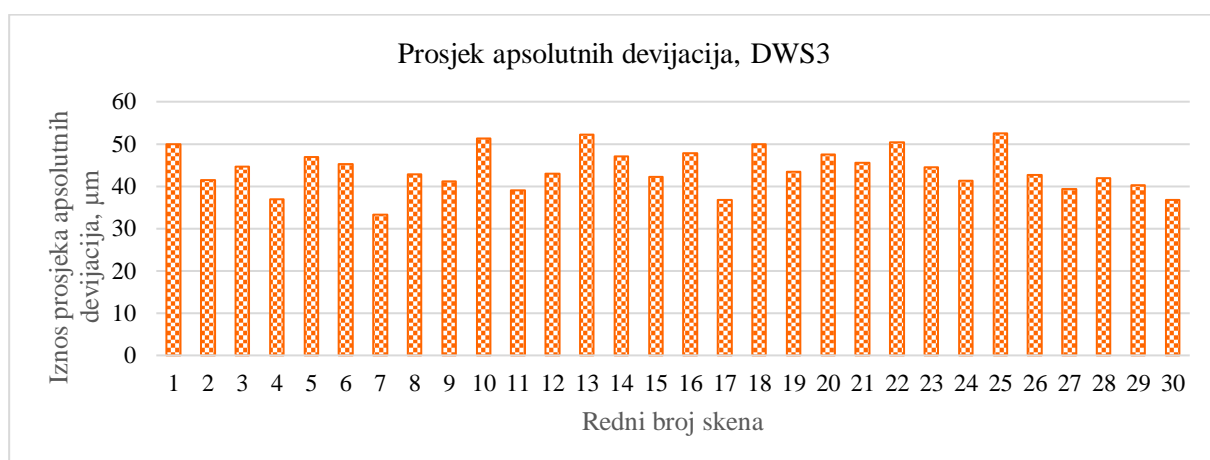
| | Aritmetička sredina | Standardna devijacija | Medijan | Minimalna vrijednost | Maksimalna vrijednost |
|--------------|---------------------|-----------------------|---------|----------------------|-----------------------|
| UP360 | 31,21 | 1,72 | 31,46 | 24,72 | 34,6 |
| UP300 | 25,88 | 1,18 | 25,61 | 24,16 | 28,94 |
| DWS3 | 43,95 | 4,98 | 43,23 | 33,28 | 52,57 |



Slika 40. Prosjeak apsolutnih devijacija skenova, UP360



Slika 41. Prosjeak apsolutnih devijacija skenova, UP300



Slika 42. Prosjeak apsolutnih devijacija skenova, DWS3

Shapiro-Wilk test pokazao je značajna odstupanja rezultata od normalnih distribucija za skener UP360 ($p = 0,0016$). Za skenere UP300 ($p = 0,0968$) i DWS3 ($p = 0,7753$) nisu utvrđena značajna odstupanja. Kruskal-Wallis testom ustanovljeno je da postoje statistički značajne razlike između uspoređivanih skenera ($p < 0,001$). Naposljetku, Mann-Whitney-Wilcoxon test za višestruke usporedbe pokazao je značajne razlike između svih parova skenera ($p < 0,001$).

5.2.8. Varijabilnost skenova pojedinog skenera

Provedena su dva statistička *Friedman* testa kako bi se ustanovila varijabilnost između skenova pojedinog skenera. Testovi su provedeni tako da su međusobno promatrane razlike devijacija svih točaka ($n = 46253$) za trideset skenova. Pritom je u prvom testu smjer devijacije uzet u obzir, dok u drugom testu nije. Za analizu magnituda razlika proveden je post-hoc test, tj. *Kendall W* analiza kojom je ustanovljeno da je magnituda razlika malena (uz $W=0,00266$ za skener UP360, $W=0,00295$ za skener UP300 i $W=0,00538$ za skener DWS3 u prvom testu te $W=0,00549$ za skener UP360, $W=0,00538$ za skener UP300 i $W=0,0217$ za skener DWS3 u drugom testu). Kako bi se ustanovilo koliko je parova skenova koji su značajno različiti jedan od drugog, korišten je *Wilcoxon signed rank* test te korekcijska metoda *Bonferroni*, u svrhu korekcije p-vrijednosti za višestruke usporedbe. U prvom testu za skener UP360 značajno se razlikuje 270/435 parova, za skener UP300 303/435 parova, a za skener DWS3 361/435 parova. U drugom testu za skener UP360 značajno se razlikuje 347/435 parova, za skener UP300 344/435 parova, a za skener DWS3 396/435 parova. Može se zaključiti da su razlike između skenera razmjerno male, no ovim testom je dokazano je skener DWS3 manje precizan, tj. da kod njega postoje češće razlike među skenovima. Skener UP360 najviše je precizan ukoliko se u obzir uzme smjer devijacije, no mala je razlika između skenera UP300 i UP360 na podacima o apsolutnim devijacijama.

5.2.9. Prikaz distribucija devijacija na modelu

Prikaz distribucija devijacija napravljen je kako bi se ustanovila kritična područja tj. područja s najvećim devijacijama na skenovima modela. Kreiran je za sve usporedbe skenova s referentnim modelom, ali će se u ovom poglavlju detaljnije analizirati prikazi po dva skena skenera UP360, UP300 i DWS3. Odabrani skenovi s najmanjim i najvećim iznosima prosjeka apsolutnih devijacija dani su u tablici 12 te predloženi na slikama 43, 44, 45, 46, 47 i 48.

Tablica 12. Vrijednosti prosjeka apsolutnih devijacija prikazanih skenova, μm

| Skener | UP 360 | | UP 300 | | DWS3 | |
|--------------------------------------|--------|------|--------|-------|-------|-------|
| Sken | 9 | 24 | 4 | 9 | 7 | 25 |
| Prosjek apsolutnih devijacija | 24,72 | 34,6 | 24,16 | 28,94 | 33,28 | 52,57 |

Vrijednosti devijacija prikazane su bojama. Zelenom bojom označena su područja s malim devijacijama, iznosa od -10 do $10 \mu\text{m}$, po uzoru na [26]. Žuto – narančastim tonovima prikazana su područja s pozitivnim devijacijama, u rasponu od 10 do $100 \mu\text{m}$, po uzoru na [16] te u skladu s kliničkim granicama točnosti. Područja sa devijacijama većih iznosa od $100 \mu\text{m}$ obojana su crvenom bojom. S druge strane, plavim tonovima prikazana su područja s devijacijama negativnih iznosa, u rasponu od -10 do $-100 \mu\text{m}$. Područja sa iznosima devijacija većim od $-100 \mu\text{m}$ obojana su tamno plavom bojom.

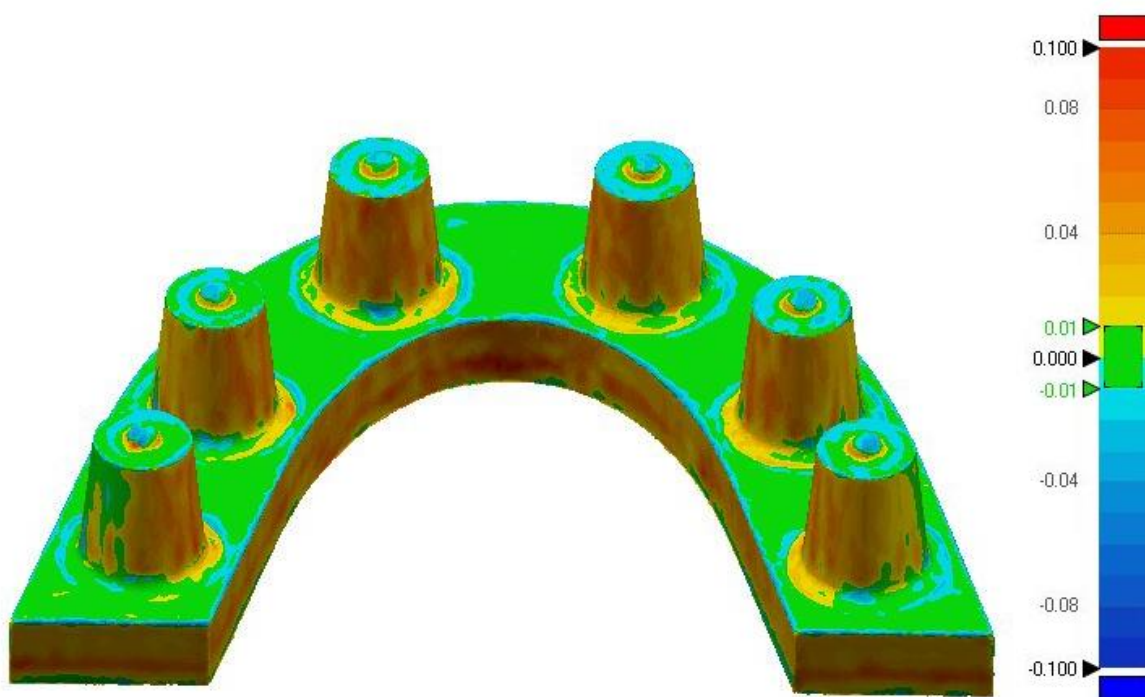
Na slici 43 prikazana je distribucija devijacija za sken 9 skenera UP360. Bočna područja upornjaka i bokovi uzduž modela imaju pretežito pozitivne devijacije, u rasponu od 10 do $100 \mu\text{m}$. Gornje plohe upornjaka su u blago negativnom području, od -10 do $-20 \mu\text{m}$, kao i područja na mjestu prijelaza upornjaka na ravnu plohu. Ploha na kojoj su smješteni upornjaci ima najmanje devijacije, od -10 do $10 \mu\text{m}$. Na prikazu distribucije devijacija za sken 24 (Slika 44) vidljive su veće devijacije nego na prethodno opisanom prikazu. Devijacije na bočnim područjima upornjaka i uzduž modela također imaju iznose od 10 do $100 \mu\text{m}$, ali s izraženijim devijacijama na područjima okrenutima s unutarnje strane luka, gdje se je prilikom zakretanja modela u tijeku skeniranja mogla pojaviti sjena. Gornje plohe upornjaka kod ovog skena imaju nešto veće iznose negativnih devijacija, u rasponu od -10 do $-30 \mu\text{m}$, kao i ploha na kojoj su smješteni upornjaci, s devijacijama u rasponu od -20 do $10 \mu\text{m}$. Prema tome, jasno je uočljiva razlika između skenova s najvećim i najmanjim iznosom prosjeka apsolutnih devijacija za skener UP360.

Kod skena 4 skenera UP300 (Slika 45) bočna područja luka i upornjaka također imaju pozitivne devijacije, ali u rasponu od 10 do $80 \mu\text{m}$. Kod područja uz rubove luka i upornjaka te na vrhovima polusfera prevladavaju negativne devijacije od -10 do $-20 \mu\text{m}$. Ploha na kojoj su smješteni upornjaci i gornje plohe upornjaka imaju male iznose devijacija, od -10 do $10 \mu\text{m}$.

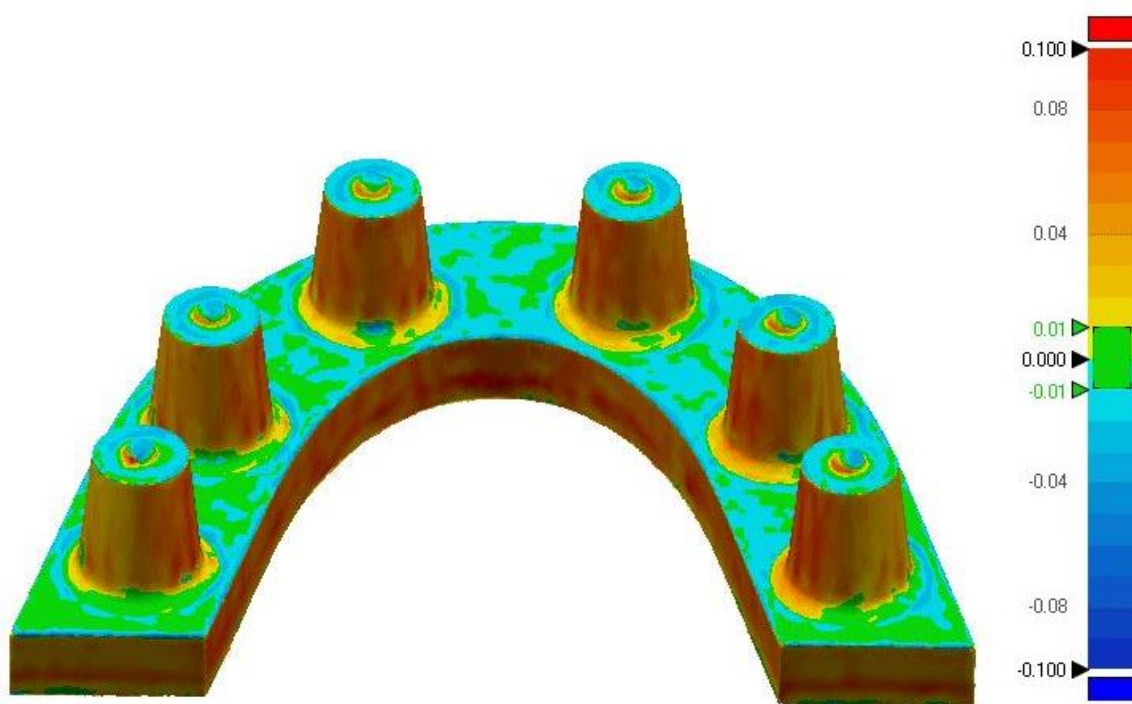
Na unutarnjoj bočnoj strani luka uz rub, s lijeve strane, nalazi se područje s devijacijom većom od 100 μm . Razlog tako velikom skoku iznosa devijacije je što to područje zbog geometrije modela, prilikom skeniranja nije u potpunosti uhvaćeno kamerom skenera te je na tom mjestu došlo do nepravilnosti na površini skena. Pogledom na sken 9 (Slika 46) može se zaključiti da nema velikih razlika u distribuciji devijacija između skenova s najvećim i najmanjim iznosom prosjeka apsolutnih devijacija za skener UP300.

Na prikazu distribucije devijacija za sken 7 skenera DWS3 (Slika 47) bočna područja upornjaka i bokovi uzduž modela imaju pretežito pozitivne devijacije, u rasponu od 10 do preko 100 μm . Gornje plohe upornjaka imaju negativne devijacije, s iznosima od -10 do -40 μm . Ploha na kojoj su smješteni upornjaci također ima devijacije iznosa od -10 do -40 μm , s time da na nekim područjima nisu ni prikazane budući da na njima nema skena jer su kod zakretanja modela prilikom skeniranja bila u sjeni. Na prikazu za sken 25 (Slika 48) uočavaju se veće devijacije na svim područjima modela, u odnosu na prethodno opisani prikaz. Devijacije nisu jednolično raspoređene po upornjacima i unutarnjim bočnih ploha modela. Plohe upornjaka i bočnih strana s lijeve strane modela imaju devijacije u rasponu od 50 do preko 100 μm . Bočna ploha luka te plohe prva dva upornjaka s desne strane modela imaju devijacije u rasponu od -10 do 80 μm . Ploha na kojoj su smješteni upornjaci ima devijacije iznosa od -10 do -60 μm . Prema tomu, postoje velike razlike između skenova s najvećim i najmanjim iznosom prosjeka apsolutnih devijacija za skener DWS3.

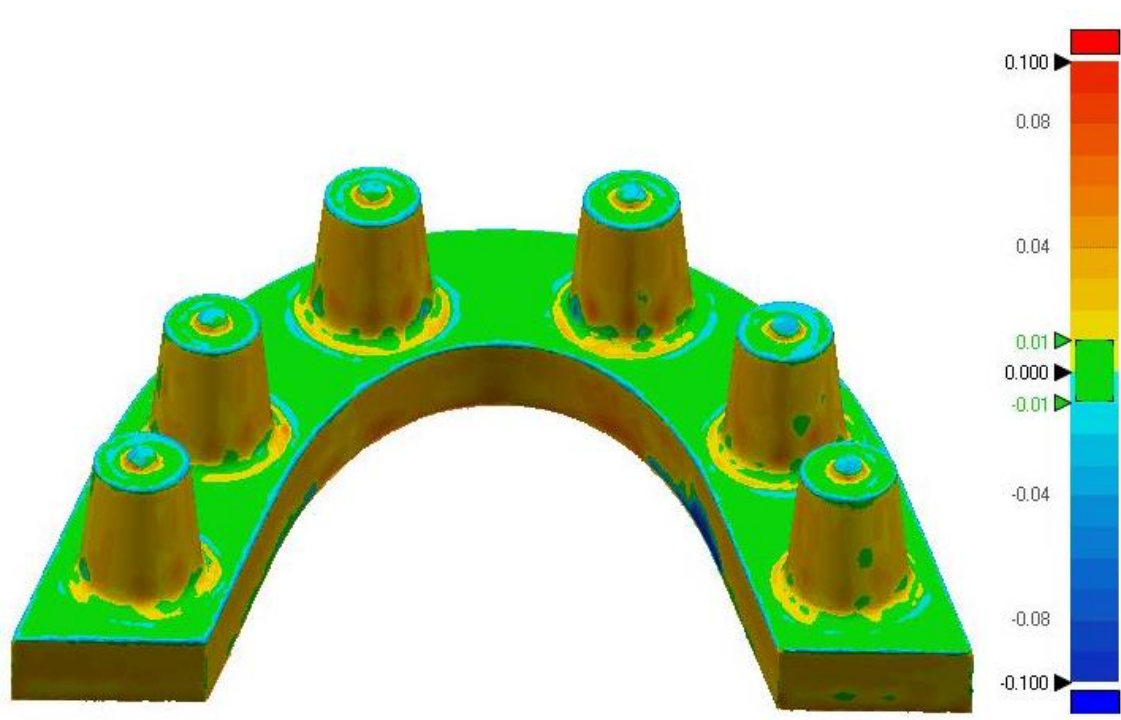
Iz opisanih prikaza može se zaključiti da iznosi devijacija nisu jednoliko raspoređeni po skeniranim modelima te da na nekim mjestima dosta odstupaju od srednjih vrijednosti prosjeka apsolutnih devijacija. Područja upornjaka izrazito su bitna za razmatranje te su na tim područjima poželjne male devijacije, jer se na njih dizajnira protetski rad. Stoga je važno tijekom skeniranja modela cijelih čeljusti razmatrati točnost i na ovaj način. U ovom slučaju, svi skeneri pokazali su upravo suprotno – ostvarili su najveće iznose devijacija na tim područjima. Do tako velikih razlika u devijacijama može doći zbog nedovoljnog kuta zakreta pločice s modelom skenera (kod skenera sa strukturiranim svjetlom) ili kamere skenera (kod laserskog skenera). Problem mogu predstavljati prevelike dimenzije upornjaka koji stvaraju sjene koje ometaju pravilno skeniranje.



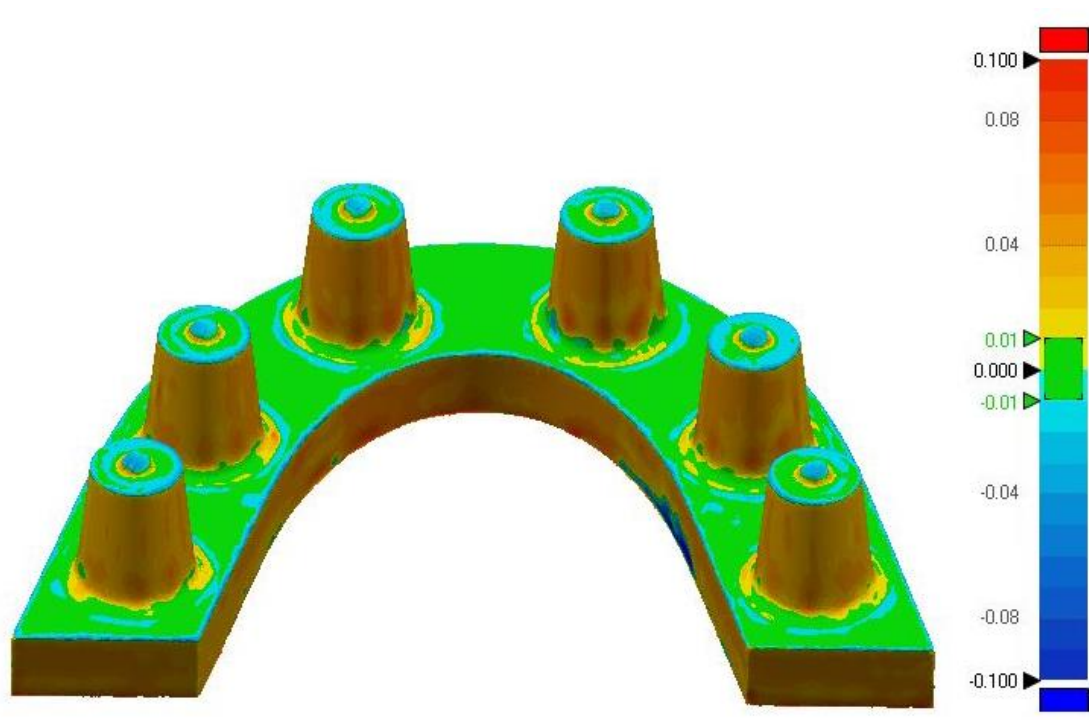
Slika 43. Prikaz distribucija devijacija po modelu, UP360, sken 9



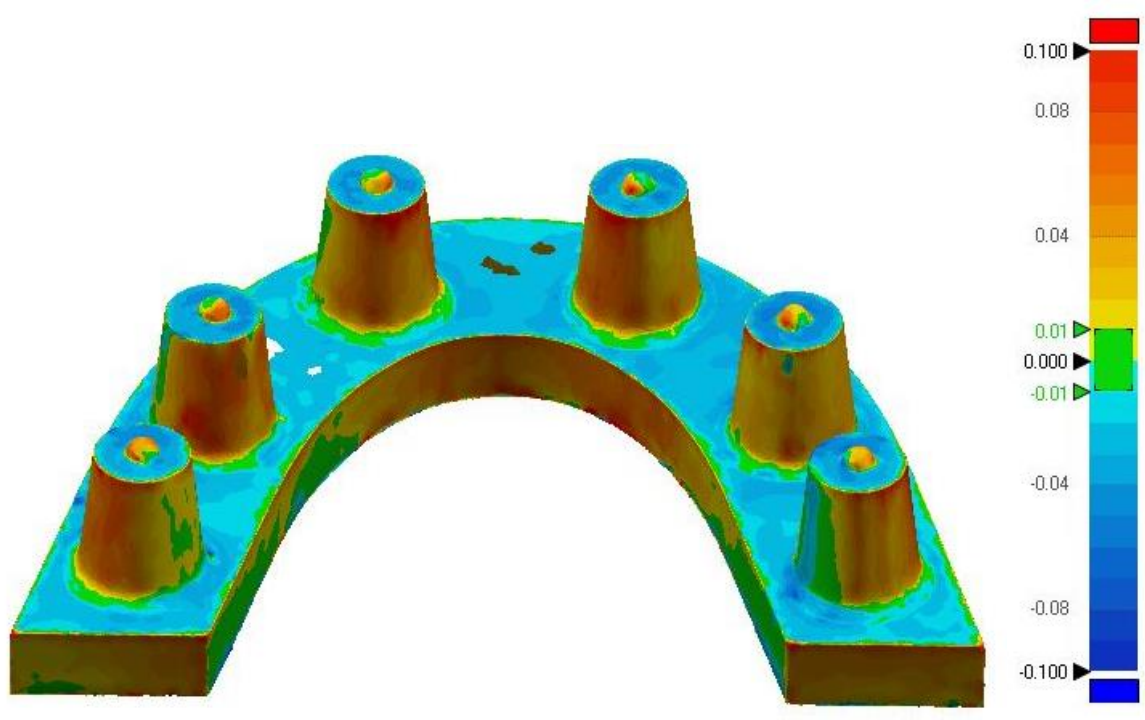
Slika 44. Prikaz distribucija devijacija po modelu, UP360, sken 24



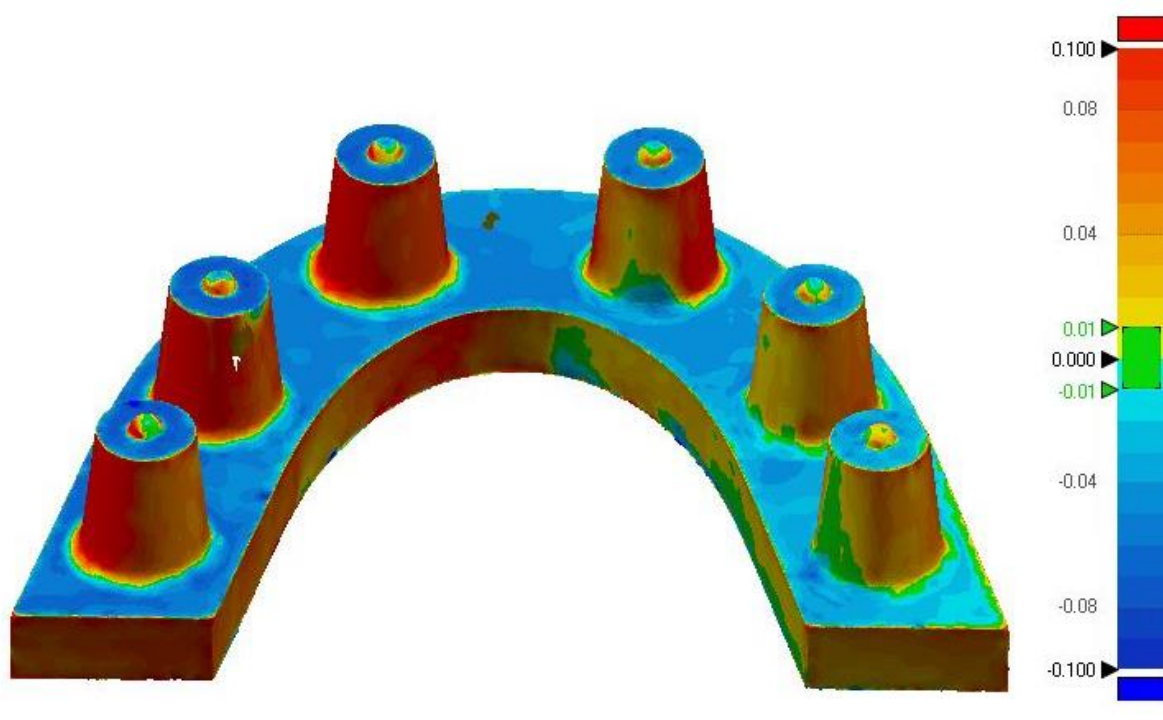
Slika 45. Prikaz distribucija devijacija po modelu, UP300, sken 4



Slika 46. Prikaz distribucija devijacija po modelu, UP300, sken 9



Slika 47. Prikaz distribucija devijacija po modelu, DWS3, sken 7



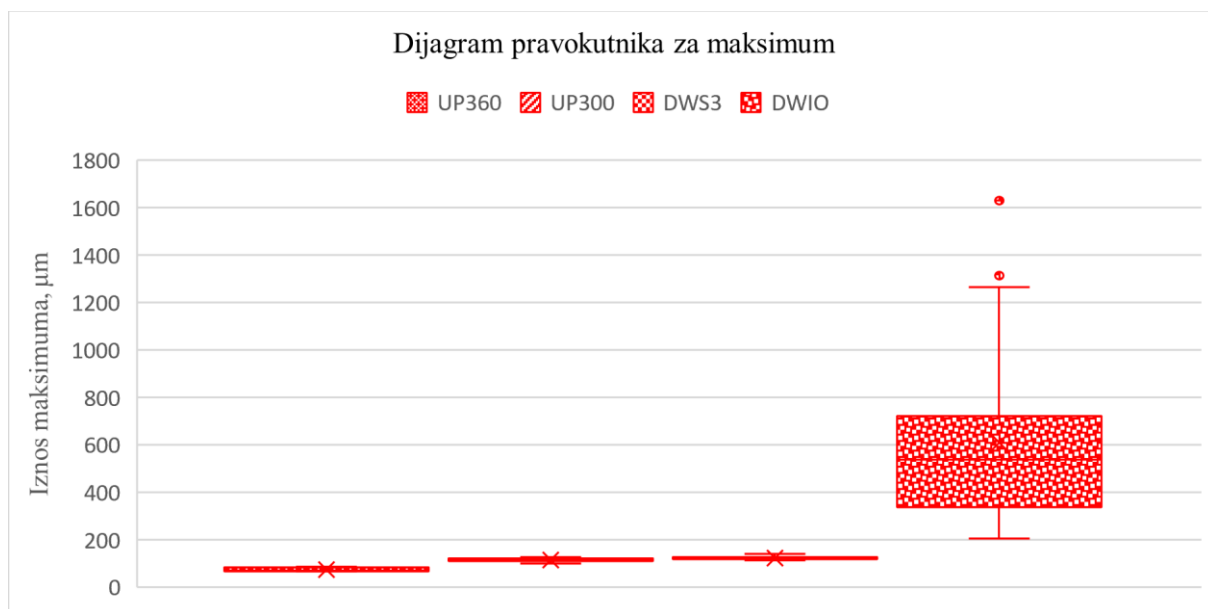
Slika 48. Prikaz distribucija devijacija po modelu, DWS3, sken 24

5.3. Model 2

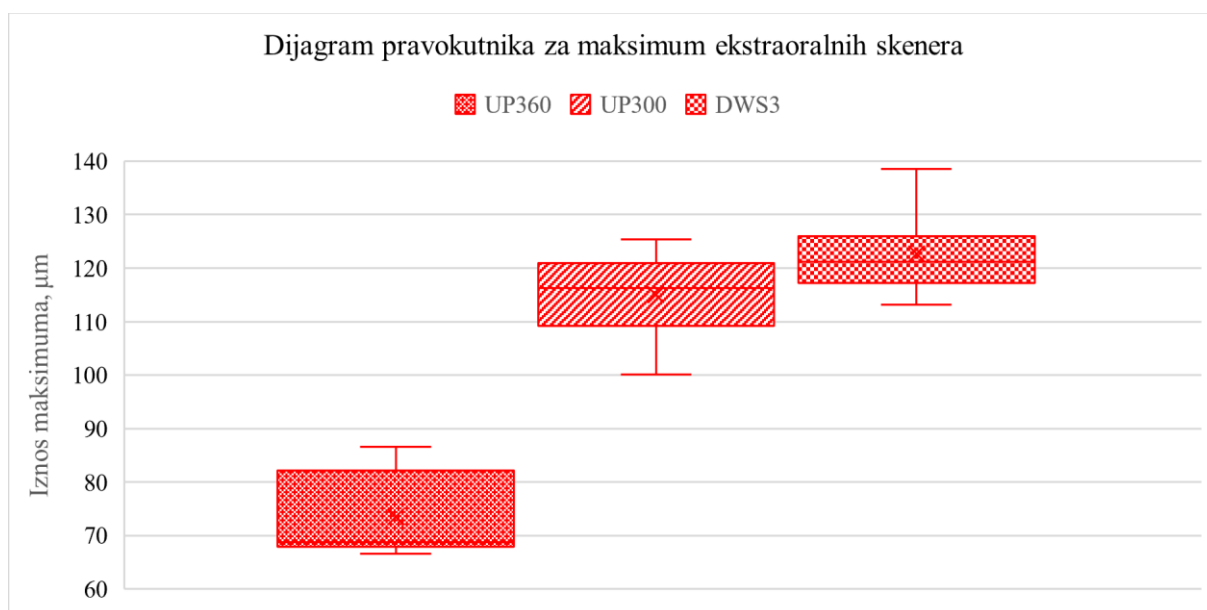
Provedena je analiza odabranih podataka za skenove modela gornje čeljusti s prirodnim zubima za ekstraoralne skenere UP300, UP360, Dental Wings Series 3 (DWS3) te intraoralni skener Dental Wings Intraoral Scanner (DWIO). Za svaki sken pojedinog skenera izdvojene su vrijednosti maksimuma, minimuma, pozitivnog prosjeka, negativnog prosjeka, RMS, standardne devijacije te prosjeka apsolutnih devijacija. Kako bi se agregirali podaci za svaku mjeru (maksimum, minimum, pozitivan prosjek, negativan prosjek, ukupni prosjek, RMS, prosjek standardnih devijacija i prosjek apsolutnih devijacija) izračunate su vrijednosti aritmetičke sredine, medijana, standardne devijacije i raspona. Navedene izračunate vrijednosti prikazane su u tablicama. Grafički je prikazana distribucija rezultata svih skenova, a dijagramom pravokutnika prikazani su medijani i raspon rezultata za ekstraoralne skenere i intraoralni skener. Budući da su u dijagramima slabo vidljivi rezultati ekstraoralnih skenera, oni su dodatno prikazani u zasebnom dijagramu. Za provjeru značajnosti razlika rezultata između skenera UP360, UP300, DWS3 i DWIO korišteni su testovi inferencijalne statistike, a analiza je provedena u statističkom paketu *R studio*. Prvo je proveden *Shapiro-Wilk* test kako bi se provjerila normalnost distribucija. U slučaju da test nije ukazao na značajno odstupanje podataka od normalne razdiobe, proveden je *Levine* test za testiranje pretpostavke homogenosti varijanci. Ako *Levenov* test nije ukazao na značajno odstupanje od pretpostavke homogenosti varijanci korišten je *ANOVA* test za generalnu značajnost razlika, a za pregled značajnih razlika između parova skenera korišten je *Tukey* test. Kada su *Shapiro-Wilk* i *Levine* test ukazali na odstupanja od pretpostavki normalnosti distribucija i homogenosti varijanci, korišten je *Kruskal-Wallis* test pa *Mann-Whitney-Wilcoxon* test uz *Holm* korekciju za višestruke usporedbe. Za varijabilnost je na kraju poglavlja proveden *Friedman* test u svrhu usporedbe devijacija svih snimljenih točaka. Kako bi se ustanovila magnituda razlika provedena je post-hoc *Kendall W* analiza. Konačno, značajnost razlika među parovima skenova pojedinog skenera utvrđena je provedbom *Wilcoxon signed-rank* testa za svaki par skenova, pri čemu je korištena *Bonferroni* korekcija za višestruke usporedbe. Naposljetku su prikazane i komentirane distribucije devijacija po modelu s obzirom na skenove s najnižim i najvišim iznosom vjerodostojnosti.

5.3.1. Maksimum

Slika 49 prikazuje dijagram pravokutnika rezultata maksimuma za odabrane skenere. U dijagramu su rezultati skenera UP360, UP300 i DWS3 slabo vidljivi zbog velikog raspona rezultata DWIO. Zbog toga je na slici 50 prikazan dijagram pravokutnika rezultata maksimuma samo za ekstraoralne skenere. Rezultati svih snimljenih skenova pojedinog skenera ($N = 30$) uzeti su u obzir. U tablici 13 ispisani su iznosi aritmetičke sredine, standardne devijacije, medijana te minimalne i maksimalne vrijednosti maksimuma. Grafovima je prikazana distribucija rezultata maksimuma, dobivenih usporedbom skenova s referentnim skenom (Slika 51, Slika 52, Slika 53 i Slika 54). Skener UP360 postigao je najniže iznose aritmetičke sredine, medijana, minimalne i maksimalne vrijednosti. Skener DWS3 postigao je najnižu standardnu devijaciju maksimuma ($6,85 \mu\text{m}$). Iz grafa vidljiv je raspon rezultata za UP360 (Slika 51) od $66,57 \mu\text{m}$ za sken 20 do $86,59 \mu\text{m}$ za sken 18. Rezultati za skener UP300 (Slika 52) kreću se u rasponu od $100,09 \mu\text{m}$ za sken 14 do $125,38 \mu\text{m}$ za sken 23, a za DWS3 (Slika 53) u rasponu od $113,16 \mu\text{m}$ za sken 1 do $138,9 \mu\text{m}$ za sken 23. Na grafu za skener DWIO (Slika 54) uočavaju se izrazito velike razlike maksimuma među uzorcima; minimalna vrijednost iznosi $205,81 \mu\text{m}$ (sken 13), a maksimalna $1630,36 \mu\text{m}$ (sken 2).



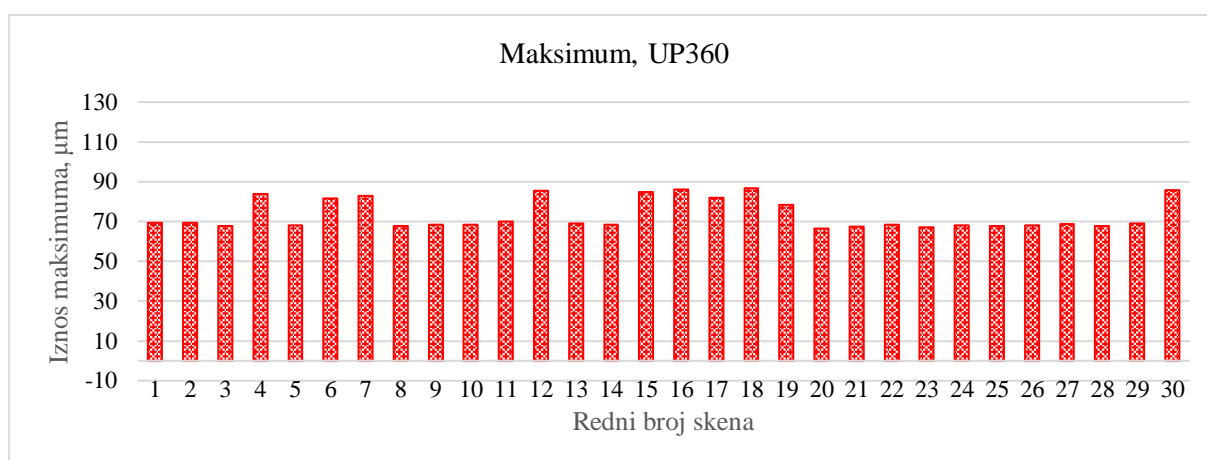
Slika 49. Dijagram pravokutnika za maksimum



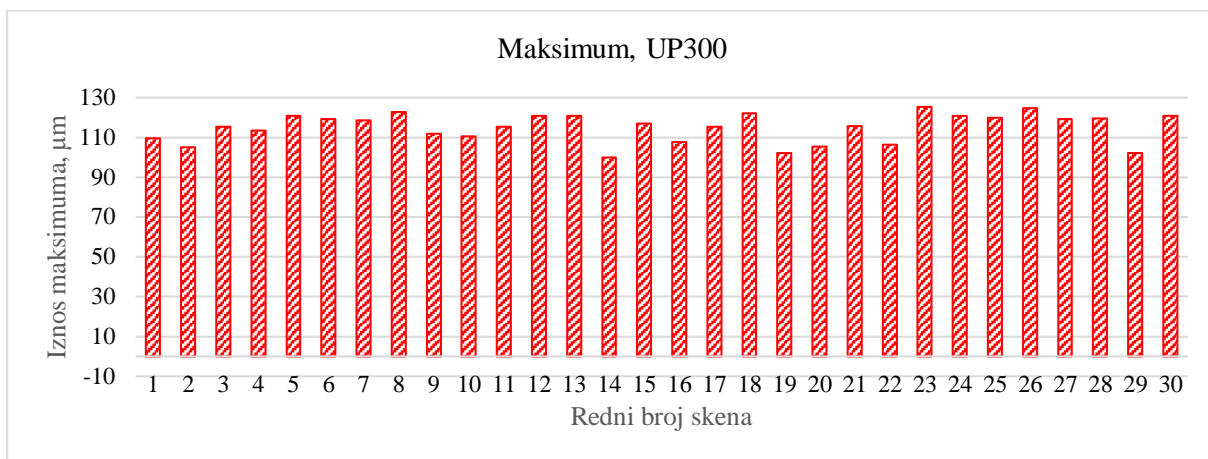
Slika 50. Dijagram pravokutnika za maksimum ekstraoralnih skenera

Tablica 13. Rezultati za maksimum, µm

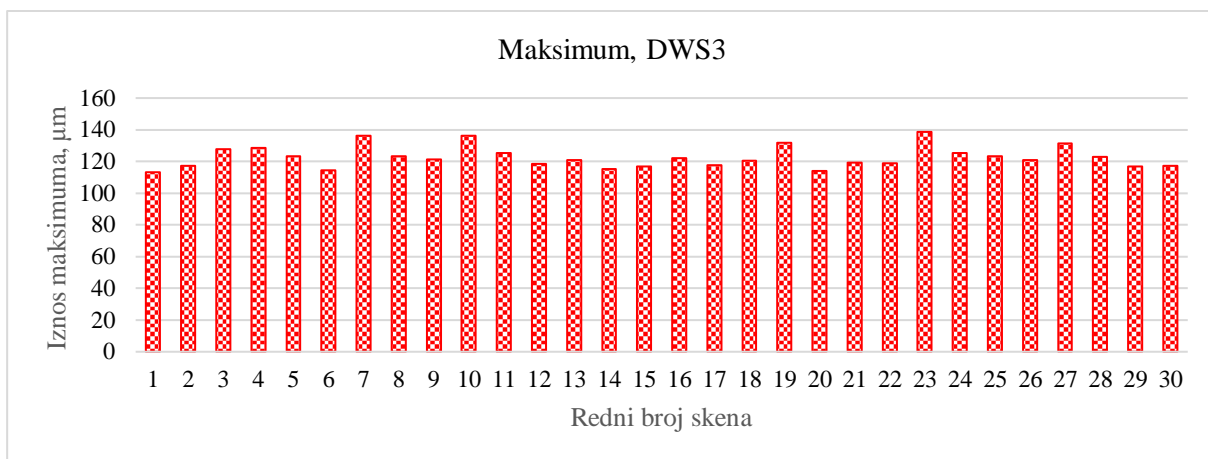
| | Aritmetička sredina | Standardna devijacija | Medijan | Minimalna vrijednost | Maksimalna vrijednost |
|--------------|---------------------|-----------------------|---------|----------------------|-----------------------|
| UP360 | 73,44 | 7,58 | 68,76 | 66,57 | 86,59 |
| UP300 | 114,97 | 7,22 | 116,24 | 100,09 | 125,38 |
| DWS3 | 122,67 | 6,85 | 121,17 | 113,16 | 138,59 |
| DWIO | 608,35 | 537,90 | 537,90 | 205,81 | 1630,36 |



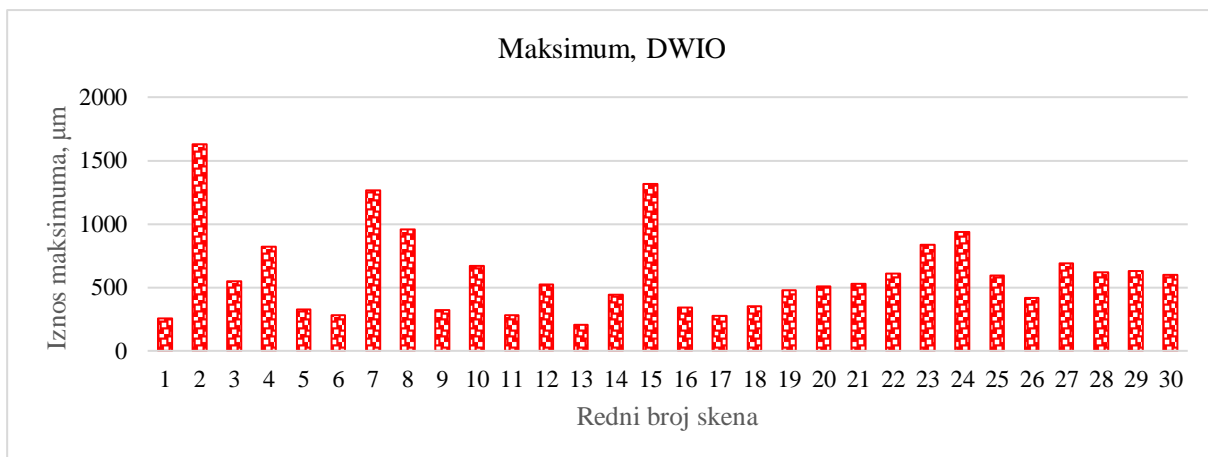
Slika 51. Maksimum skenova, UP360



Slika 52. Maksimum skenova, UP300



Slika 53. Maksimum skenova, DWS3

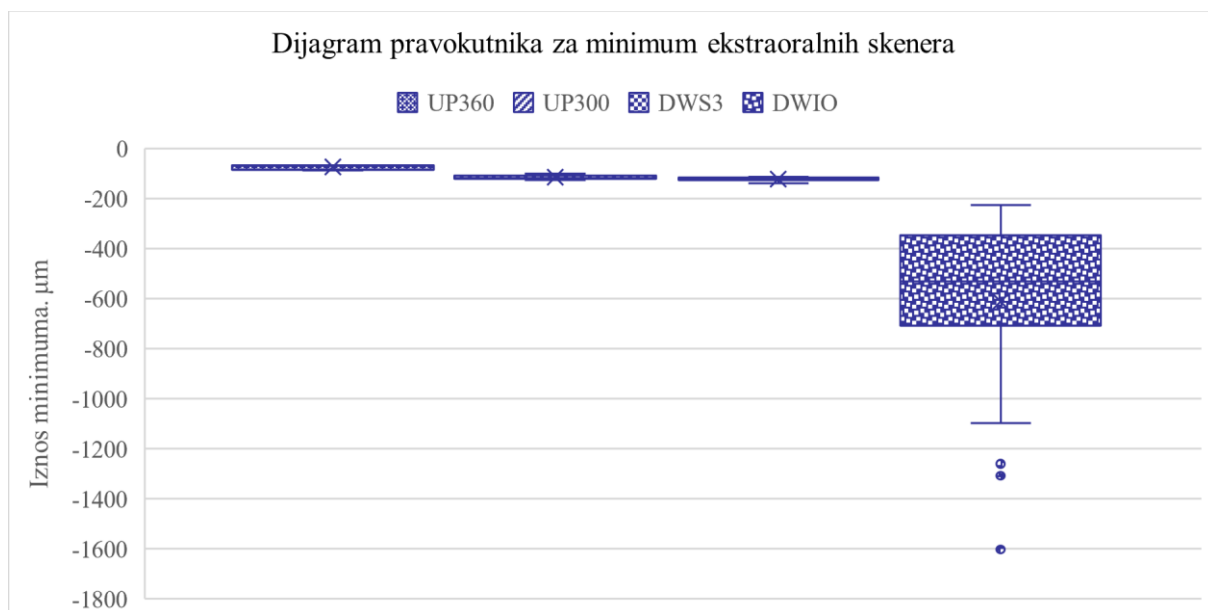


Slika 54. Maksimum skenova, DWIO

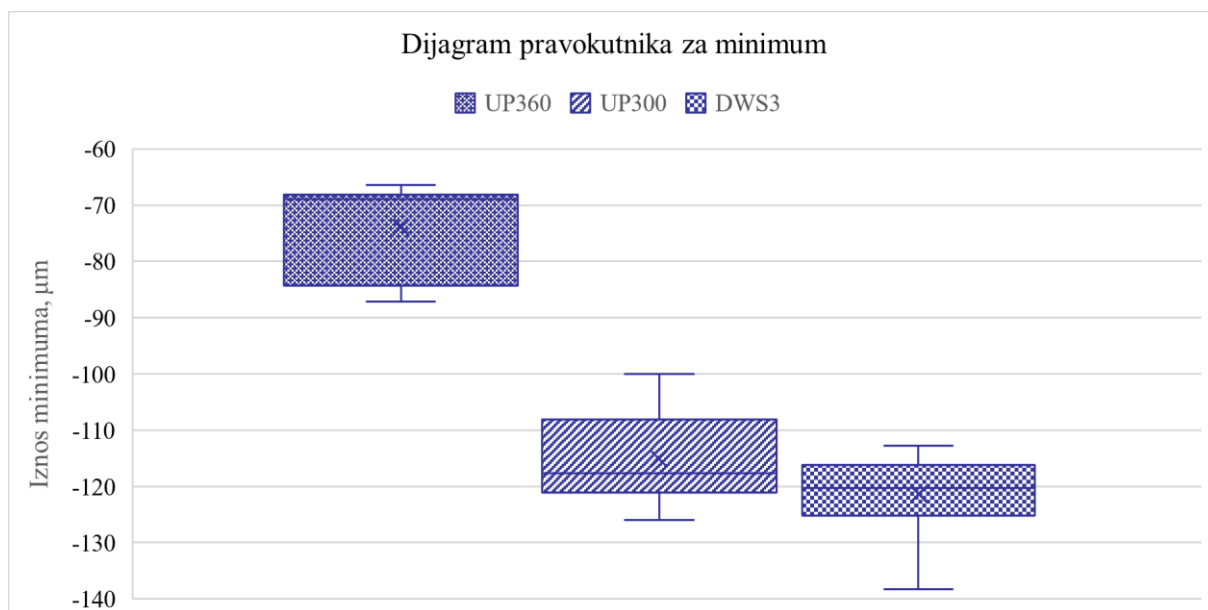
Shapiro-Wilk test pokazao je značajna odstupanja rezultata od normalnih distribucija za skenere UP360 ($p < 0,001$), UP300 ($p = 0,0343$), DWS3 ($p = 0,0332$) i DWIO ($p = 0,0176$). Kruskal-Wallis testom ustanovljeno je da postoje statistički značajne razlike između uspoređivanih skenera ($p < 0,001$). Naposljetku, Mann-Whitney-Wilcoxon test za višestruke usporedbe pokazao je značajne razlike između svih parova skenera ($p < 0,001$).

5.3.2. Minimum

Na slici 55 prikazan je dijagram pravokutnika rezultata minimuma za odabrane skenere. U dijagramu su rezultati skenera UP360, UP300 i DWS3 slabo vidljivi zbog velikog raspona rezultata DWIO pa je na slici 56 prikazan dijagram pravokutnika rezultata minimuma samo za ekstraoralne skenere. Rezultati svih snimljenih skenova pojedinog skenera ($N = 30$) uzeti su u obzir te su u tablici 14 ispisani iznosi aritmetičke sredine, standardne devijacije, medijana te minimalne i maksimalne vrijednosti minimuma. Grafovima je prikazana distribucija rezultata minimuma, dobivenih usporedbom skenova s referentnim skenom (Slika 57, Slika 58, Slika 59 i Slika 60). Skener UP360 postigao je najniže iznose aritmetičke sredine, medijana, minimalne i maksimalne vrijednosti. Pritom se za najniži iznos označava onaj iznos čija je apsolutna vrijednost najmanja. Skener DWS3 postigao je najnižu standardnu devijaciju ($6,41 \mu\text{m}$). Iz grafa (Slika 57) vidljiv je raspon rezultata za UP360 od $-66,40 \mu\text{m}$ za sken 20 do $-87,11 \mu\text{m}$ za sken 16. Rezultati za skener UP300 (Slika 58) kreću se u rasponu od $-100,04$ za sken 14 do $-125,93 \mu\text{m}$ za sken 26, a za DWS3 (Slika 59) u rasponu od $-112,74$ za sken 1 do $-138,26 \mu\text{m}$ za sken 23. Na grafu za skener DWIO (Slika 60) uočavaju se izrazito velike razlike minimuma među uzorcima; minimalna vrijednost iznosi $-225,17 \mu\text{m}$ za sken 13, a maksimalna $-1602,84 \mu\text{m}$ za sken 2. Skeneri DWS3 i DWIO za iste skenove postigli su najniže i najviše vrijednosti minimuma i maksimuma.



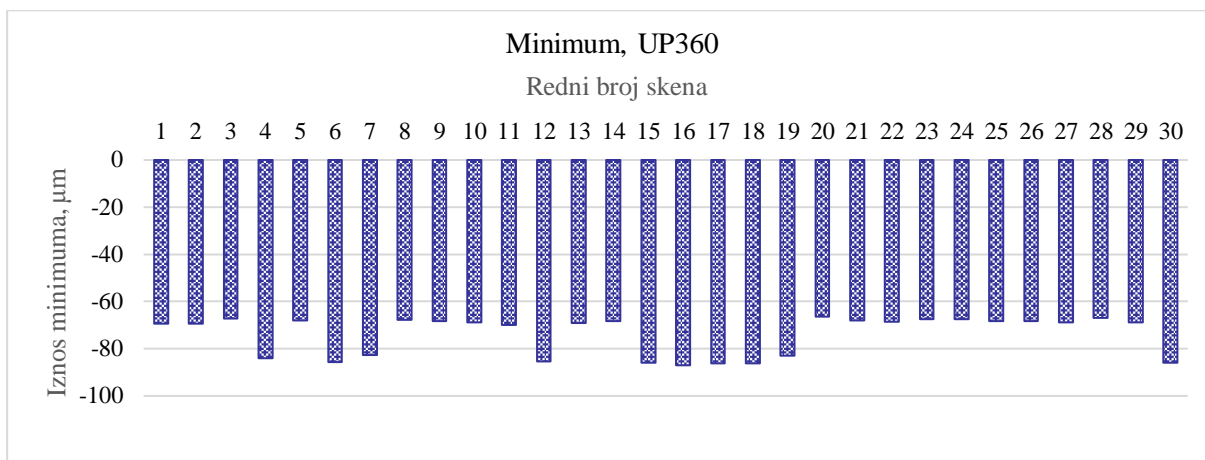
Slika 55. Dijagram pravokutnika za minimum



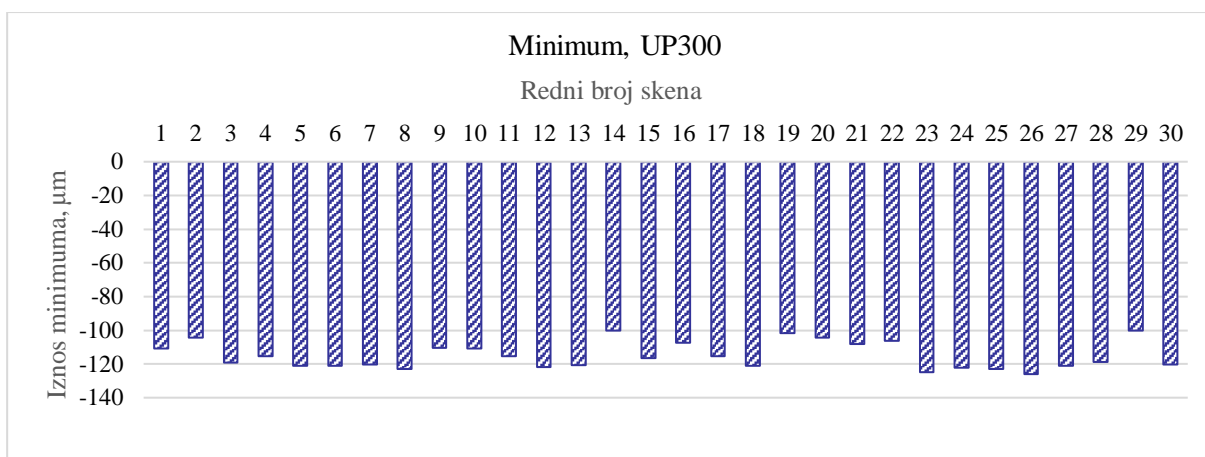
Slika 56. Dijagram pravokutnika za minimum ekstraoralnih skenera

Tablica 14. Rezultati za minimum, μm

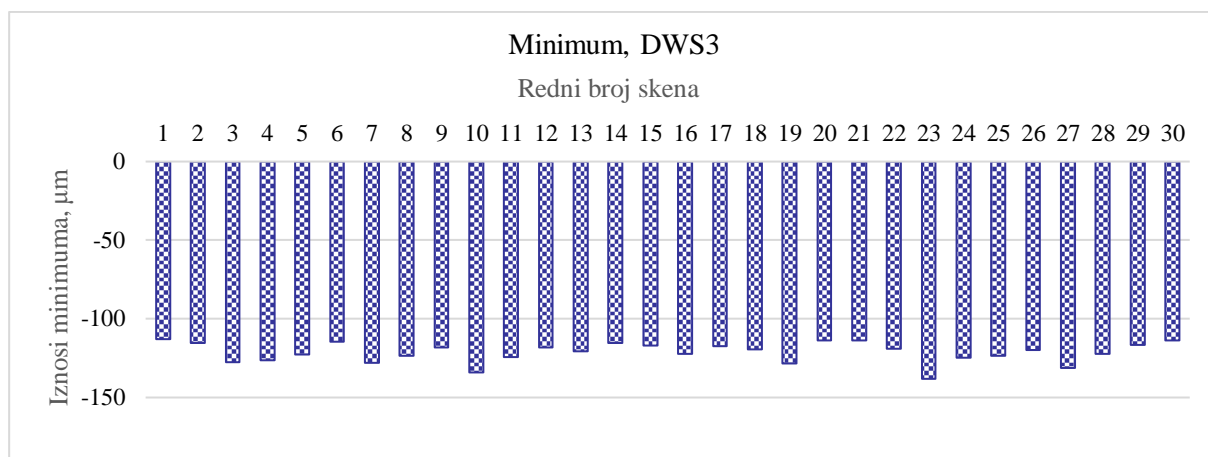
| | Aritmetička sredina | Standardna devijacija | Medijan | Minimalna vrijednost | Maksimalna vrijednost |
|--------------|---------------------|-----------------------|---------|----------------------|-----------------------|
| UP360 | -73,91 | 8,18 | -68,89 | -66,40 | -87,11 |
| UP300 | -115,09 | 7,83 | -117,70 | -100,04 | -125,93 |
| DWS3 | -121,39 | 6,41 | -120,31 | -112,74 | -138,26 |
| DWIO | -610,37 | 341,31 | -531,28 | -225,17 | -1602,84 |



Slika 57. Minimum skenova, UP360



Slika 58. Minimum skenova, UP300



Slika 59. Minimum skenova, DWS3

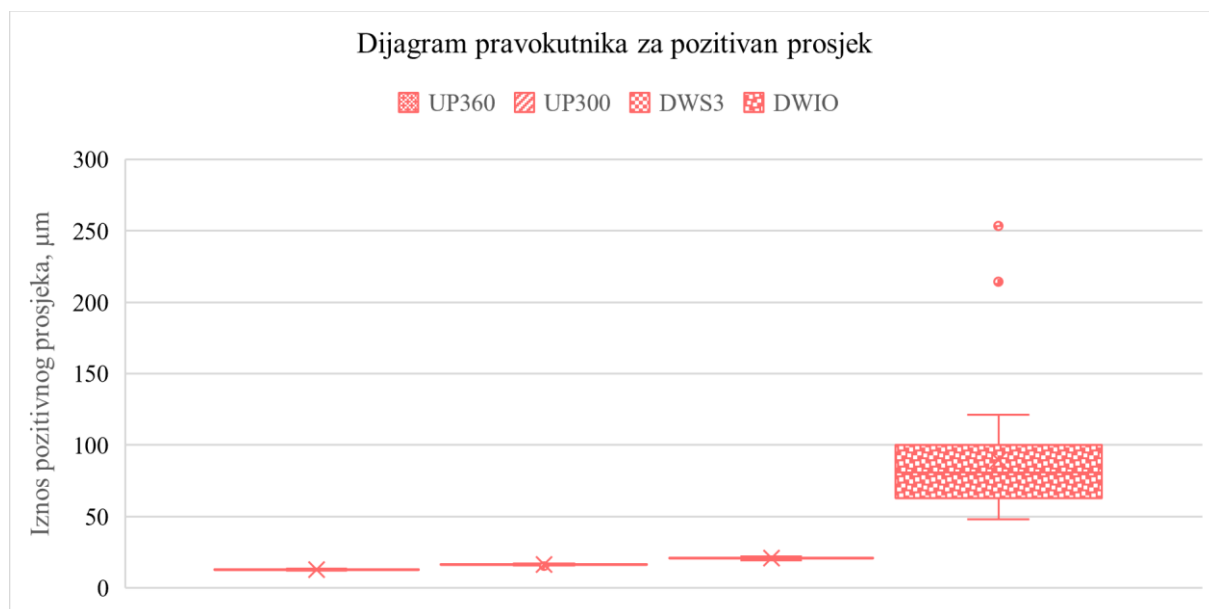


Slika 60. Minimum skenova, DWIO

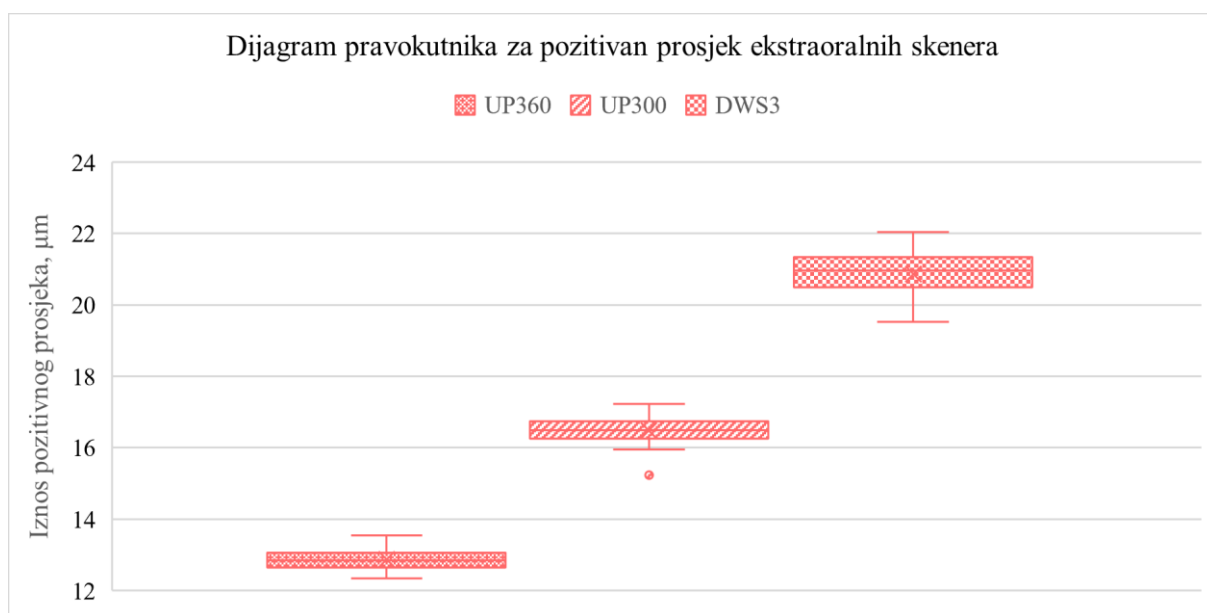
Shapiro-Wilk test pokazao je značajna odstupanja rezultata od normalnih distribucija za skener UP360 ($p < 0,001$), UP300 ($p = 0,01097$), DWIO ($p = 0,0021$). Za skener DWS3 ($p = 0,114$) nisu utvrđena značajna odstupanja. Kruskal-Wallis testom ustanovljeno je da postoje statistički značajne razlike između testiranih skenera ($p < 0,001$). Naposljetku, Mann-Whitney-Wilcoxon test za višestruke usporedbe pokazao je značajne razlike između parova UP300 i DWS3 ($p = 0,011$), kao i između ostalih parova skenera ($p < 0,001$).

5.3.3. Prosjek pozitivnih devijacija

Dijagram pravokutnika na slici 61 prikazuje rezultate pozitivnih prosjeka za odabrane skenere. U dijagramu su rezultati skenera UP360, UP300 i DWS3 slabo vidljivi zbog velikog raspona rezultata DWIO. Stoga je na slici 62 prikazan dijagram pravokutnika rezultata pozitivnih prosjeka samo za ekstraoralne skenere. Rezultati svih snimljenih skenova pojedinog skenera ($N = 30$) uzeti su u obzir te su u tablici 15 ispisani iznosi aritmetičke sredine, standardne devijacije, medijana te minimalne i maksimalne vrijednosti pozitivnih prosjeka. Na slikama (Slika 63, Slika 64, Slika 65 i Slika 66) prikazana je distribucija rezultata pozitivnih prosjeka, dobivenih usporedbom skenova s referentnim skenom. Skener UP360 postigao je najniže iznose u tablici, a DWIO najviše iznose. Iz grafa vidljiv je raspon rezultata za UP360 (Slika 63) je od 12,34 μm za sken 20 do 13,34 μm za sken 16. Rezultati za skener UP300 (Slika 64) kreću se u rasponu od 15,24 μm (sken 1) do 17,23 μm (sken 11), a za DWS3 (Slika 65) u rasponu od 19,54 μm za sken 1 (koji ima i najniže vrijednosti minimuma i maksimuma) do 22,05 μm za sken 11. Na grafu za skener DWIO (Slika 66) uočavaju se izrazito visok iznos pozitivnog prosjeka, ponovo za sken 2 (253,54 μm). Najniži iznos ponovo ima sken 13 (48,03 μm).



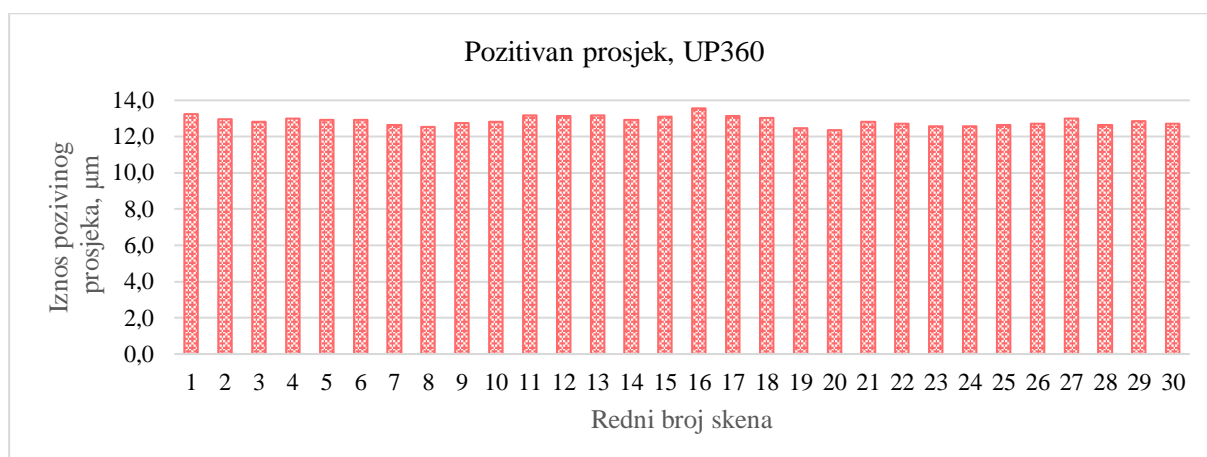
Slika 61. Dijagram pravokutnika za pozitivan prosjek



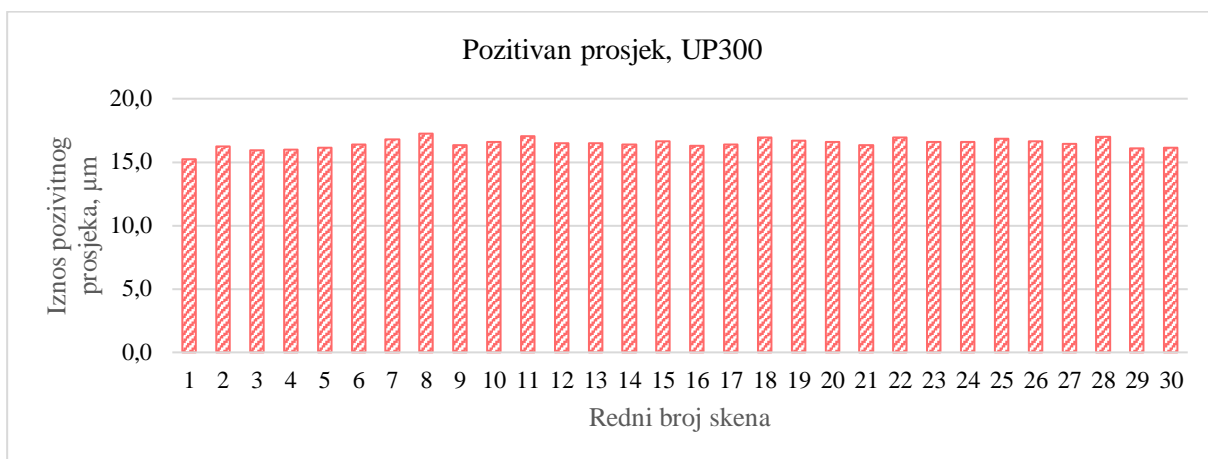
Slika 62. Dijagram pravokutnika rezultata za pozitivan prosjeka ekstraoralnih skenera

Tablica 15. Rezultati za pozitivan prosjek, μm

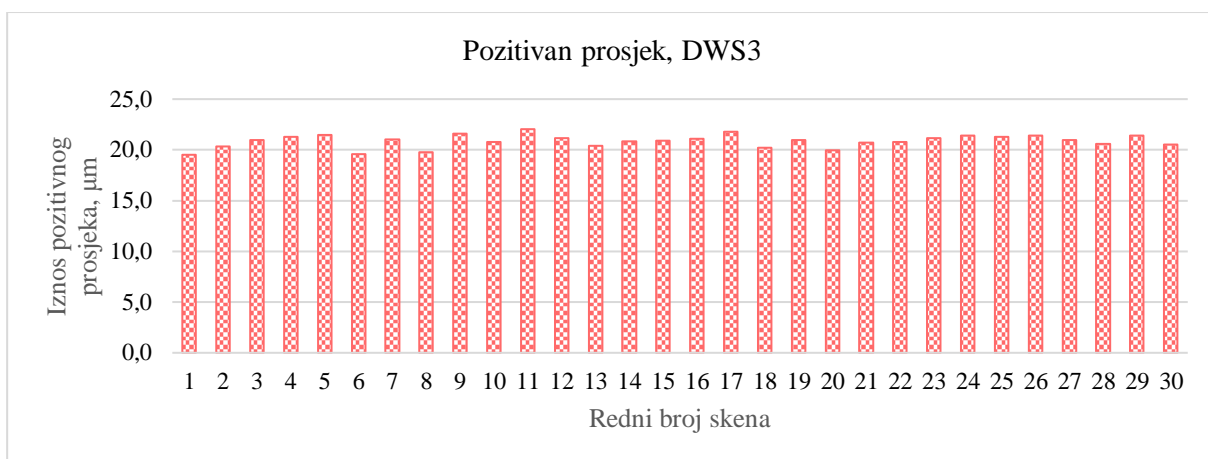
| | Aritmetička sredina | Standardna devijacija | Medijan | Minimalna vrijednost | Maksimalna vrijednost |
|--------------|---------------------|-----------------------|---------|----------------------|-----------------------|
| UP360 | 12,86 | 0,27 | 12,85 | 12,34 | 13,55 |
| UP300 | 16,48 | 0,40 | 16,49 | 15,24 | 17,23 |
| DWS3 | 20,87 | 0,63 | 20,96 | 19,54 | 22,05 |
| DWIO | 89,74 | 44,51 | 81,06 | 48,03 | 253,54 |



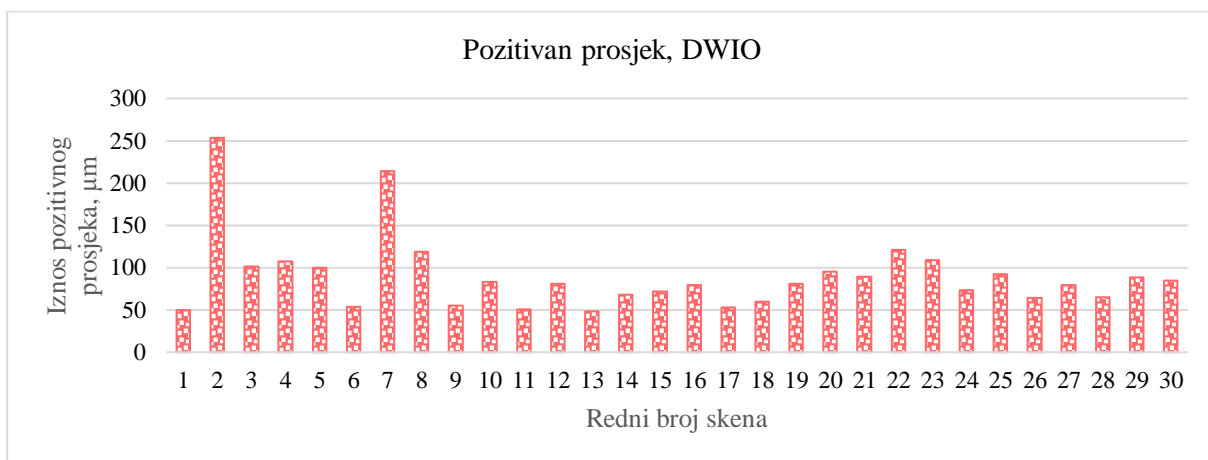
Slika 63. Pozitivan prosjek skenova, UP360



Slika 64. Pozitivan prosjek skenova, UP300



Slika 65. Pozitivan prosjek skenova, DWS3

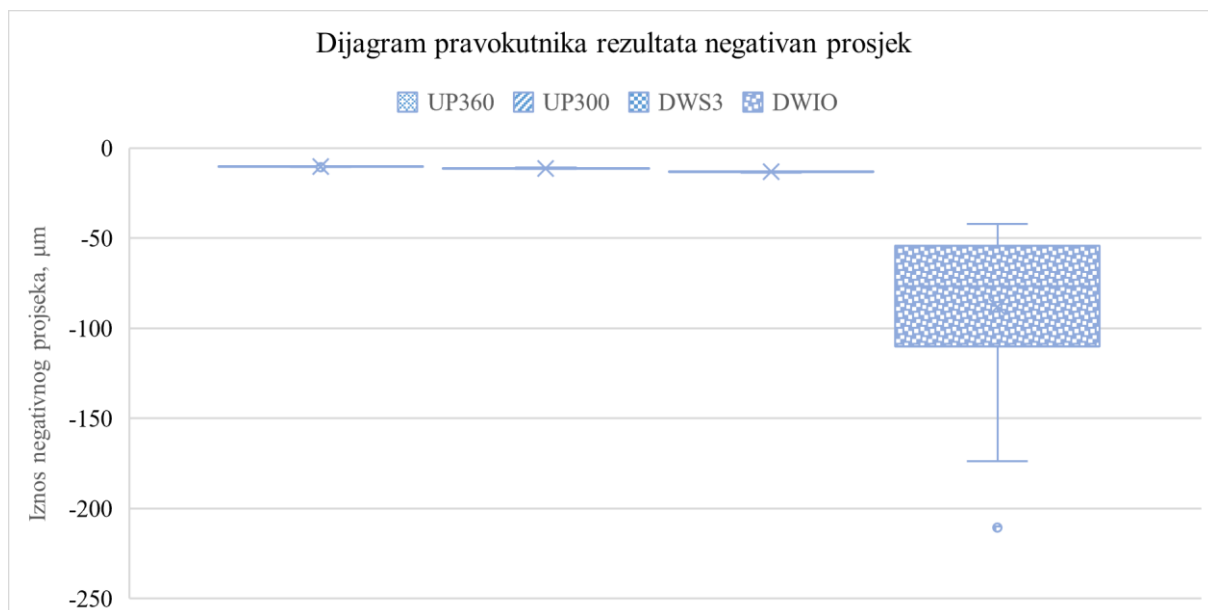


Slika 66. Pozitivan prosjek skenova, DWIO

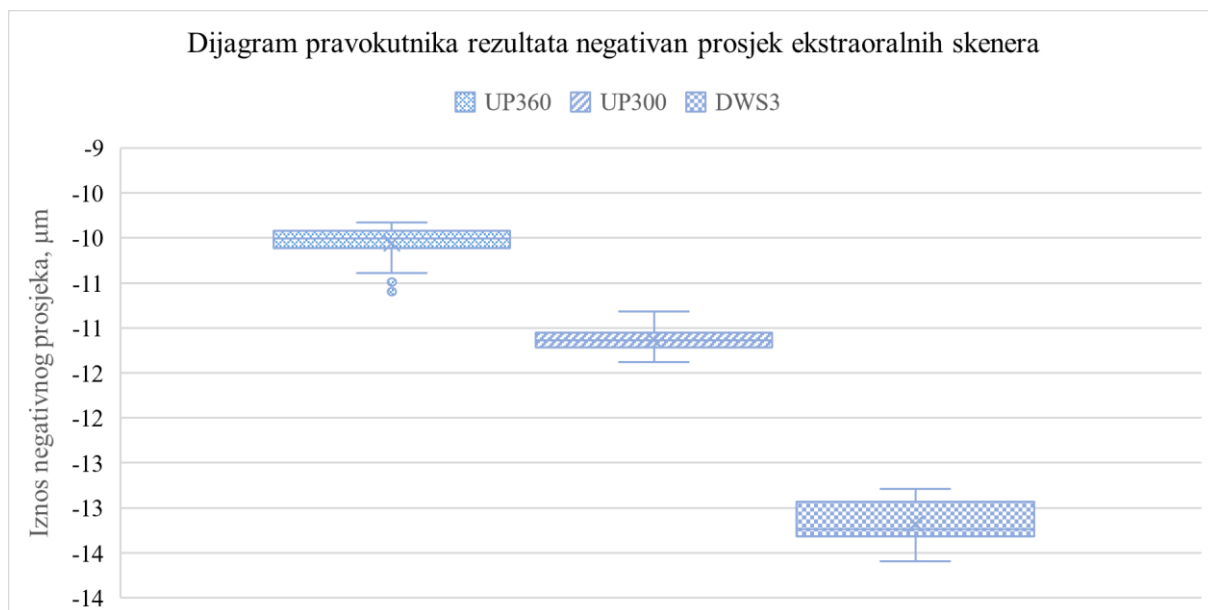
Shapiro-Wilk pokazao je značajna odstupanja rezultata od normalnih distribucija za skener DWIO ($p < 0,001$). Za skenere UP360 ($p = 0,9477$), UP300 ($p = 0,1976$), DWS3 ($p = 0,4198$) nisu utvrđena značajna odstupanja. Kruskal-Wallis testom ustanovljeno je da postoje statistički značajne razlike između uspoređivanih skenera ($p < 0,001$). Naposljetku, Mann-Whitney-Wilcoxon test za višestruke usporedbe pokazao je da postoje statistički značajne razlike između svih parova skenera ($p < 0,001$).

5.3.4. Prosjek negativnih devijacija

Na slici 67 prikazan je dijagram pravokutnika rezultata negativnih prosjeka za odabrane skenere. Na slici 68 prikazan je dijagram pravokutnika rezultata negativnih prosjeka samo za ekstraoralne skenere jer su u dijagramu rezultati skenera UP360, UP300 i DWS3 slabo vidljivi zbog velikog raspona rezultata DWIO. Rezultati svih snimljenih skenova pojedinog skenera ($N = 30$) uzeti su u obzir te su u tablici 16 ispisani iznosi aritmetičke sredine, standardne devijacije, medijana te minimalne i maksimalne vrijednosti negativnih prosjeka. Grafovima je prikazana distribucija rezultata negativnih prosjeka, dobivenih usporedbom skenova s referentnim skenom (Slika 69, Slika 70, Slika 71 i Slika 72). Skener UP360 postigao je najniže iznose aritmetičke sredine, medijana, minimalne i maksimalne vrijednosti u tablici, a DWIO sve najviše iznose. Pritom se za najniži iznos označava onaj iznos čija je apsolutna vrijednost najmanja. Najnižu vrijednost standardne devijacije postigao je skener UP300 ($0,13 \mu\text{m}$). Iz grafa je vidljiv raspon rezultata za UP360 (Slika 69) od $-9,83 \mu\text{m}$ (sken 24) do $-10,60 \mu\text{m}$ (sken 16). Rezultati za skener UP300 (Slika 70), kreću se u rasponu od $-10,81 \mu\text{m}$ (sken 1) do $-11,38 \mu\text{m}$ (sken 28), a za DWS3 (Slika 71) u rasponu od $-12,79 \mu\text{m}$ (sken 16) do $-13,60 \mu\text{m}$ (sken 28). Na grafu za skener DWIO (Slika 72) vidljiv je raspon od $-41,94 \mu\text{m}$ (sken 17) do $-210,56 \mu\text{m}$ (sken 8).



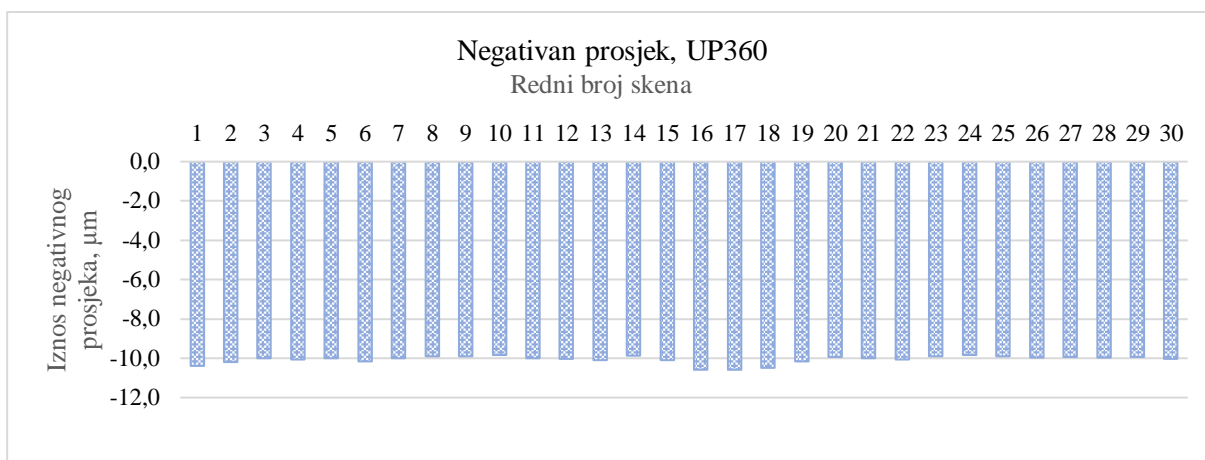
Slika 67. Dijagram pravokutnika za negativan prosjek



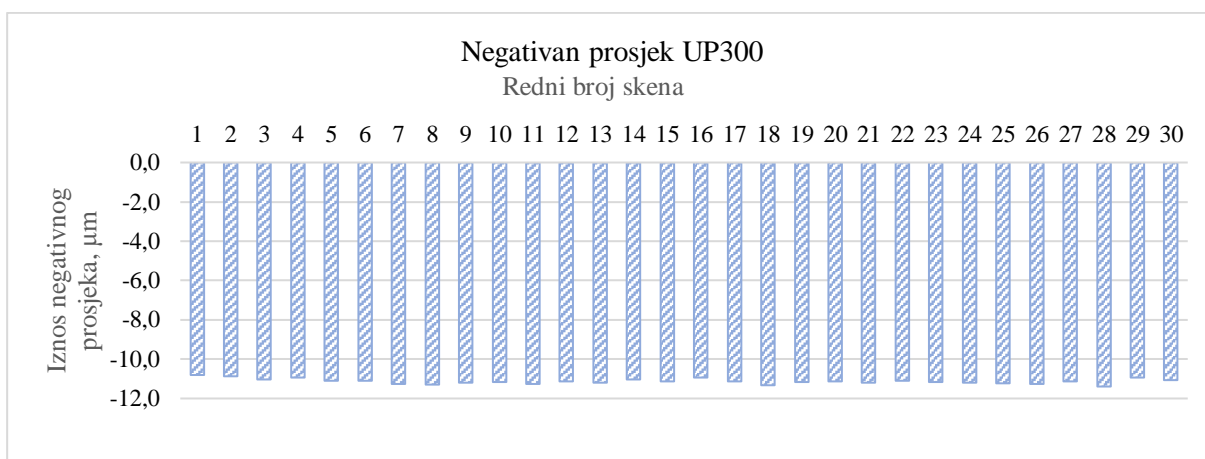
Slika 68. Dijagram pravokutnika rezultata negativan prosjek ekstraoralnih skenera

Tablica 16. Rezultati za negativan prosjek, μm

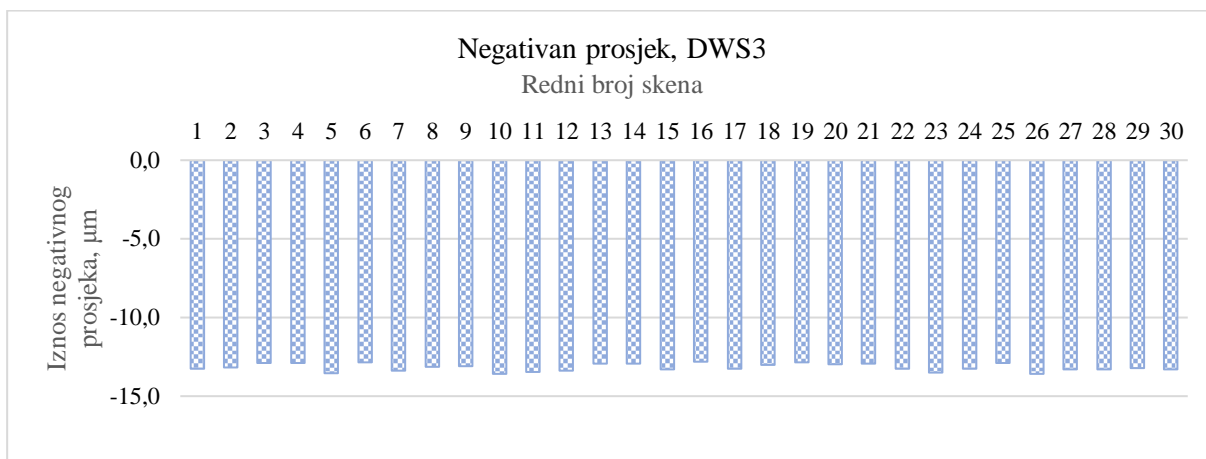
| | Aritmetička sredina | Standardna devijacija | Medijan | Minimalna vrijednost | Maksimalna vrijednost |
|--------------|---------------------|-----------------------|---------|----------------------|-----------------------|
| UP360 | -10,06 | 0,21 | -10,01 | -9,83 | -10,60 |
| UP300 | -11,13 | 0,13 | -11,14 | -10,81 | -11,38 |
| DWS3 | -13,17 | 0,24 | -13,24 | -12,79 | -13,60 |
| DWIO | -88,01 | 40,56 | -76,48 | -41,94 | -210,56 |



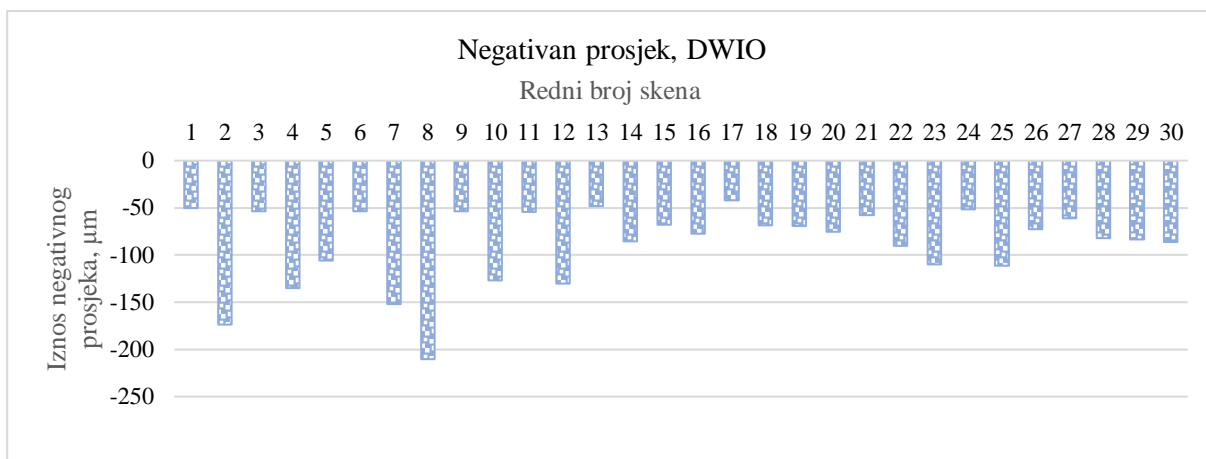
Slika 69. Negativan prosjek skenova, UP360



Slika 70. Negativan prosjek skenova, UP300



Slika 71. Negativan prosjek skenova, DWS3

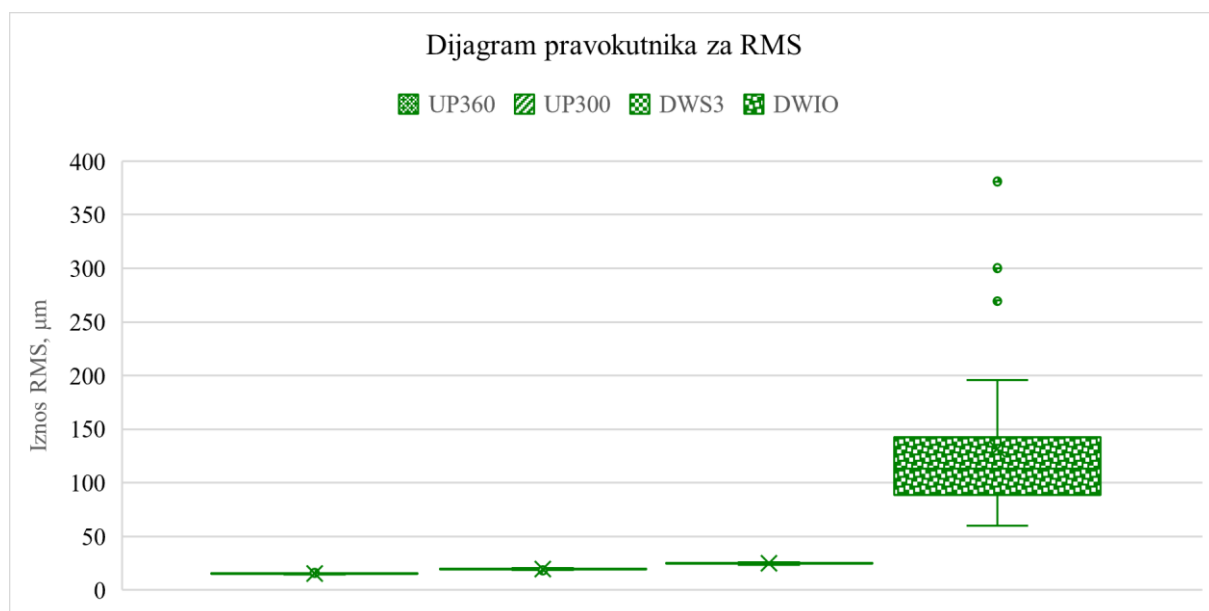


Slika 72. Negativan prosjek skenova, DWIO

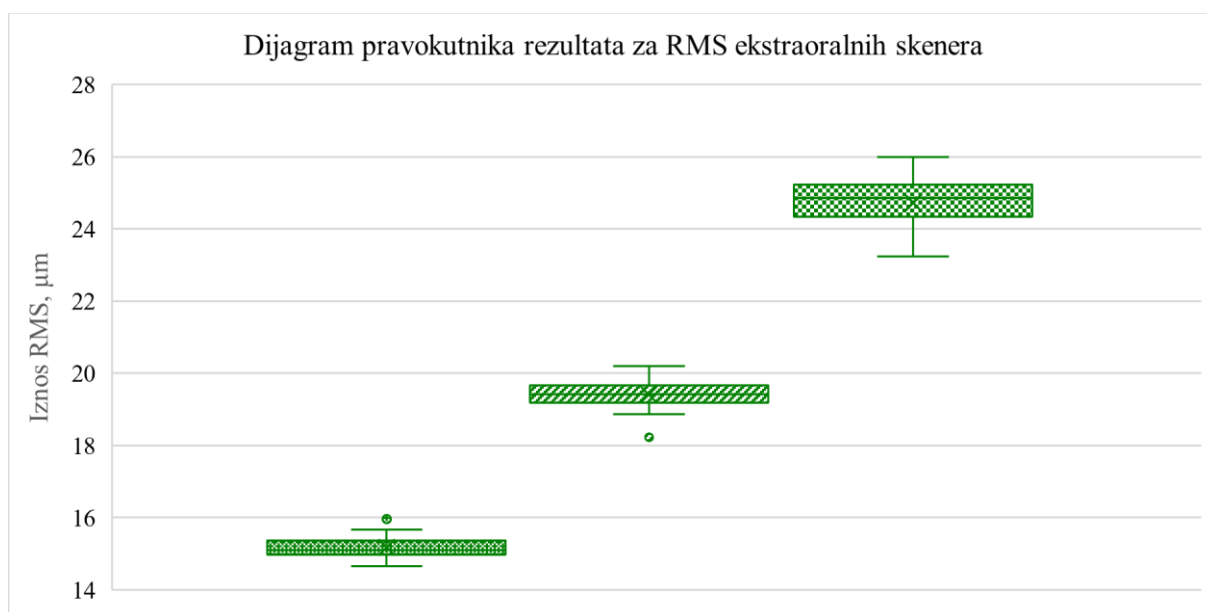
Shapiro-Wilk test pokazao je značajna odstupanja rezultata od normalnih distribucija za skenere za UP360 i DWIO ($p < 0,001$). Za skenere UP300 ($p = 0,5656$) i DWS3 ($p = 0,0978$) nisu utvrđena značajna odstupanja. Kruskal-Wallis testom pokazane su statistički značajne razlike između uspoređivanih skenera ($p < 0,001$). Naposljetku, Mann-Whitney-Wilcoxon test za višestruke usporedbe pokazao je da postoje statistički značajne razlike između svih parova skenera ($p < 0,001$).

5.3.5. RMS

Slika 73 prikazuje dijagram pravokutnika rezultata RMS za odabrane skenere. U dijagramu su rezultati skenera UP360, UP300 i DWS3 slabo vidljivi zbog velikog raspona rezultata DWIO. Stoga je na slici 74 prikazan dijagram pravokutnika rezultata RMS samo za ekstraoralne skenere. Pritom su rezultati svih snimljenih skenova pojedinog skenera ($N = 30$) uzeti u obzir te su u tablici 17 ispisani iznosi aritmetičke sredine, standardne devijacije, medijana te minimalne i maksimalne vrijednosti RMS. Grafovima je prikazana distribucija rezultata RMS, dobivenih usporedbom skenova s referentnim skenom (Slika 75, Slika 76, Slika 77 i Slika 78). Skener UP360 postigao je sve najniže iznose, a DWIO sve najviše iznose. Iz grafa je vidljiv raspon rezultata za UP360 μm (Slika 75) od 14,66 μm za sken 20 do 15,96 μm za sken 16. Isti skenovi imali su minimalne i maksimalne vrijednosti za pozitivan prosjek i minimum. Rezultati za skener UP300 (Slika 76) kreću se u rasponu od 18,23 μm (sken 1) do 20,21 μm (sken 8), a za DWS3 (Slika 77) u rasponu od 23,23 μm (sken 1) do 25,99 μm (sken 11). Isti skenovi su za oba skenera imali minimalne i maksimalne iznose pozitivnih prosjeka. Na grafu za skener DWIO (Slika 78) vidljiv je raspon od 60,06 μm za sken 13 do 381,08 μm za sken 2. Ovi skenovi imali su najniže i najviše iznose za pozitivan prosjek, minimum i maksimum.



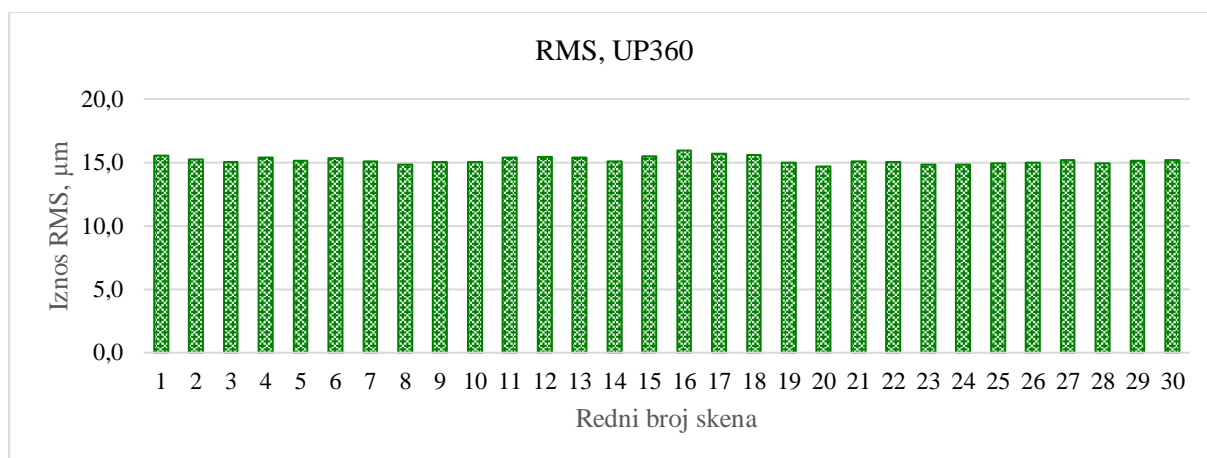
Slika 73. Dijagram pravokutnika za RMS



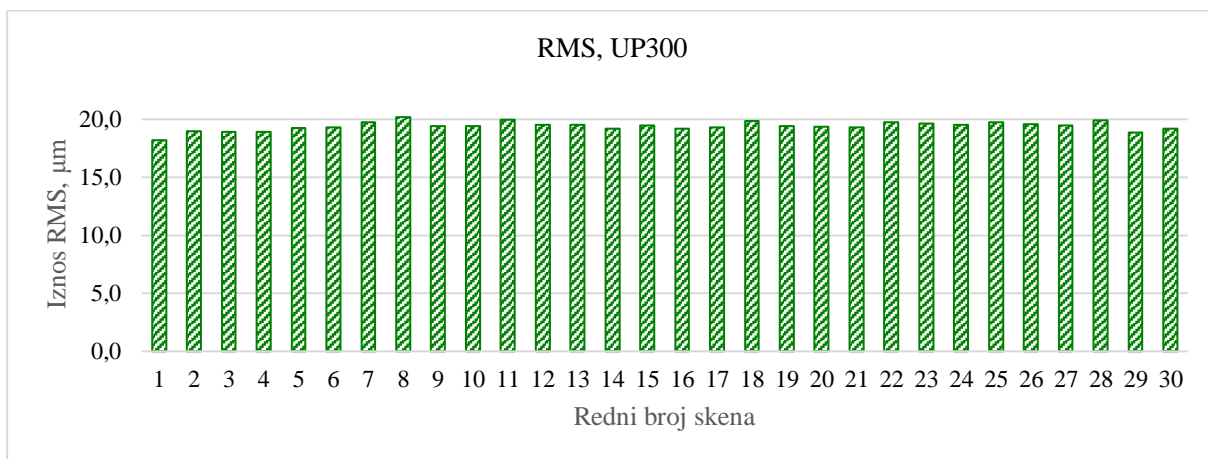
Slika 74. Dijagram pravokutnika rezultata za RMS ekstraoralnih skenera

Tablica 17. Rezultati za RMS, μm

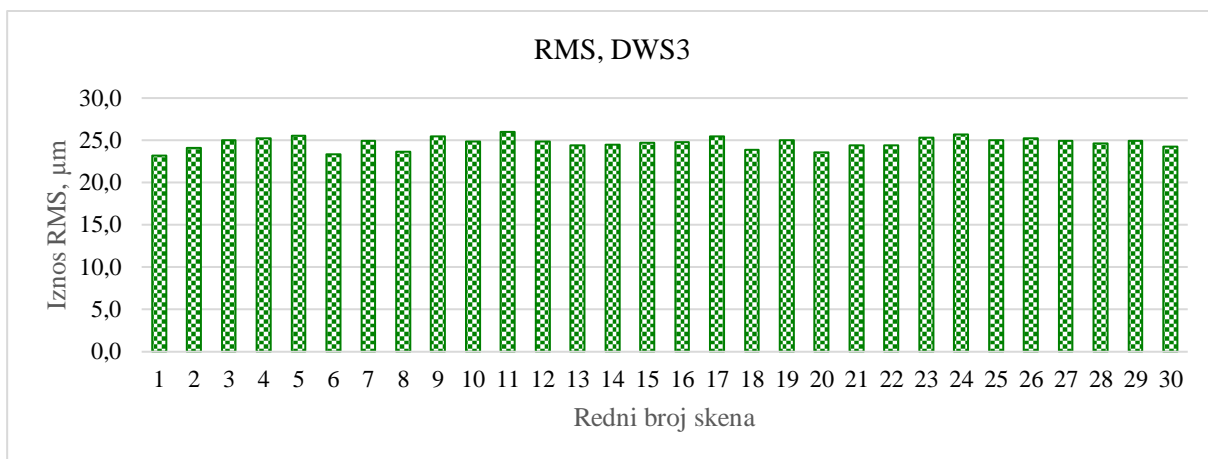
| | Aritmetička sredina | Standardna devijacija | Medijan | Minimalna vrijednost | Maksimalna vrijednost |
|--------------|---------------------|-----------------------|---------|----------------------|-----------------------|
| UP360 | 15,18 | 0,29 | 15,10 | 14,66 | 15,96 |
| UP300 | 19,40 | 0,39 | 19,42 | 18,23 | 20,21 |
| DWS3 | 24,72 | 0,69 | 24,85 | 23,23 | 25,99 |
| DWIO | 131,35 | 72,54 | 112,92 | 60,06 | 381,08 |



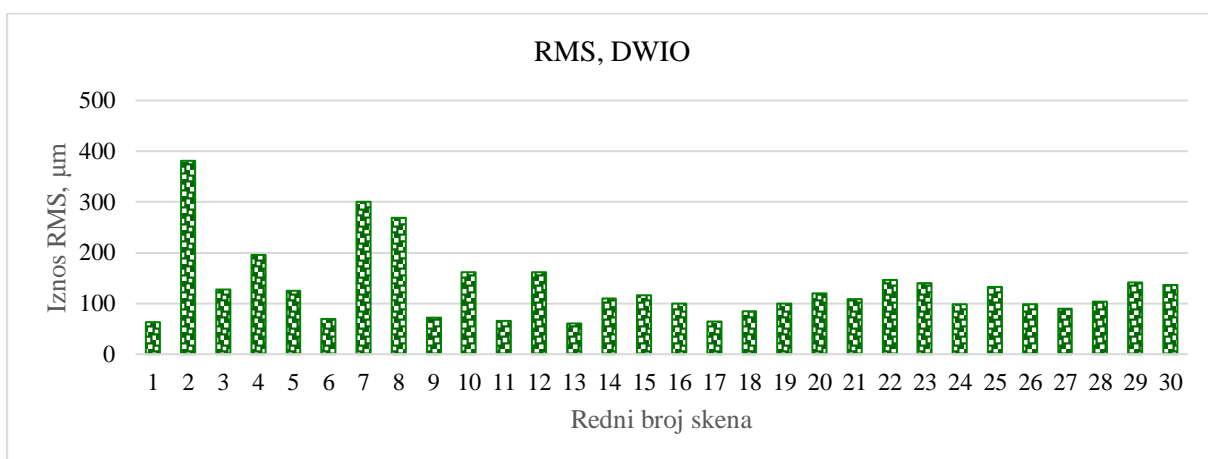
Slika 75. RMS skenova, UP360



Slika 76. RMS skenova, UP300



Slika 77. RMS skenova, DWS3

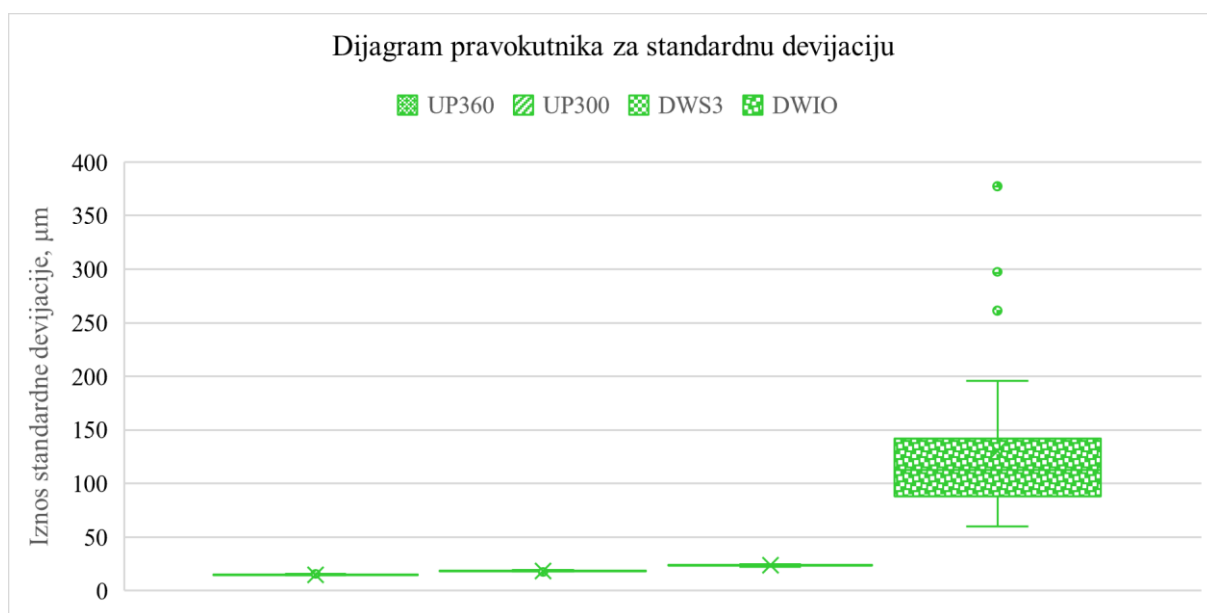


Slika 78. RMS skenova, DWIO

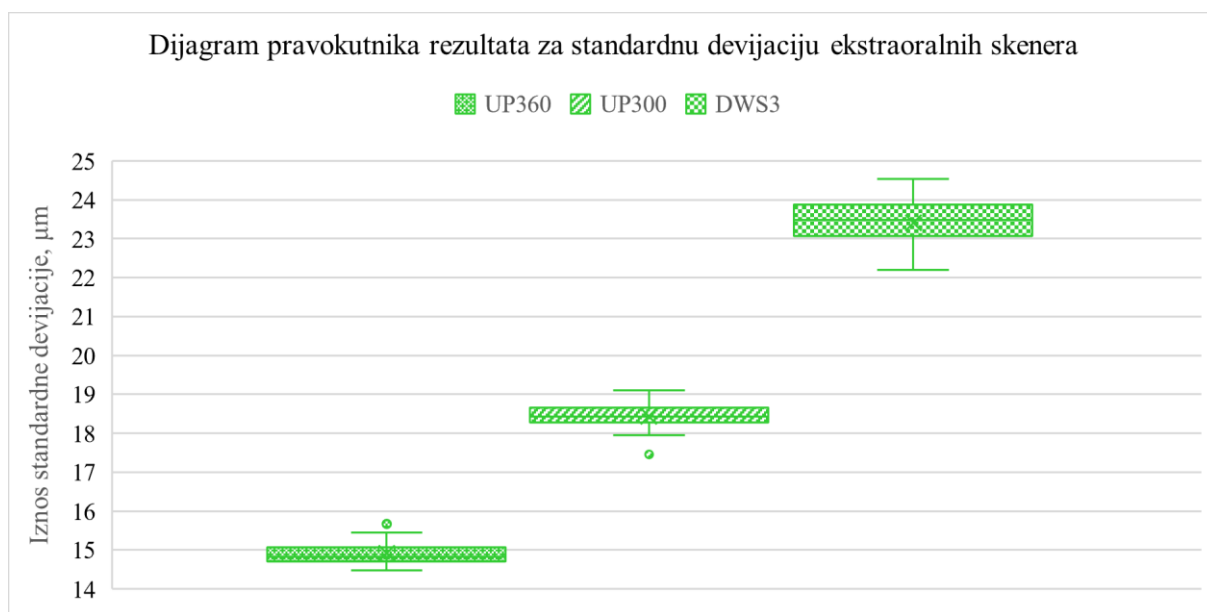
Shapiro-Wilk pokazao je značajna odstupanja rezultata od normalnih distribucija za skener DWIO ($p < 0,001$). Za skenere UP360 ($p = 0,3215$), UP300 ($p = 0,3988$) i DWS3 ($p = 0,4473$) nisu utvrđena značajna odstupanja. Kruskal-Wallis testom utvrđene su statistički značajne razlike između uspoređivanih skenera ($p < 0,001$). Naposljetku, Mann-Whitney-Wilcoxon test za višestruke usporedbe pokazao je da postoje statistički značajne razlike između svih parova skenera ($p < 0,001$).

5.3.6. Standardna devijacija

Na slici 79 prikazan je dijagram pravokutnika rezultata standardnih devijacija za odabrane skenere. U dijagramu su rezultati skenera UP360, UP300 i DWS3 slabo vidljivi zbog velikog raspona rezultata DWIO. Stoga je na slici 80 prikazan dijagram pravokutnika rezultata standardnih devijacija samo za ekstraoralne skenere. Rezultati svih snimljenih skenova pojedinog skenera ($N = 30$) uzeti su u obzir te su u tablici 18 ispisani iznosi aritmetičke sredine, standardne devijacije, medijana te minimalne i maksimalne vrijednosti standardnih devijacija. Slikama (Slika 81, Slika 82, Slika 83 i Slika 84) je prikazana distribucija rezultata standardnih devijacija, dobivenih usporedbom skenova s referentnim skenom. Skener UP360 postigao je sve najniže iznose, a DWIO sve najviše iznose. Iz grafa je vidljiv raspon rezultata za UP360 (Slika 81) od $14,48 \mu\text{m}$ (sken 20) do $15,68 \mu\text{m}$ (sken 16). Rezultati za skener UP300 (Slika 82) kreću se u rasponu od $17,46 \mu\text{m}$ (sken 1) do $19,11 \mu\text{m}$ (sken 8), a za DWS3 (Slika 83) u rasponu od $22,21 \mu\text{m}$ (sken 1) do $24,54 \mu\text{m}$ (sken 11). Na grafu za skener DWIO (Slika 84) vidljiv je raspon od $60,06 \mu\text{m}$ (sken 13) do $377,52 \mu\text{m}$ (sken 2). Iz ovih rezultata može se uočiti da su skenovi koji su postigli najviše ili najniže iznose za vrijednost RMS, postigli i najviše, odnosno najniže, iznose za standardnu devijaciju.



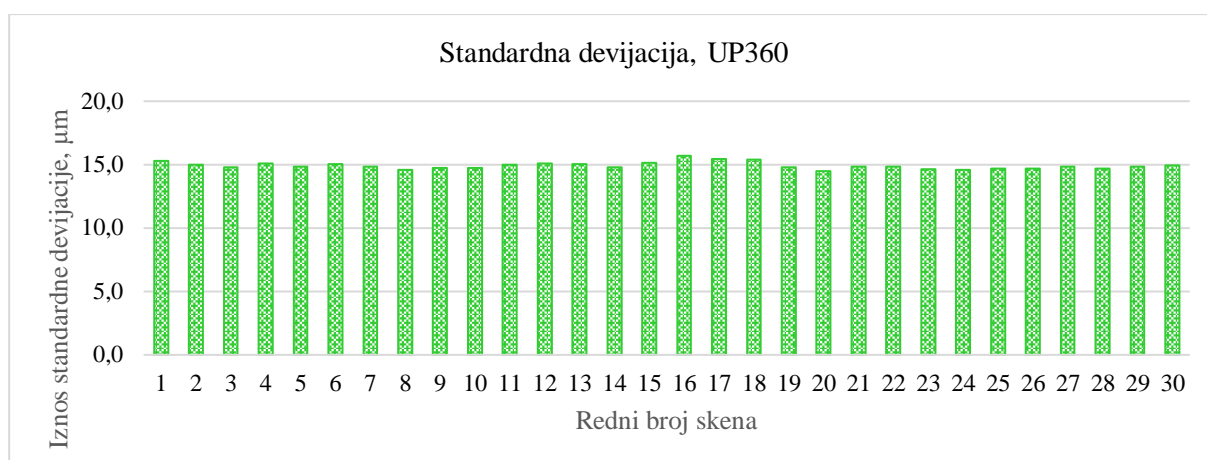
Slika 79. Dijagram pravokutnika za standardnu devijaciju



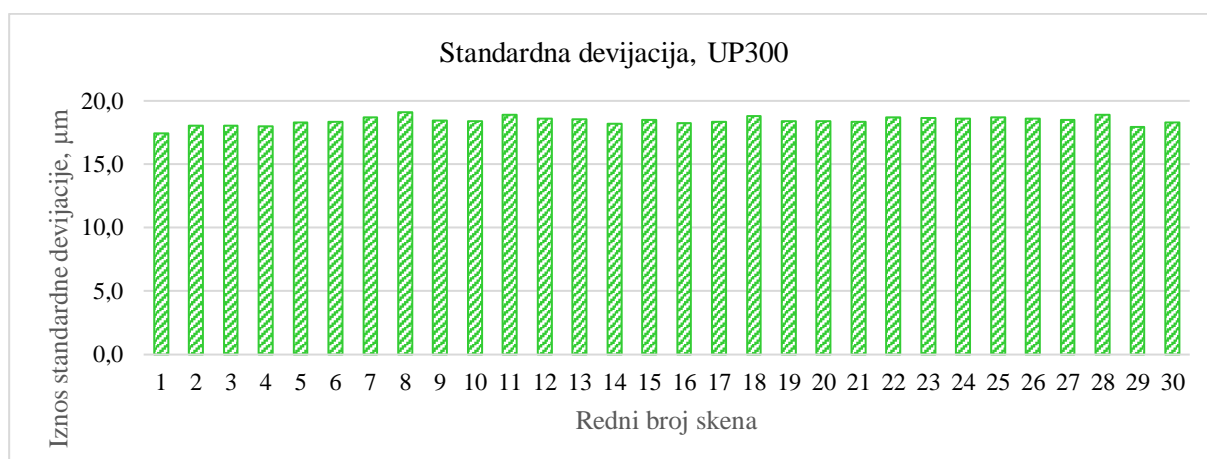
Slika 80. Dijagram pravokutnika rezultata za standardnu devijaciju ekstraoralnih skenera

Tablica 18. Rezultati za standardnu devijaciju, μm

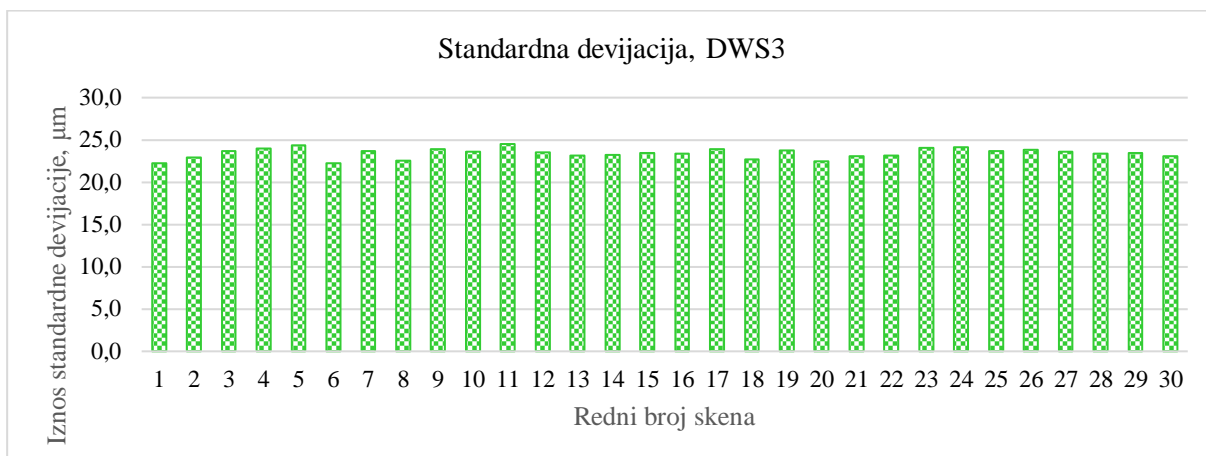
| | Aritmetička sredina | Standardna devijacija | Medijan | Minimalna vrijednost | Maksimalna vrijednost |
|--------------|----------------------------|------------------------------|----------------|-----------------------------|------------------------------|
| UP360 | 14,91 | 0,27 | 14,83 | 14,48 | 15,68 |
| UP300 | 18,43 | 0,33 | 18,43 | 17,46 | 19,11 |
| DWS3 | 23,42 | 0,59 | 23,48 | 22,21 | 24,54 |
| DWIO | 130,30 | 71,45 | 112,86 | 60,06 | 377,52 |



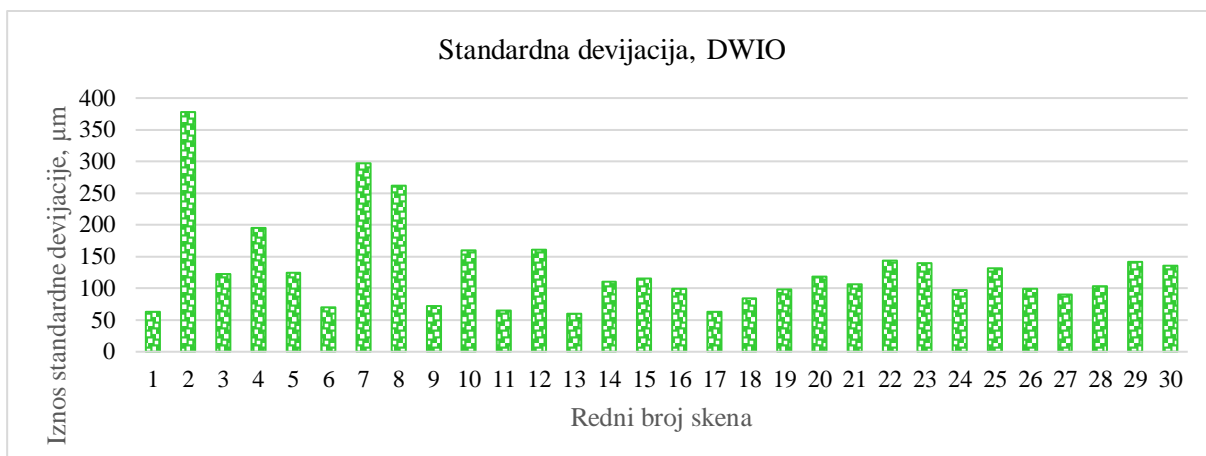
Slika 81. Standardna devijacija skenova, UP360



Slika 82. Standardna devijacija skenova, UP300



Slika 83. Standardna devijacija skenova, DWS3

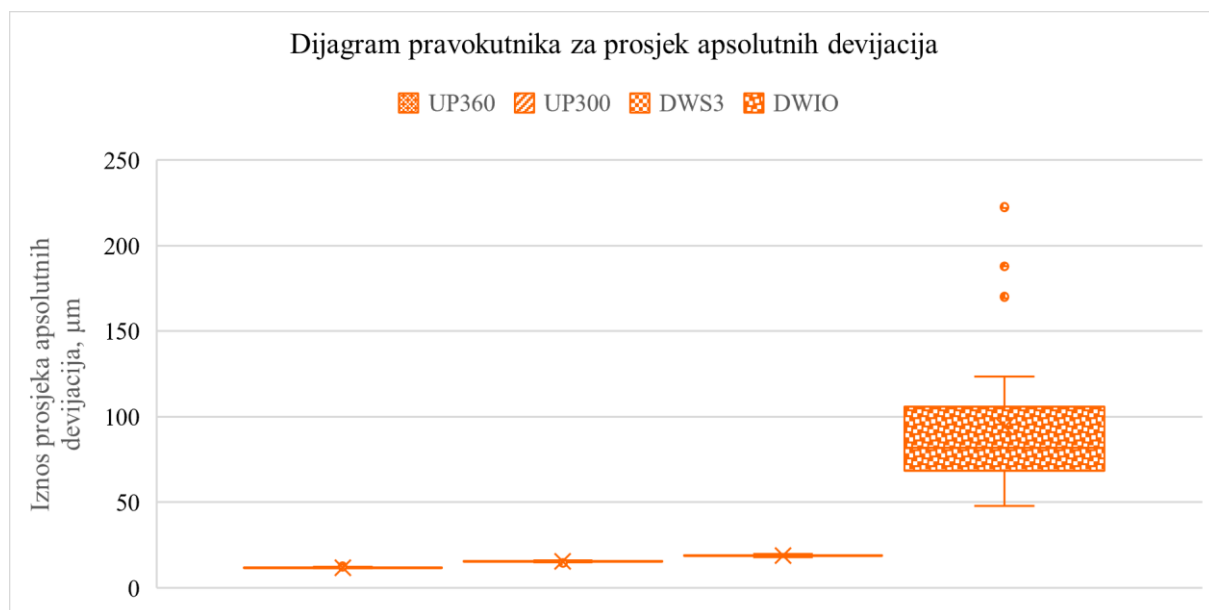


Slika 84. Standardna devijacija skenova, DWIO

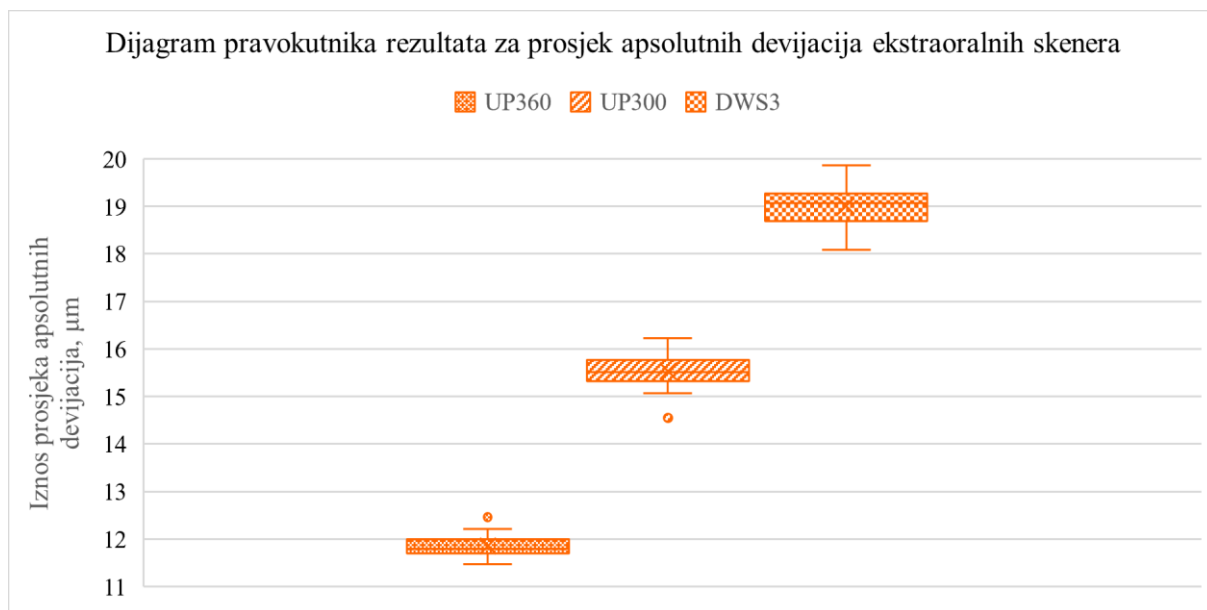
Shapiro-Wilk test pokazao je značajna odstupanja rezultata od normalnih distribucija za skener DWIO ($p < 0,001$). Za skenere UP360 ($p = 0,05028$), UP300 ($p = 0,4775$) i DWS3 ($p = 0,5784$) nisu utvrđena značajna odstupanja. Kruskal-Wallis testom utvrđene su statistički značajne razlike između testiranih skenera ($p < 0,001$). Naposljetku, Mann-Whitney-Wilcoxon test za višestruke usporedbe pokazao je da postoje statistički značajne razlike između svih parova skenera ($p < 0,001$).

5.3.7. Prosjek apsolutnih devijacija

Slika 85 prikazuje dijagram pravokutnika rezultata prosjeka apsolutnih devijacija za odabrane skenere. U dijagramu su rezultati skenera UP360, UP300 i DWS3 slabo vidljivi zbog velikog raspona rezultata DWIO. Stoga je na slici 86 prikazan dijagram pravokutnika rezultata prosjeka apsolutnih devijacija samo za ekstraoralne skenere. Rezultati svih snimljenih skenova ($N = 30$) pojedinog skenera uzeti su u obzir te su u tablici 19 ispisani iznosi aritmetičke sredine, standardne devijacije, medijana te minimalne i maksimalne vrijednosti prosjeka apsolutnih devijacija. Grafovima je prikazana distribucija rezultata prosjeka apsolutnih devijacija, dobivenih usporedbom skenova s referentnim skenom (Slika 87, Slika 88, Slika 89 i Slika 90). Skener UP360 postigao je sve najniže iznose, a DWIO sve najviše iznose. Iz grafa je vidljiv raspon rezultata za UP360 (Slika 87) od 11,48 μm (sken 20) do 12,46 μm (16). Isti skenovi pokazali su minimalne i maksimalne vrijednosti i za RMS. Rezultati za skener UP300 (Slika 88) kreću se u rasponu od 14,55 μm za sken 1 (kao i kod RMS) do 16,22 μm za sken 10. Ovdje se uočava razlika s obzirom na RMS vrijednost jer je za nju sken 8 pokazao najviši iznos. U ovom slučaju iznos skena 8 malo je niži od skena 10 – iznosi 16,14 μm . Rezultati za DWS3 (Slika 89) kreću se u rasponu od 18,08 μm za sken 6 do 19,87 μm za sken 11 (kao i kod RMS). Ovdje se također uočava razlika s obzirom na RMS vrijednost jer je za nju sken 1 pokazao najniži iznos. U ovom slučaju iznos skena 1 malo je viši od skena 6 – iznosi 18,13 μm . Na grafu za skener DWIO (Slika 90) vidljiv je raspon od 48,08 μm za sken 2 do 222,42 μm za sken 13. Isti skenovi pokazali su minimalne i maksimalne vrijednosti i za RMS.



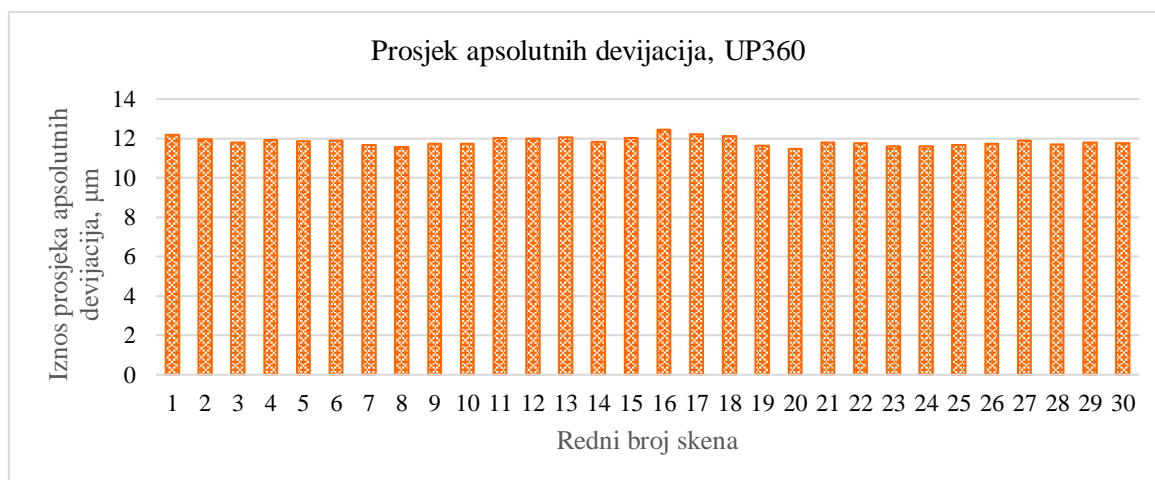
Slika 85. Dijagram pravokutnika za prosjek apsolutnih devijacija



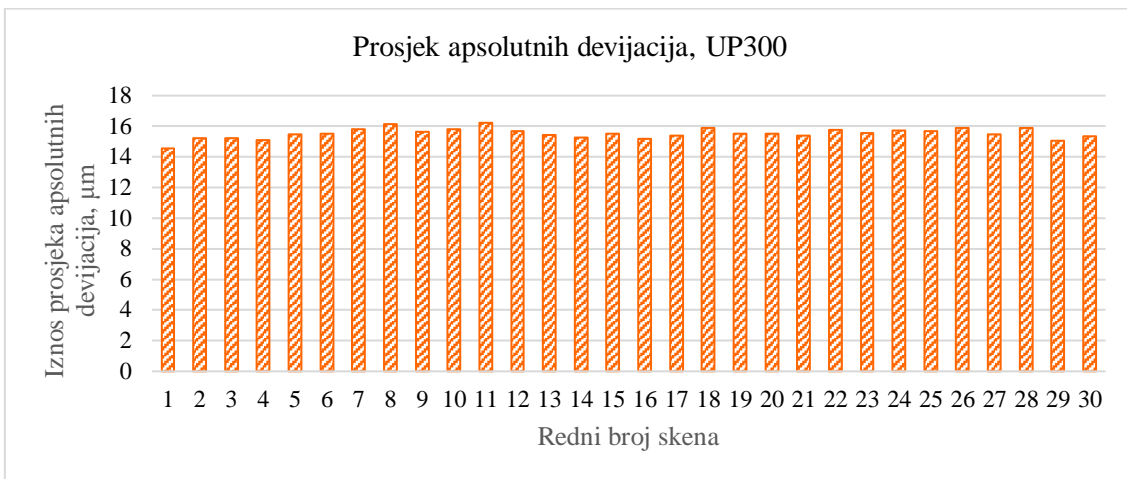
Slika 86. Dijagram pravokutnika rezultata za prosjek apsolutnih devijacija ekstraoralnih skenera

Tablica 19. Rezultati za prosjek apsolutnih devijacija, μm

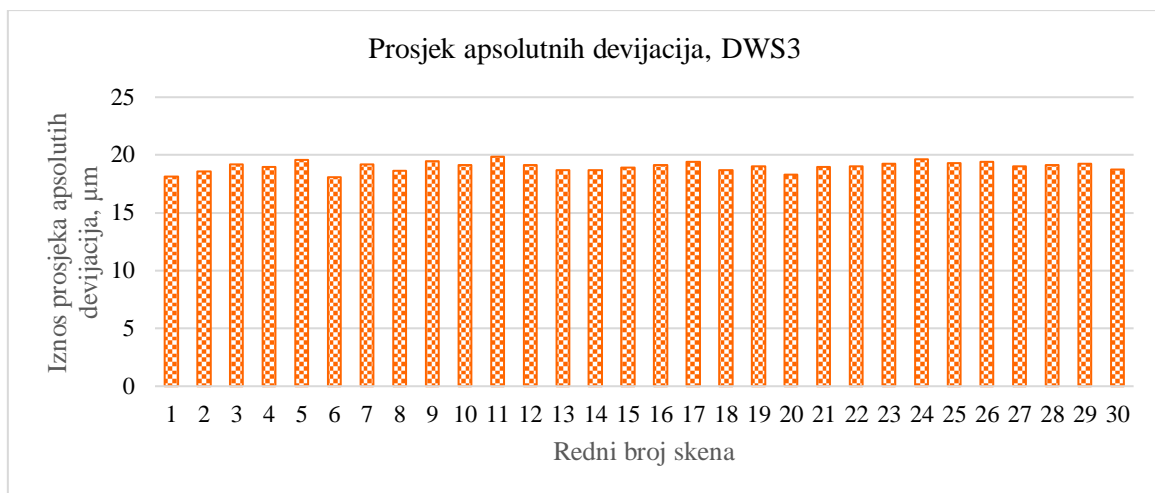
| | Aritmetička sredina | Standardna devijacija | Medijan | Minimalna vrijednost | Maksimalna vrijednost |
|--------------|---------------------|-----------------------|---------|----------------------|-----------------------|
| UP360 | 11,85 | 0,22 | 11,8 | 11,48 | 12,46 |
| UP300 | 15,53 | 0,34 | 15,51 | 14,55 | 16,22 |
| DWS3 | 19,01 | 0,42 | 19,07 | 18,08 | 19,87 |
| DWIO | 93,95 | 40,31 | 82,05 | 48,08 | 222,42 |



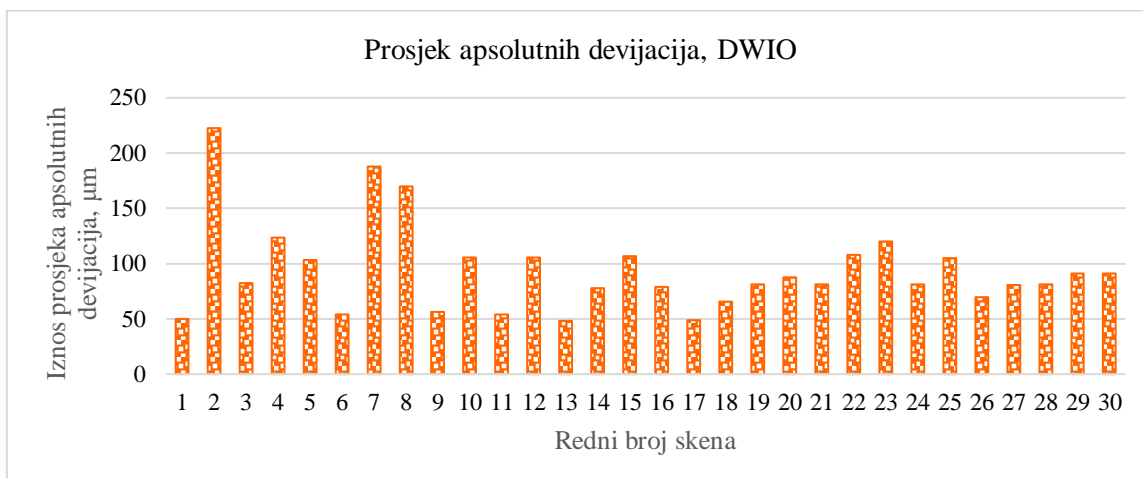
Slika 87. Prosjek apsolutnih devijacija skenova, UP360



Slika 88. Prosjeak apsolutnih devijacija skenova, UP300



Slika 89. Prosjeak apsolutnih devijacija skenova, DWS3



Slika 90. Prosjeak apsolutnih devijacija skenova, DWIO

Shapiro-Wilk pokazao je značajna odstupanja rezultata od normalnih distribucija za skener DWIO ($p < 0,001$). Za skenere UP360 ($p = 0,2955$), UP300 ($p = 0,6401$) i DWS3 ($p = 0,6524$) nisu utvrđena značajna odstupanja. Kruskal-Wallis testom utvrđene su statistički značajne razlike između uspoređivanih skenera ($p < 0,001$). Naposljetku, Mann-Whitney-Wilcoxon test za višestruke usporedbe pokazao je da postoje statistički značajne razlike između svih parova skenera ($p < 0,001$).

5.3.8. Varijabilnost skenova pojedinog skenera

Provedena su dva statistička *Friedman* testa kako bi se ustanovila varijabilnost između skenova pojedinog skenera. Testovi su provedeni tako da su međusobno promatrane razlike devijacija svih točaka ($n = 67189$) za trideset skenova pojedinog skenera. Pritom je u prvom testu smjer devijacije uzet u obzir, dok u drugom testu nije. Za analizu magnituda razlika proveden je post-hoc test, tj. *Kendall W* analiza kojom je ustanovljeno da je magnituda razlika malena (uz $W=0,000312$ za skener UP360, $W=0,000137$ za skener UP300, $W=0,000317$ za skener DWS3 i $W=0,00547$ za skener DWIO u prvom testu te $W=0,000419$ za skener UP360, $W=0,000436$ za skener UP300, $W=0,000464$ za skener DWS3 i $W=0,0634$ za skener DWIO u drugom testu). Kako bi se ustanovilo koliki je udio parova skenova koji su značajno različiti jedan od drugog, korišten je *Wilcoxon signed rank* test te korekcijska metoda *Bonferroni*, u svrhu korekcije p-vrijednosti za višestruke usporedbe. U prvom testu za skener UP360 značajno se razlikuje 183/435 parova, za skener UP300 98/435 parova, za skener DWS3 195/435 parova, a za skener DWIO 378/435 parova. U drugom testu za skener UP360 značajno se razlikuje 210/435 parova, za skener UP300 214/435 parova, za skener DWS3 229/435 parova, a za skener DWIO 420/435 parova. Može se zaključiti da su razlike između skenova razmjerno male, no ovim testom je dokazano je skener DWIO manje precizan, tj. da kod njega postoje češće razlike među skenovima. Skener UP300 najviše je precizan ukoliko se u obzir uzme smjer devijacije, no mala je razlika između skenera UP300 i UP360 na podacima o apsolutnim devijacijama.

5.3.9. Prikaz distribucije devijacija na modelu

Prikaz distribucija devijacija na modelu kreiran je za sve usporedbe skenova s referentnim skenom, kako bi se ustanovila kritična područja tj. područja s najvećim devijacijama na skenovima. U ovom poglavlju provest će se analiza za po dva skena skenera UP360, UP300, DWS3 i DWIO. Odabrani su skenovi s najmanjim i najvećim iznosima prosjeka apsolutnih devijacija, dani su u tablici 20.

Tablica 20. Vrijednosti prosjeka apsolutnih devijacija prikazanih skenova, μm

| Skener | UP360 | | UP300 | | DWS3 | | DWIO | |
|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Sken | 20 | 16 | 1 | 11 | 6 | 11 | 13 | 2 |
| Prosjek apsolutnih devijacija | 11,48 | 12,46 | 14,55 | 16,22 | 18,08 | 19,87 | 48,08 | 222,41 |

Vrijednosti devijacija prikazane su pomoću boja, kao kod modela 1. Zelenom bojom označena su područja s malim iznosima devijacija, od -10 do 10 μm . Žuto – narančastim tonovima prikazana su područja s pozitivnim devijacijama, koje se kreću u rasponu od 10 do 100 μm . Područja devijacija sa iznosima većim od 100 μm označena su crvenom bojom. [16] Plavim tonovima obojena su područja s negativnim iznosima devijacija, od -10 do -100 μm . Područja sa iznosima devijacija koja premašuju -100 μm označena su tamno plavom bojom.

Na slici 91 prikazana je distribucija devijacija za sken 20 skenera UP360. Sjekutići i očnjaci imaju većim dijelom devijacije u rasponu od -10 do 10 μm , dok njihovi incizalni bridovi imaju pozitivne devijacije u rasponu od 10 do 40 μm . Palatinalne plohe pretkutnjaka i kutnjaka imaju devijacije od 10 do 40 μm , a njihove okluzalne plohe imaju devijacije u rasponu od -10 do 10 μm . Područja uz rubove fisura imaju blago negativne devijacije, od -10 do -20 μm , a područja između zuba imaju veće iznose negativnih devijacija, u rasponu od -50 do -80 μm . Na prikazu distribucija devijacija za sken 16 (Slika 92) ne uočavaju se velike razlike u odnosu na prethodno opisani prikaz distribucija devijacija, osim što su lagano proširena područja s pozitivnim devijacijama uz palatinalne plohe pretkutnjaka i kutnjaka, ali i dalje se kreću u rasponu od 10 do 40 μm . Također, izraženije su pozitivne devijacije uz margine zubi, s iznosima od 10 do 20 μm .

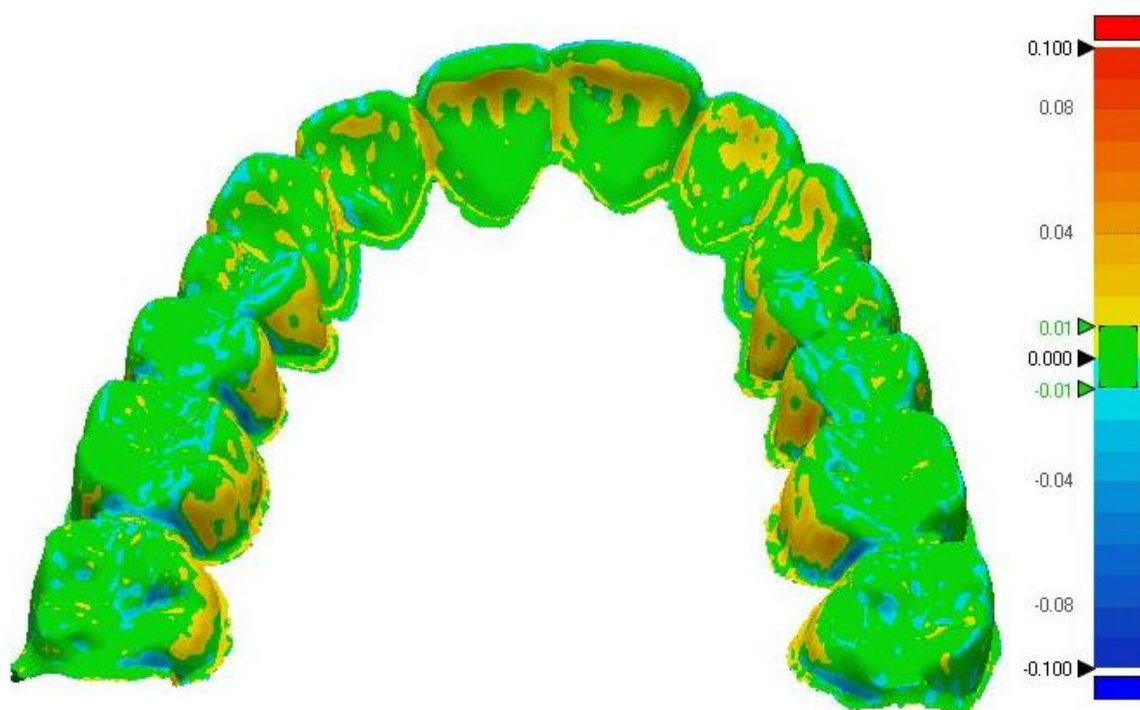
Nema velikih razlika između prikaza distribucije devijacija za skenove 1 i 11 skenera UP300 (Slika 93 i Slika 94). Na Slika 93 sjekutići i očnjaci imaju većim dijelom devijacije u rasponu

od -10 do 10 μm , dok njihovi incizalni bridovi imaju pozitivne devijacije u rasponu od 10 do 40 μm . Palatinalne plohe pretkutnjaka i kutnjaka imaju devijacije od 10 do 40 μm , a njihove okluzalne plohe imaju devijacije u rasponu od -10 do 10 μm . Područja uz rubove fisura imaju manje negativne devijacije, od -10 do -20 μm , ali i manje pozitivne devijacije, od 10 do 20 μm .

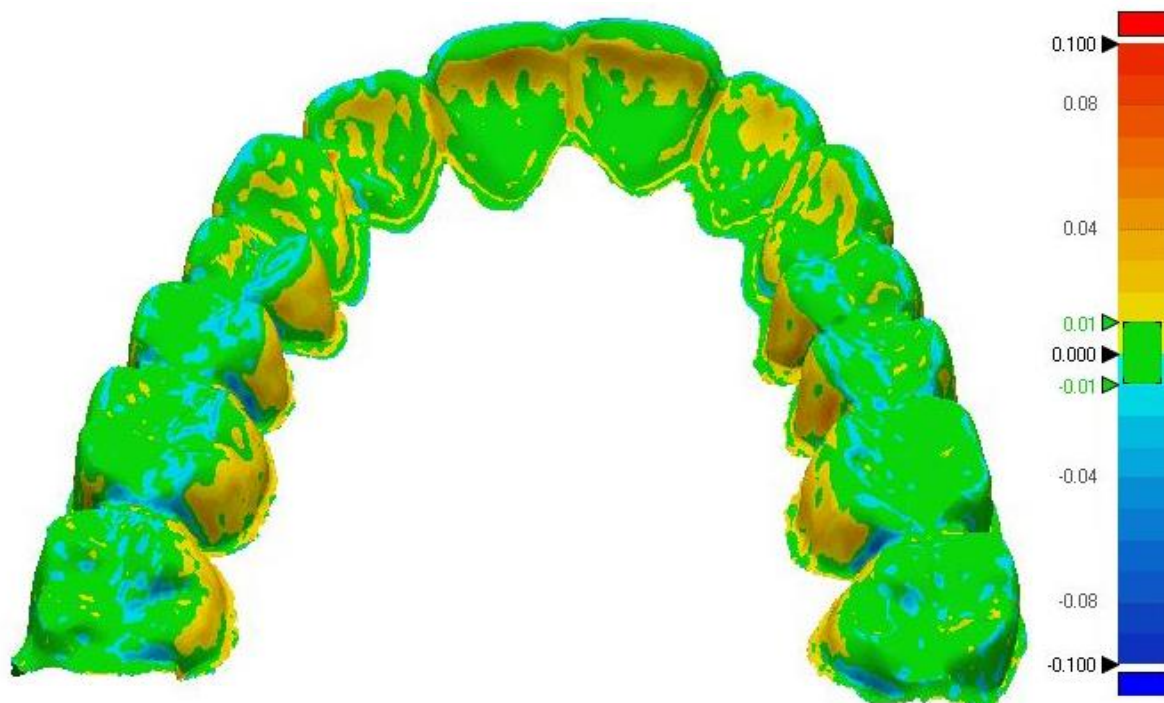
Na prikazu distribucija devijacija za sken 6 skenera DWS3 (Slika 95) plohe sjekutića imaju devijacije u rasponu od -10 do 20 μm , a plohe očnjaka te pretkutnjaka i kutnjaka imaju devijacije od 10 do 80 μm . Njihove okluzalne plohe imaju devijacije u rasponu od -10 do 30 μm . Područja uz rubove fisura imaju negativne devijacije, od -10 do -50 μm , a područja između zuba imaju veće iznose negativnih devijacija, u rasponu od -50 do -80 μm . Devijacije su izraženije s lijeve strane zubnog luka. Kod skena 11 (Slika 96) ne uočavaju se velike razlike u odnosu na prethodno opisani prikaz distribucije devijacija, osim što su lagano proširena područja s pozitivnim devijacijama uz palatinalne plohe pretkutnjaka, kutnjaka i incizalne bridove očnjaka i sjekutića, ali se i dalje se kreću u rasponu od 10 do 80 μm .

Kod skena 13 skenera DWIO (Slika 97) vidljiva je značajna razlika s obzirom na prethodno opisane prikaze distribucije devijacija. Palatinalne plohe sjekutića i očnjaka, s lijeve strane te pretkutnjaka i kutnjaka s lijeve i desne strane zubnog luka imaju pozitivne devijacije u rasponu od 10 do preko 100 μm . Okluzalne plohe i incizalni bridovi imaju pozitivne i negativne devijacije, s time da one iznose s unutarnje strane zubnog luka u rasponu od -10 do -100 μm , a prema vanjskoj strani luka od 10 do preko 100 μm . Područje uz fisure te između zubi imaju devijacije iznosa od -10 do 10 μm . Na prikazu distribucija devijacija za sken 2 (Slika 98) uočljive su još veće devijacije nego kod skena 13. Lijevi kutnjaci i pretkutnjaci imaju izrazito negativne devijacije na okluzalnim ploham, u potpunosti preko -100 μm , te izrazito pozitivne devijacije na sjekutićima, preko 100 μm . Devijacije na području desnih pretkutnjaka i kutnjaka iznose od -10 do -100 μm , a na krajnjem desnom kutnjaku i preko 100 μm . Na palatinalnim stranama sjekutića i očnjaka devijacije iznose od 10 do 80 μm , osim na području incizalnih bridova prednjih sjekutića, gdje iznose preko 100 μm . Prema tome, postoje izrazito velike razlike između skenova s najvećim i najmanjim iznosom prosjeka apsolutnih devijacija za skener DWIO.

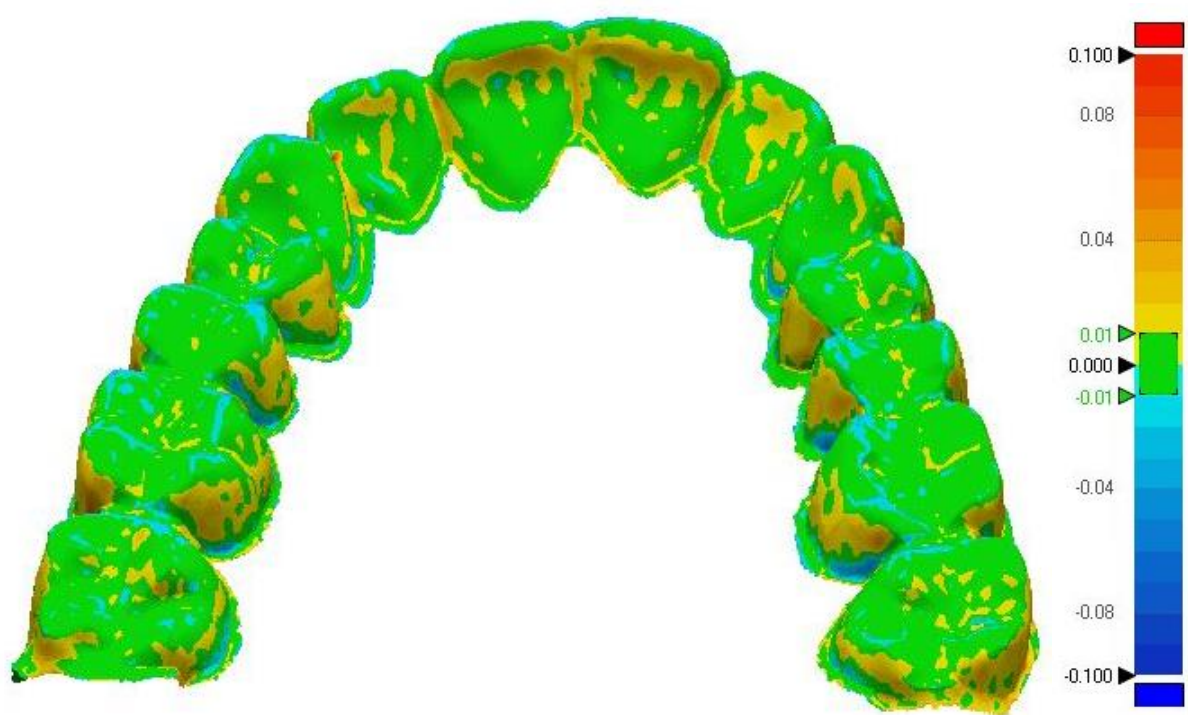
Iako ni kod modela 2 distribucije devijacija nisu u potpunosti jednolike raspoređene, ta razlika je ipak manja u odnosu na distribuciju devijacija kod modela 1. Na ovom modelu ipak su manje izbočeni zubi te je zakretanjem skenerima lakše skenirati sve površine modela. Također, manje su distribucije devijacija između skenova pojedinih skenera, kao i između različitih skenera.



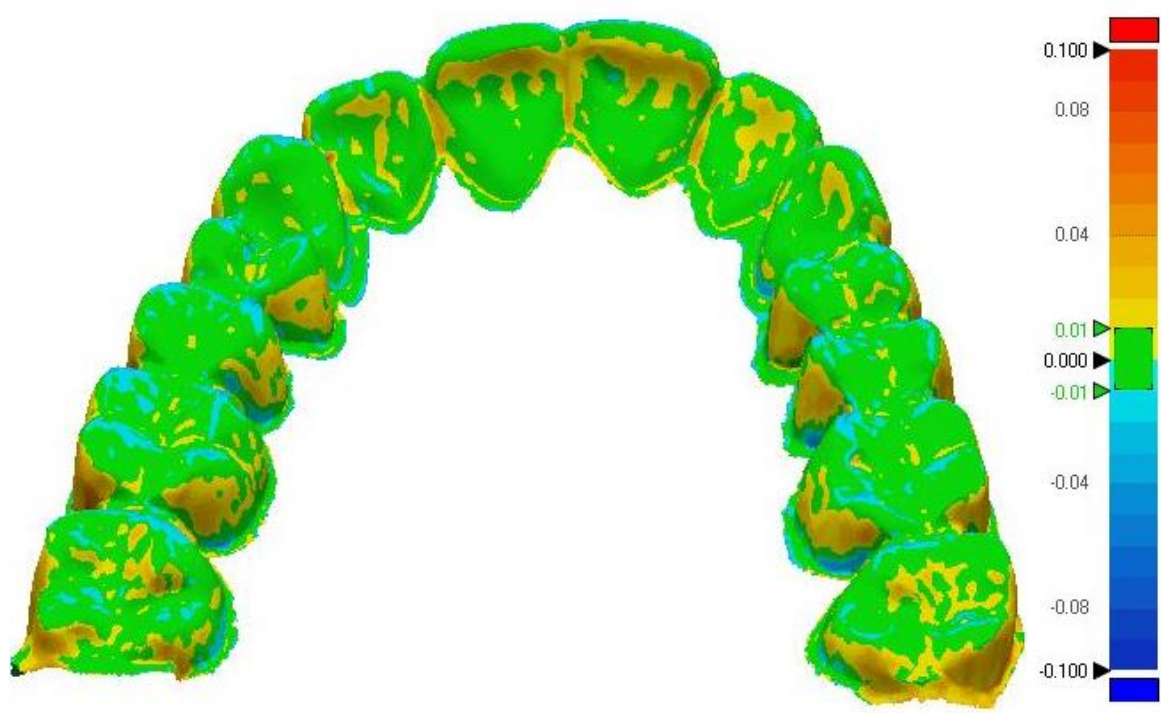
Slika 91. Prikaz distribucija devijacija na modelu, UP360, sken 20



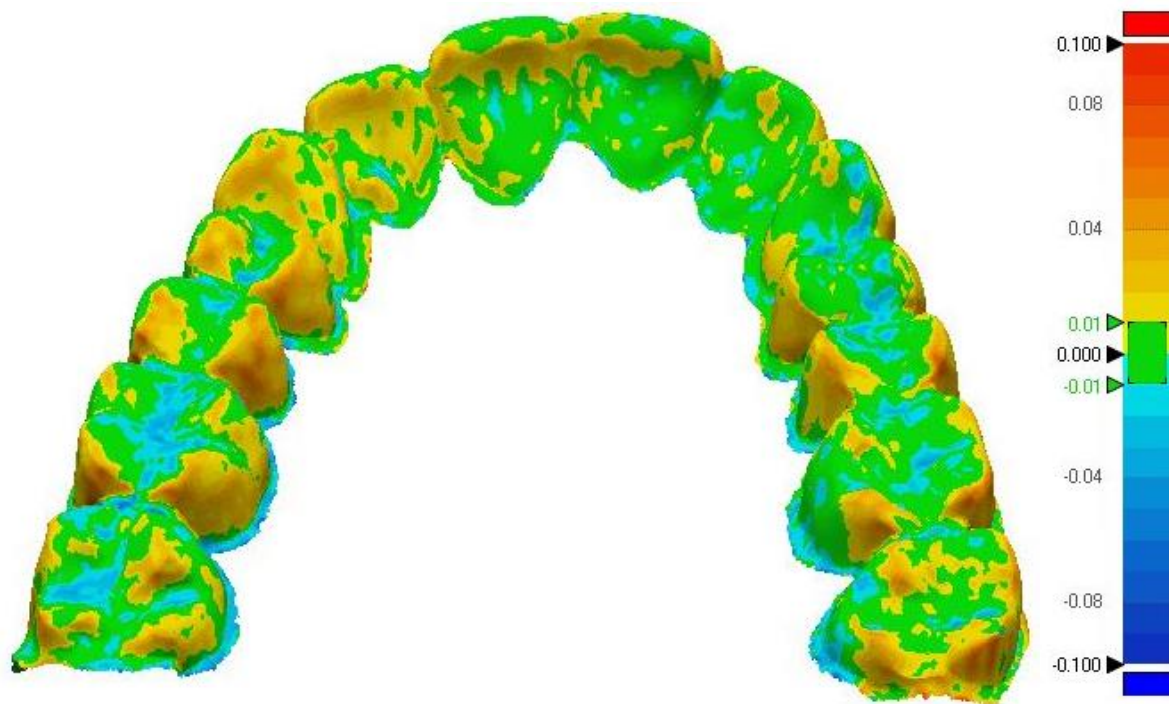
Slika 92. Prikaz distribucija devijacija na modelu, UP360, sken 16



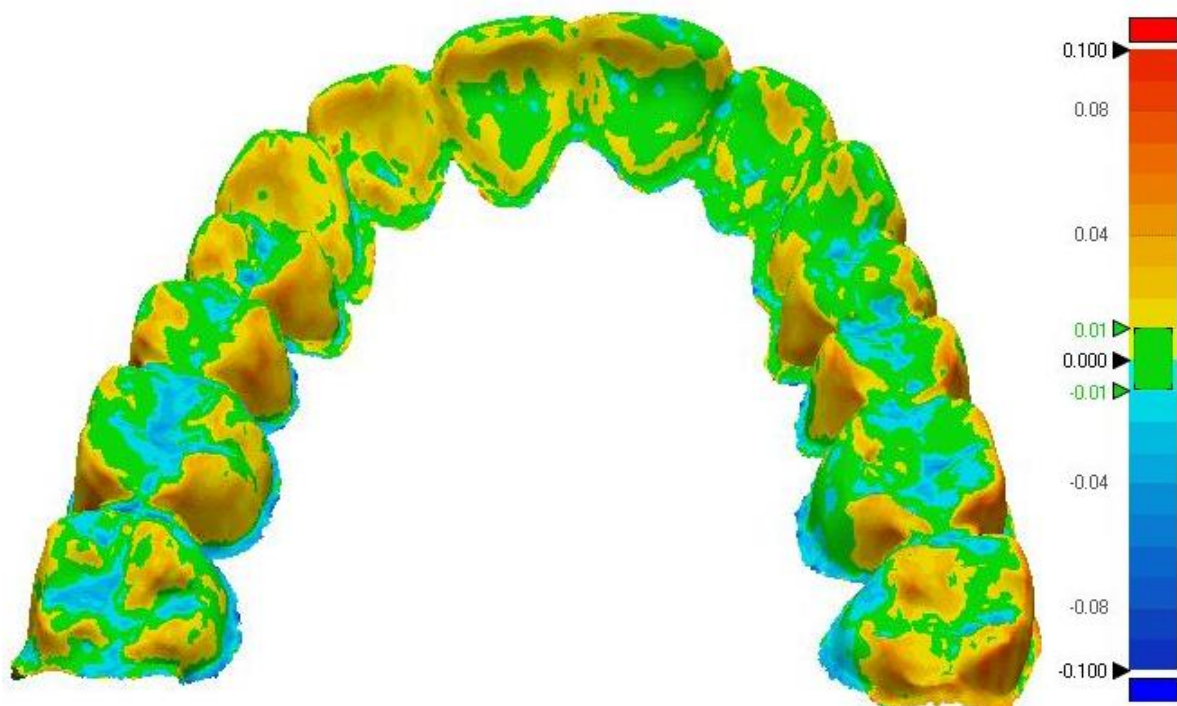
Slika 93. Prikaz distribucija devijacija na modelu, UP300, sken 1



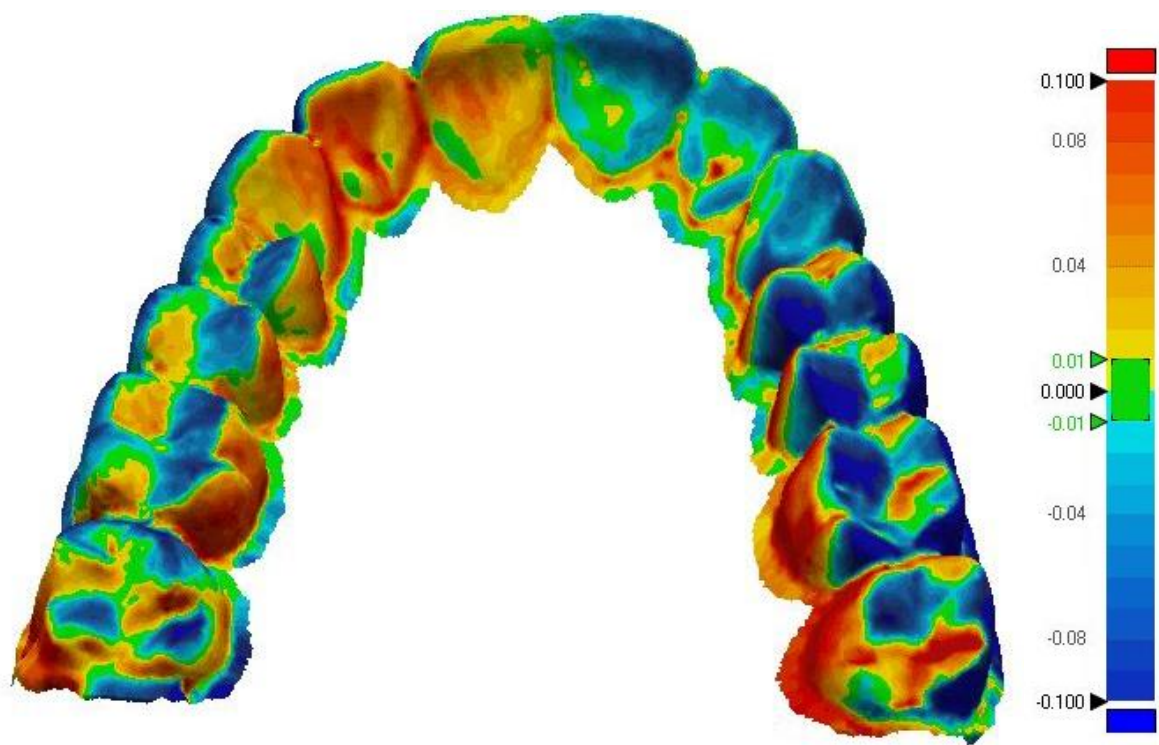
Slika 94. Prikaz distribucija devijacija na modelu, UP300, sken 11



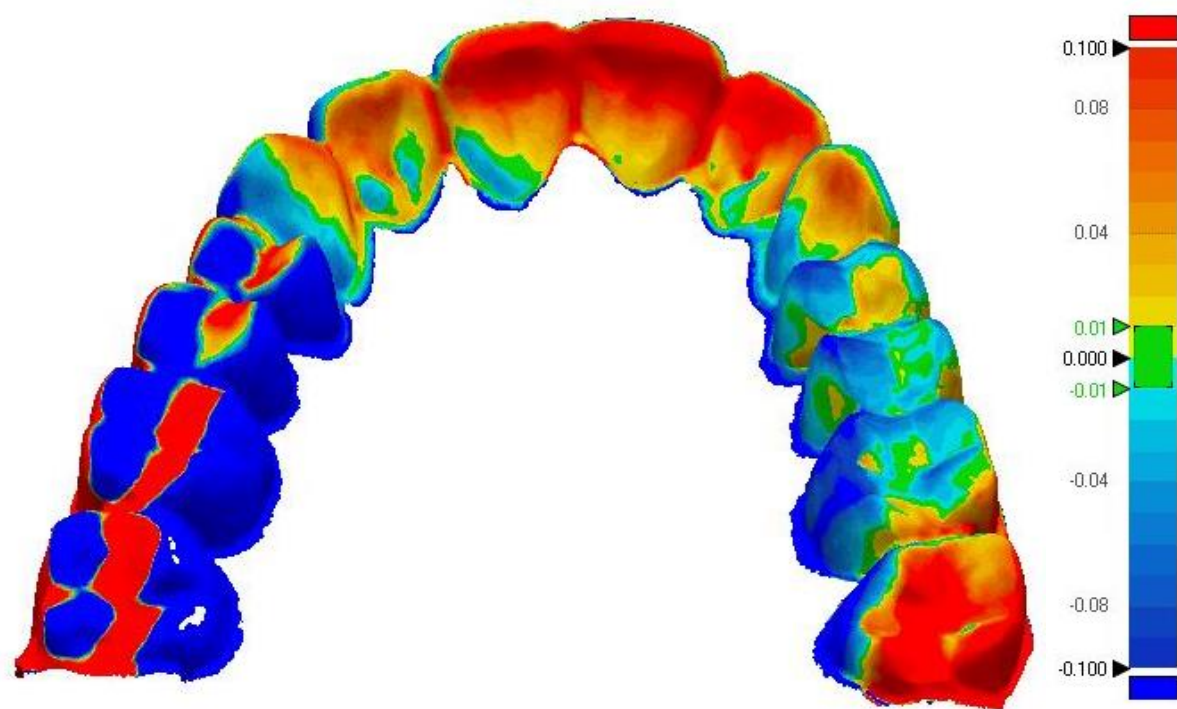
Slika 95. Prikaz distribucija devijacija na modelu, DWS3, sken 6



Slika 96. Prikaz distribucija devijacija na modelu, DWS3, sken 11



Slika 97. Prikaz distribucija devijacija na modelu, DWIO, sken 13



Slika 98. Prikaz distribucija devijacija na modelu, DWIO, sken 2

5.4. Pregled rezultata

U tablici 21 nalaze se sve srednje vrijednosti i njihove standardne devijacije dobivene prethodnom analizom. Tamnom linijom odijeljeni su rezultati nastali skeniranjem modela 1 (iznad crte) i modela 2 (ispod crte).

Iz tablice je vidljivo da su skeneri kod modela 1 postigli veće iznose maksimuma (Max), minimuma (Min.), pozitivnog prosjeka (+Avg.), negativnog prosjeka (-Avg.), RMS, standardne devijacije (SD) i prosjeka apsolutnih devijacija (MAD). Dakle, kod modela pojednostavljene bezube čeljusti postignute su veće devijacije i ostvareni generalno lošiji rezultati vjerodostojnosti i preciznosti.

Kod modela 1 najbolju vjerodostojnost i preciznost ostvario je skener UP300, a najlošiju skener DWS3. S time, da su iznosi vrijednosti kod UP360 blizu iznosima UP300. Kod modela 2 najbolju vjerodostojnost i preciznost ostvario je UP360, a najlošiju DWIO. UP300 je bio iznosima blizu UP360, a DWS3 je imao veće devijacije.

Razlog tome može biti sama konstrukcija skenera. Skener UP360 ima veću udaljenost kamera i projektora od modela, u odnosu na skener UP300 pa se u slučaju skeniranja visokih izbočina može dogoditi da neće dobro skenirati sva područja pod kutom, zbog prevelike udaljenosti.

Ako se preciznost skenera promatra kroz varijabilnost između skenova na temelju standardnih devijacija (SD) vrijednosti RMS, odnosno standardnih devijacija prosjeka apsolutnih devijacija (MAD), za model 1 skener UP300 ima najbolju preciznost (1,39/1,18 μm), a skener DWS3 najlošiju preciznost (4,25/4,98 μm). UP360 je postigao malo lošije rezultate od UP300 (1,30/1,72 μm). Za model 2 skener UP360 ima najbolju preciznost (0,27/0,22 μm), a skener DWIO najlošiju preciznost (71,45/40,31 μm). UP300 ima malo lošije rezultate od UP300 (0,33/0,42 μm). DWS3 je lošiji od UP360, ali bolji od DWIO (0,59/0,42 μm).

Dakle rasponi skenova unutar jednog skenera su mali u slučaju skeniranja s UP300 i UP360, a veći u slučaju skeniranja s DWS3. Izrazito su veliki kod skeniranja intraoralnim skenerom DWIO. To znači da se skenerima UP300 i UP360 mogu dobiti izrazito ponovljivi i predvidivi rezultati skeniranja, a skenerom DWIO izrazito nepredvidivi rezultati skeniranja – što je loša i nepoželjna karakteristika skenera.

Tablica 21. Srednje vrijednosti i standardne devijacije za sve grupe, μm

| | Max. | Min. | + Avg. | - Avg. | RMS | SD | MAD |
|--------------|------------------------|-------------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|
| UP360 | 155,98 $\pm 22,63$ | -152,45 $\pm 21,46$ | 37,50 $\pm 2,52$ | -17,02 $\pm 0,24$ | 37,27 $\pm 1,92$ | 34,52 $\pm 1,30$ | 31,21 $\pm 1,72$ |
| UP300 | 137,44 $\pm 10,14$ | -141,52 $\pm 11,09$ | 27,58 $\pm 1,29$ | -20,40 $\pm 0,57$ | 30,85 $\pm 1,39$ | 27,89 $\pm 0,93$ | 25,88 $\pm 1,18$ |
| DWS3 | 324,05 \pm 54,39 | -314,89 $\pm 49,25$ | 49,15 $\pm 5,97$ | -22,23 $\pm 2,06$ | 50,43 $\pm 5,42$ | 43,18 $\pm 4,25$ | 43,95 $\pm 4,98$ |
| UP360 | 73,44 $\pm 7,58$ | -73,91 $\pm 8,18$ | 12,86 $\pm 0,27$ | -10,06 $\pm 0,21$ | 15,18 $\pm 0,29$ | 14,91 $\pm 0,27$ | 11,85 $\pm 0,22$ |
| UP300 | 114,97 $\pm 7,22$ | -115,09 $\pm 7,83$ | 16,48 $\pm 0,40$ | -11,13 $\pm 0,13$ | 19,40 $\pm 0,39$ | 18,43 $\pm 0,33$ | 15,53 $\pm 0,42$ |
| DWS3 | 122,67 $\pm 6,85$ | -121,39 $\pm 6,41$ | 20,87 $\pm 0,63$ | -13,17 $\pm 0,24$ | 24,72 $\pm 0,69$ | 23,42 $\pm 0,59$ | 19,01 $\pm 0,42$ |
| DWIO | 608,35 $\pm 537,90$ | -610,37 $\pm 341,31$ | 89,74 $\pm 44,51$ | -88,01 $\pm 40,56$ | 131,35 $\pm 72,54$ | 130,30 $\pm 71,45$ | 93,95 $\pm 40,31$ |

6. Rasprava

U ovom poglavlju komentirat će se rezultati istraživanja sukladno hipotezama navedenim u poglavlju 3. Dat će se osvrt na točnost uspoređivanih skenera i odnos rezultata između ekstraoralnog i intraoralnog skenera. Dobiveni rezultati komentirat će se u okviru kliničke točnosti i točnosti prema proizvođaču. U istom poglavlju usporedit će se točnosti skenera s obzirom na tehnologije skenera i rezultate oba modela jer su ova dva pitanja međusobno povezana. Naposljetku, dodatno će se prokomentirati rezultati ovog istraživanja u odnosu na rezultate prethodno provedenih studija.

6.1. Točnost uspoređivanih skenera

U ovom istraživanju točnost je promatrana parametrima vjerodostojnosti i preciznosti. Vjerodostojnost je interpretirana kroz devijacije točaka skeniranih modela, s obzirom na referentni model te je analizirana pomoću vrijednosti RMS u skladu s [12], [19], [26] i prosjeka apsolutnih devijacija kao i u [15], [16], [18]. Preciznost je promatrana na dva načina: kao varijabilnost unutar skenova pojedinog skenera – analizom srednje vrijednosti standardnih devijacija u skladu s [13], [15], [18], [19]; te kao varijabilnost između skenova pojedinih skenera – Friedmanovim testom i komentiranjem iznosa standardnih devijacija vrijednosti RMS i prosjeka apsolutnih devijacija.

Gledajući RMS vrijednosti modela 1 vjerodostojnost iznosi: za skener UP360 $37,27 \pm 1,92 \mu\text{m}$, UP300 $30,85 \pm 1,39 \mu\text{m}$ te DWS3 $50,43 \pm 5,42 \mu\text{m}$. Gledajući prosjek apsolutnih devijacija vjerodostojnosti iznosi: za skener UP360 $31,21 \pm 1,72 \mu\text{m}$, UP300 $25,88 \pm 1,18 \mu\text{m}$ te DWS3 $43,95 \pm 4,98 \mu\text{m}$. Preciznost, kao varijabilnost unutar skenova iznosi: za skener UP360 $34,52 \pm 1,30 \mu\text{m}$, UP300 $27,89 \pm 0,93 \mu\text{m}$ te DWS3 $43,18 \pm 4,25 \mu\text{m}$. Za preciznost, kao varijabilnost između skenova pojedinih skenera, razlike među skenerima su razmjerno male, no Friedmanovim testom je dokazano je DWS3 manje konzistentan, tj. da kod njega postoje veće razlike među skenovima. Skener UP360 najviše je konzistentan ukoliko se u obzir uzme smjer devijacije, no kada se on ignorira izrazito je mala razlika u varijabilnosti između skenera UP300 i UP360. Prema tome, može se reći da je skener UP300 generalno pokazao najbolju točnost, a skener DWS3 najlošiju točnost.

Gledajući RMS vrijednosti modela 2 vjerodostojnost iznosi: za skener UP360 $15,18 \pm 0,29 \mu\text{m}$, UP300 $15,53 \pm 0,42 \mu\text{m}$, DWS3 $24,72 \pm 0,69 \mu\text{m}$ te DWIO $131,35 \pm 72,54 \mu\text{m}$. Gledajući prosjek apsolutnih devijacija vjerodostojnost iznosi: za skener UP360 $11,85 \pm 0,22 \mu\text{m}$, UP300 $15,53 \pm 0,42 \mu\text{m}$, DWS3 $19,01 \pm 0,42 \mu\text{m}$ te DWIO $93,95 \pm 40,31 \mu\text{m}$. Preciznost, kao varijabilnost unutar

skanova iznosi: za skener UP360 $14,91 \pm 0,27 \mu\text{m}$, UP300 $18,43 \pm 0,33 \mu\text{m}$, DWS3 $23,42 \pm 0,59 \mu\text{m}$ te DWIO $130,30 \pm 71,45 \mu\text{m}$. Za preciznost, kao varijabilnost između skanova pojedinih skenera, razlike među skenerima su razmjerno male, no Freidmanovim testom je dokazano je skener DWIO manje konzistentan, tj. da kod njega postoje veće razlike među skenovima. Skener UP300 najviše je konzistentan ukoliko se u obzir uzme smjer devijacije, no kada se on ignorira izrazito je mala razlika između skenera UP300 i UP360. Prema tome, može se reći da je skener UP360 generalno pokazao najbolju točnost, a skener DWIO najlošiju točnost.

Dakle, potvrđena je hipoteza I: ekstraoralni skeneri su pokazali bolju točnost od intraoralnog skenera.

6.2. Razmatranje rezultata u okviru kliničke točnosti

Ne postoji ustaljena granica vrijednosti kliničke točnosti dentalnih skenera. Najčešće se navodi da ona treba biti ispod $50\text{--}75 \mu\text{m}$ [19], $80 \mu\text{m}$ [20], $100 \mu\text{m}$ [21], $120 \mu\text{m}$ [7] ili $150 \mu\text{m}$ [22]. Skeneri UP300, UP360, DWS3 za oba modela na razini cijele čeljusti postigli su vrijednosti vjerodostojnosti i preciznosti koje zadovoljavaju najmanju navedenu granicu ($50\text{--}75 \mu\text{m}$). Skener DWIO zadovoljava točnost prema granici od $100 \mu\text{m}$ [21] jer njegova vjerodostojnost (kao prosjek apsolutnih devijacija) iznosi $93,95 \pm 40,31 \mu\text{m}$. Međutim, preciznost, prema srednjoj vrijednosti standardne devijacije za skener DWIO iznosi $130,30 \pm 71,45 \mu\text{m}$ – pa se ta granica ne može zadovoljiti. S obzirom na to da za skener DWIO i vjerodostojnost i preciznost imaju velike iznose standardnih devijacija može se zaključiti da je on nepouzdan na razini skeniranja cijelog zubnog luka – te sukladno tome, nema zadovoljavajuću kliničku točnost.

Međutim, nije dovoljno komentirati kliničku točnost samo prema iznosima točnosti cijelih lukova tj. čeljusti. Većina studija se vodi prema McLeanu i Franhoferu, koji tvrde da dosjed na margini između bataljka i nadomjestka mora biti manji od $120 \mu\text{m}$ [7]. Dakle, treba usporediti točnost na bočnim stranama upornjaka i zubi dobivenih iz prikaza distribucija devijacija. Također, treba napomenuti da prema toj vrijednosti treba računati i grešku CAD/CAM procesa, pa iznos greške skenera mora biti manji. U ovom slučaju zadovoljit će vrijednosti ispod $100 \mu\text{m}$ iz prikaza distribucija devijacija (poglavlja 5.2.9 i 5.3.9).

Na skenovima skenera UP360 za prikaz distribucija devijacija na modelu 1 uočljive su devijacije na upornjacima od 10 do $100 \mu\text{m}$, a na skenovima skenera UP300 od 10 do $80 \mu\text{m}$. Kod skanova skenera DWS3 distribucije devijacija imaju veći raspon te na najlošijem skenu vrijednosti devijacija na upornjacima prelaze $100 \mu\text{m}$. Na skenovima skenera UP360 i UP300 za prikaz distribucija devijacija na modelu 2 uočljive su devijacije na bočnim područjima zubi od 10 do 40

µm. Kod skenera DWS3 one iznose od 10 do 80 µm, a kod DWIO prelaze granicu preko 100 µm. Stoga navedeni skeneri UP360 i UP300 zadovoljavaju i ovaj uvjet te se može tvrditi da su klinički točni. Skener DWS3 u slučaju modela 1 na područjima upornjaka nije klinički točan, a skener DWIO u oba slučaja i po svim kriterijima nije klinički točan. To znači da bi, u slučaju izrade protetskog nadomjestka temeljem najlošijeg skena dobivenog skenerom DWS3, nadomjestak bio prevelikih dimenzija.

Stoga je djelomično potvrđena hipoteza II: intraoralni skener nije zadovoljio kliničku točnost, ali nisu ni svi ekstraoralni skeneri tj. u određenim slučajevima skener DWS3 ne zadovoljava kliničku točnost.

6.3. Usporedba rezultata s obzirom na modele i tehnologiju skeniranja

Iznosi točnosti i preciznosti znatno su veći za slučaj korištenja modela pojednostavljenog bezubog luka s upornjacima kod ekstraoralnih uređaja UP360, UP300 i DWS3. Iz prikaza distribucija devijacija uočena su područja na modelu 1 s iznimno većim rasponima distribucije devijacija nego na modelu 2. Razlog tome je pojednostavljeno oblikovanje modela sa potpuno ravnim, glatkim površinama bezube čeljusti i jednakim, strmim i glatkim površinama upornjaka. Ta visoka i strma izbočenja (upornjaci) mogu stvarati sjene koje mogu otežati pravilno snimanje osjenčanih područja ako skener dovoljno ne nagine pločicu s modelom. Do tako velikih razlika u devijacijama može doći zbog nedovoljnog kuta zakreta pločice s modelom skenera (kod skenera sa strukturiranim svjetlom) ili kamere skenera (kod laserskog skenera).

U ovom slučaju, skeneri UP300 i UP360 – koji koriste tehnologiju strukturiranog svjetla, pokazali su se znatno boljima od skenera DWS3 – koji koristi lasersku tehnologiju, te skenera DWIO – intraoralnog skenera koji koristi *Multi-Imaging* tehnologiju. Navedeni intraoralni uređaj DWIO nije uopće snimio skenove ovog modela koji bi bili relevantni za analizu rezultata. Tijekom samog procesa skeniranja ovim uređajem, dolazilo je do prekida na području horizontalne površine na kojoj su smješteni upornjaci. Prilikom ponovne uspostave skeniranja, sljedeći upornjak bio bi prepoznat kao prošli te bi se slika ponovno nastavila dodavati na njega. Upornjaci se nisu dovoljno razlikovali jedan od drugog da bi se mogao uspostaviti pravilan slijed duž luka. Do ove greške nije došlo prilikom skeniranja modela čeljusti s prirodnim zubima, što se objašnjava time da je na njemu realnije prikazana geometrija za koju su namijenjeni skeneri za dentalnu upotrebu. Nepravilne površine i gušći raspored zubi omogućuju lakše uspostavljanje slike, a da pritom ne dolazi do zamjena prilikom prepoznavanja te dodavanja nove slike na prethodnu. Unatoč tome, DWIO skener pokazao se najlošijim i kod skeniranja modela čeljusti s

prirodnim zubima. U ovom slučaju opet su se najboljim pokazali skeneri koji koriste tehnologiju strukturiranog svjetla.

Iz navedenog proizlazi da su rezultati u skladu s hipotezom III: skeneri koji koriste tehnologiju strukturiranog svjetla točniji su od laserskih skenera. Također ovime je objašnjena i potvrđena hipoteza V: postoje razlike u rezultatima između oba modela.

6.4. Usporedba iznosa točnosti s točnosti proizvođača

Proizvođač Up3D naveo je točnost ispod 6 μm za skener UP360 te ispod 10 μm za skener UP300 [41], [42]. Proizvođač DentalWings naveo je točnost ispod 20 μm za skener DWS3 te ispod 40 μm za skener DWIO [40]. Zadovoljena je samo navedena granica od 20 μm za skener DWS3, samo za slučaj cijelog realnog zubnog luka (pogledom na rezultate iz poglavlja 6.1). U tom slučaju iznos vjerodostojnosti tog skenera (gledane kao prosjek apsolutnih devijacija) iznosi $19,01 \pm 0,42 \mu\text{m}$.

Dakle, rezultati točnosti nisu u skladu s podacima o točnosti proizvođača te je odbijena hipoteza IV. Time se dovodi u pitanje na koji način proizvođači mjere točnost.

6.5. Usporedba iznosa točnosti s ostalim istraživanjima

Rezultate za model 1 najbolje je usporediti s rezultatima dobivenim u istraživanju [26] s obzirom na to da su autori za određivanje točnosti koristili sličan model pojednostavljene bezube čeljusti s upornjacima, a model su skenirali samo ekstraoralnim skenerima. Rezultati RMS vrijednosti, u [26] iznose od 17,4 do 33,3 μm za vjerodostojnost te od 15,7 do 31,7 μm za preciznost. U ovom istraživanju dobiveni su nešto veći iznosi (vjerodostojnost – od 30,85 do 50,43 μm ; preciznost – od 27,89 do 43,18 μm). Razlog tomu mogu biti različite dimenzije modela, materijal te modeli skenera, koji dolaze od različitih proizvođača.

Za modele cijelih realnih zubnih lukova, vrijednosti vjerodostojnosti, dobivene preko prosjeka apsolutnih devijacija, kod intraoralnih skenera kreću se od 42,3 do 153,8 μm [27], od 129 do 164 μm [29] i od 32,1 do 98,3 μm [15]. Vrijednosti preciznosti kreću se od 34,7 do 357,05 μm [14], od 65 do 86 μm [16] i od 98,8 do 261,8 μm [15]. U ovom istraživanju vrijednosti vjerodostojnosti, za model 2 kreću se za ekstraoralne skenere od 11,85 do 19,05 μm . Njihove vrijednosti preciznosti iznose od 14,91 do 23,42 μm . Za intraoralni skener vjerodostojnost iznosi 93,95 μm , a preciznost 130,30 μm . Prema tome, ovim istraživanjem ponovno se potvrđuje tvrdnja da ekstraoralni skeneri imaju bolju točnost prilikom skeniranja cijelih zubnih lukova, kao i bezubih lukova [11]–[13], [15], [27], [28], [46].

7. Zaključak

Ovim je radom dokazano da je točnost skeniranja, čak i uslijed korištenja istih skenera, u visokoj ovisnosti s vrstom modela na kojem se provodi istraživanje. Skener UP300 pokazao je najbolju točnost za skeniranje modela bezubih čeljusti, a skener UP360 za skeniranje modela čeljusti s prirodnim zubima. Oba ekstraoralna skenera koja koriste tehnologiju strukturiranog svjetla (UP300 i UP360) pokazala su se boljima od ekstraoralnog skenera koji koristi lasersku tehnologiju (DWS3). Intraoralni skener (DWIO) pokazao se znatno lošijim za slučaj skeniranja cijelih bezubih čeljusti budući da nije dao zadovoljavajuće rezultate skeniranja. Za slučaj skeniranja čeljusti s prirodnim zubima, pokazao je najlošije rezultate vjerodostojnosti i preciznosti. Skeneri UP360 i UP300 pokazali su zadovoljavajuću kliničku točnost te su pogodni za primjenu u laboratorijima za skeniranje bezubih čeljusti i čeljusti sa prirodnim zubima. Skener DWS3 zadovoljio je točnost na području cijelog luka, ali nije na pojedinačnim područjima upornjaka. Skener DWIO nije zadovoljio kliničku točnost ni prema jednom kriteriju. Također, točnosti skenera generalno su lošije od točnosti prema podacima proizvođača – zadovoljene su samo u slučaju vjerodostojnosti iskazane preko prosjeka apsolutnih devijacija za skener DWS3. Kako bi se dobio još bolji uvid u razlike točnosti intraoralnih i ekstraoralnih skenera te točnosti tehnologija koje ti skeneri koriste, potrebno je proširiti istraživanje tako da se usporedba provede na većem broju skenera različitih generacija. Također, istraživanje se može unaprijediti korištenjem dodatnih modela, primjerice modela cijelih lukova s pripremljenim zubima (bataljcima), modela s tijelima za skeniranje ili pojedinačnih bataljaka. Navedeno bi omogućilo uvid u točnost skenera u različitim situacijama u dentalnoj industriji.

ZAHVALE

Zahvaljujem mentoru doc. dr. sc. Stanku Škecu, mag. ing. mech. na pruženoj prilici, motivaciji, vodstvu, savjetima i pomoći prilikom izrade ovog rada.

Zahvaljujem komentoru izv. prof. dr. sc. Dini Bukoviću, dr. med. dent. na stručnim savjetima iz područja stomatološke protetike.

Zahvaljujem dr. sc. Mariji Majdi Perišić, mag. math. na savjetima tijekom statističke analize podataka.

Zahvaljujem se gospodinu Marku Živku, direktoru tvrtke Neo Dens u kojoj su izrađeni modeli i skenirani na skenerima za usporedbu. Također, hvala Petru Kosecu, mag. ing. mech. na pomoći tijekom izrade oba modela.

Zahvaljujem tvrtki Topomatika u kojoj su modeli skenirani na referentnom skeneru.

Zahvaljujem kolegici Faniki Lukačević, mag. ing. mech. na podršci tijekom izrade ovog rada.

LITERATURA

- [1] H. Kihara *et al.*, “Accuracy and practicality of intraoral scanner in dentistry: A literature review,” *J. Prosthodont. Res.*, vol. 64, no. 2, pp. 109–113, 2020, doi: 10.1016/j.jpor.2019.07.010.
- [2] Y. Tomita, J. Uechi, M. Konno, S. Sasamoto, M. Iijima, and I. Mizoguchi, “Accuracy of digital models generated by conventional impression/plaster-model methods and intraoral scanning,” *Dent. Mater. J.*, vol. 37, no. 4, pp. 628–633, 2018, doi: 10.4012/dmj.2017-208.
- [3] F. Beuer, J. Schweiger, and D. Edelhoff, “Digital dentistry: An overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations,” *Br. Dent. J.*, vol. 204, no. 9, pp. 505–511, 2008, doi: 10.1038/sj.bdj.2008.350.
- [4] A. Naveau, C. Rignon-Bret, and C. Wulfman, “Zirconia abutments in the anterior region: A systematic review of mechanical and esthetic outcomes,” *J. Prosthet. Dent.*, vol. 121, no. 5, pp. 775–781.e1, 2019, doi: 10.1016/j.prosdent.2018.08.005.
- [5] F. Hüttig, J. Keitel, A. Prutscher, S. Spintzyk, and A. Klink, “Fixed Dental Prostheses and Single-Tooth Crowns Based on Ceria-Stabilized Tetragonal Zirconia/Alumina Nanocomposite Frameworks: Outcome After 2 Years in a Clinical Trial,” *Int. J. Prosthodont.*, vol. 30, no. 5, pp. 461–464, 2017, doi: 10.11607/ijp.5116.
- [6] S. Fukazawa, C. Odaira, and H. Kondo, “Investigation of accuracy and reproducibility of abutment position by intraoral scanners,” *J. Prosthodont. Res.*, vol. 61, no. 4, pp. 450–459, 2017, doi: 10.1016/j.jpor.2017.01.005.
- [7] P. Bosniac, P. Rehmann, and B. Wöstmann, “Comparison of an indirect impression scanning system and two direct intraoral scanning systems in vivo,” *Clin. Oral Investig.*, vol. 23, no. 5, pp. 2421–2427, 2019, doi: 10.1007/s00784-018-2679-4.
- [8] J. A. Sorensen, F. M. Doherty, M. G. Newman, and T. F. Flemmig, “Gingival enhancement in fixed prosthodontics. Part I: Clinical findings,” *J. Prosthet. Dent.*, vol. 65, no. 1, pp. 100–107, 1991, doi: 10.1016/0022-3913(91)90059-6.
- [9] J. N. Walton, F. M. Gardner, and J. R. Agar, “A survey of crown and fixed partial denture failures: Length of service and reasons for replacement,” *J. Prosthet. Dent.*, vol. 56, no. 4, pp. 416–421, 1986, doi: 10.1016/0022-3913(86)90379-3.
- [10] E. A. M. Kidd, “Microleakage : a review,” *J. Dent.*, vol. 4, no. 5, pp. 199–206, 1976,

- doi: 10.1016/0300-5712(76)90048-8.
- [11] S. B. M. Patzelt, A. Emmanouilidi, S. Stampf, J. R. Strub, and W. Att, “Accuracy of full-arch scans using intraoral scanners,” *Clin. Oral Investig.*, vol. 18, no. 6, pp. 1687–1694, 2014, doi: 10.1007/s00784-013-1132-y.
- [12] G. H. Park, K. B. Da Son, and K. B. Lee, “Feasibility of using an intraoral scanner for a complete-arch digital scan,” *J. Prosthet. Dent.*, vol. 121, no. 5, pp. 803–810, 2019, doi: 10.1016/j.prosdent.2018.07.014.
- [13] T. shu Su and J. Sun, “Comparison of repeatability between intraoral digital scanner and extraoral digital scanner: An in-vitro study,” *J. Prosthodont. Res.*, vol. 59, no. 4, pp. 236–242, 2015, doi: 10.1016/j.jpor.2015.06.002.
- [14] R. J. Y. Kim, J. M. Park, and J. S. Shim, “Accuracy of 9 intraoral scanners for complete-arch image acquisition: A qualitative and quantitative evaluation,” *J. Prosthet. Dent.*, vol. 120, no. 6, pp. 895-903.e1, 2018, doi: 10.1016/j.prosdent.2018.01.035.
- [15] P. Medina-Sotomayor, A. Pascual-Moscardo, and I. Camps A, “Accuracy of 4 digital scanning systems on prepared teeth digitally isolated from a complete dental arch,” *J. Prosthet. Dent.*, vol. 121, no. 5, pp. 811–820, 2019, doi: 10.1016/j.prosdent.2018.08.020.
- [16] J. Winkler and N. Gkantidis, “Trueness and precision of intraoral scanners in the maxillary dental arch: an in vivo analysis,” *Sci. Rep.*, vol. 10, no. 1, pp. 1–11, 2020, doi: 10.1038/s41598-020-58075-7.
- [17] S. Vandeweghe, V. Vervack, M. Dierens, and H. De Bruyn, “Accuracy of digital impressions of multiple dental implants: an in vitro study,” *Clin. Oral Implants Res.*, vol. 28, no. 6, pp. 648–653, 2017, doi: 10.1111/clr.12853.
- [18] P. González de Villaumbrosia, F. Martínez-Rus, A. García-Orejas, M. P. Salido, and G. Pradíes, “In vitro comparison of the accuracy (trueness and precision) of six extraoral dental scanners with different scanning technologies,” *J. Prosthet. Dent.*, vol. 116, no. 4, pp. 543-550.e1, 2016, doi: 10.1016/j.prosdent.2016.01.025.
- [19] F. Mandelli, E. Gherlone, G. Gastaldi, and M. Ferrari, “Evaluation of the accuracy of extraoral laboratory scanners with a single-tooth abutment model: A 3D analysis,” *J. Prosthodont. Res.*, vol. 61, no. 4, pp. 363–370, 2017, doi: 10.1016/j.jpor.2016.09.002.
- [20] H. Denissen, A. Crossed D Signozić, J. Van Der Zel, and M. Van Waas, “Marginal fit

- and short-term clinical performance of porcelain-veneered CICERO, CEREC, and Procera onlays,” *J. Prosthet. Dent.*, vol. 84, no. 5, pp. 506–513, 2000, doi: 10.1067/mpr.2000.110258.
- [21] J. S. Shim, J. S. Lee, J. Y. Lee, Y. J. Choi, S. W. Shin, and J. J. Ryu, “Effect of software version and parameter settings on the marginal and internal adaptation of crowns fabricated with the CAD/CAM system,” *J. Appl. Oral Sci.*, vol. 23, no. 5, pp. 515–522, 2015, doi: 10.1590/1678-775720150081.
- [22] T. Jemt and A. Lie, “Accuracy of implant-supported prostheses in the edentulous jaw. Analysis of precision of fit between cast gold-alloy frameworks and master casts by means of a three-dimensional photogrammetric technique.,” *Clinical Oral Implants Research*, vol. 6, no. 3, pp. 172–180, 1995, doi: 10.1034/j.1600-0501.1995.060306.x.
- [23] K. Hollenbeck, T. Allin, and M. Van Der Poel, “Dental Lab 3D Scanners,” *3Shape Technol. Res.*, vol. 76, no. 4, pp. 133–137, 2012.
- [24] F. Mangano, A. Gandolfi, G. Luongo, and S. Logozzo, “Intraoral scanners in dentistry: A review of the current literature,” *BMC Oral Health*, vol. 17, no. 1, pp. 1–11, 2017, doi: 10.1186/s12903-017-0442-x.
- [25] R. Richert *et al.*, “Intraoral Scanner Technologies: A Review to Make a Successful Impression,” *J. Healthc. Eng.*, vol. 2017, 2017, doi: 10.1155/2017/8427595.
- [26] F. Emir and S. Ayyıldız, “Evaluation of the trueness and precision of eight extraoral laboratory scanners with a complete-arch model: a three-dimensional analysis,” *J. Prosthodont. Res.*, vol. 63, no. 4, pp. 434–439, 2019, doi: 10.1016/j.jpor.2019.03.001.
- [27] A. Di Fiore *et al.*, “Full arch digital scanning systems performances for implant-supported fixed dental prostheses: a comparative study of 8 intraoral scanners,” *J. Prosthodont. Res.*, vol. 63, no. 4, pp. 396–403, 2019, doi: 10.1016/j.jpor.2019.04.002.
- [28] H. Mutwalli, M. Braian, D. Mahmood, and C. Larsson, “Trueness and Precision of Three-Dimensional Digitizing Intraoral Devices,” *Int. J. Dent.*, vol. 2018, 2018, doi: 10.1155/2018/5189761.
- [29] J. F. Güth, C. Runkel, F. Beuer, M. Stimmelmayer, D. Edelhoff, and C. Keul, “Accuracy of five intraoral scanners compared to indirect digitalization,” *Clin. Oral Investig.*, vol. 21, no. 5, pp. 1445–1455, 2017, doi: 10.1007/s00784-016-1902-4.
- [30] J. F. Güth, C. Keul, M. Stimmelmayer, F. Beuer, and D. Edelhoff, “Accuracy of digital models obtained by direct and indirect data capturing,” *Clin. Oral Investig.*, vol. 17, no.

- 4, pp. 1201–1208, 2013, doi: 10.1007/s00784-012-0795-0.
- [31] A. Muric, B. Gokcen Röhlig, D. Ongul, and G. Evlioglu, “Comparing the precision of reproducibility of computer-aided occlusal design to conventional methods,” *J. Prosthodont. Res.*, vol. 63, no. 1, pp. 110–114, 2019, doi: 10.1016/j.jpor.2018.10.002.
- [32] A. Ender and A. Mehl, “Accuracy of complete-Arch dental impressions: A new method of measuring trueness and precision,” *J. Prosthet. Dent.*, vol. 109, no. 2, pp. 121–128, 2013, doi: 10.1016/S0022-3913(13)60028-1.
- [33] V. Delize, A. Bouhy, F. Lambert, and M. Lamy, “Intrasubject comparison of digital vs. conventional workflow for screw-retained single-implant crowns: Prosthodontic and patient-centered outcomes,” *Clin. Oral Implants Res.*, vol. 30, no. 9, pp. 892–902, 2019, doi: 10.1111/clr.13494.
- [34] C. Kirschneck, B. Kamuf, C. Putsch, S. Chhatwani, M. Bizhang, and G. Danesh, “Conformity, reliability and validity of digital dental models created by clinical intraoral scanning and extraoral plaster model digitization workflows,” *Comput. Biol. Med.*, vol. 100, no. June, pp. 114–122, 2018, doi: 10.1016/j.combiomed.2018.06.035.
- [35] F. Ferrini, G. Sannino, C. Chiola, P. Capparé, G. Gastaldi, and E. F. Gherlone, “Influence of intra-oral scanner (I.O.S.) on the marginal accuracy of CAD/CAM single crowns,” *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 16, no. 4, pp. 1–9, 2019, doi: 10.3390/ijerph16040544.
- [36] M. Raberin, “Dimensions and form of dental arches with normal occlusions in subjects,” *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.*, vol. 265, 1993.
- [37] A. Schmidt, C. R. Benedickt, M. A. Schlenz, P. Rehmann, and B. Wöstmann, “Torsion and linear accuracy in intraoral scans obtained with different scanning principles,” *J. Prosthodont. Res.*, vol. 64, no. 2, pp. 167–174, 2020, doi: 10.1016/j.jpor.2019.06.006.
- [38] C. Bilmenoglu, A. Cilingir, O. Geckili, H. Bilhan, and T. Bilgin, “In vitro comparison of trueness of 10 intraoral scanners for implant-supported complete-arch fixed dental prostheses,” *J. Prosthet. Dent.*, pp. 1–6, 2020, doi: 10.1016/j.prosdent.2019.11.017.
- [39] R. Nedelcu, P. Olsson, I. Nyström, J. Rydén, and A. Thor, “Accuracy and precision of 3 intraoral scanners and accuracy of conventional impressions: A novel in vivo analysis method,” *J. Dent.*, vol. 69, pp. 110–118, Feb. 2018, doi: 10.1016/j.jdent.2017.12.006.
- [40] Dental Wings, “Dental Wings booklet.” p. 32, 2017.
- [41] Up3d, “UP300 booklet.” p. 2, 2017.

- [42] Up3d, "UP360 booklet." p. 3, 2018.
- [43] K. M. Lehmann, M. S. Azar, P. W. Kämmerer, S. Wentaschek, E. N. F. Hell, and H. Scheller, "Učinak optičkog kondicioniranja preparacije sprejem za skeniranje na oblik preparacije," *Acta Stomatol. Croat.*, vol. 45, no. 2, pp. 86–92, 2011.
- [44] "Software Support | 3D Systems." <https://www.3dsystems.com/support/software> (accessed Jun. 25, 2020).
- [45] S. Rusinkiewicz and M. Levoy, "Efficient variants of the ICP algorithm," *Proc. Int. Conf. 3-D Digit. Imaging Model. 3DIM*, pp. 145–152, 2001, doi: 10.1109/IM.2001.924423.
- [46] L. O. L. Bohner, G. De Luca Canto, B. S. Marció, D. C. Laganá, N. Sesma, and P. Tortamano Neto, "Computer-aided analysis of digital dental impressions obtained from intraoral and extraoral scanners," *J. Prosthet. Dent.*, vol. 118, no. 5, pp. 617–623, 2017, doi: 10.1016/j.prosdent.2016.11.018.

SAŽETAK

Marija Trpčić

Analiza 3D skeniranja pri razvoju dentalne protetike

Ključne riječi: dentalna protetika, 3D skeniranje, intraoralni skeneri, ekstraoralni skeneri

Dentalna industrija uvelike se promijenila posljednjih desetljeća uslijed uvođenja digitalnih tehnologija. CAD/CAM procesi za oblikovanje i proizvodnju protetskih nadomjestaka pomoću računala uvedeni su u velik broj stomatoloških ordinacija, dentalnih laboratorija i proizvodnih centara. Ključnu ulogu u navedenim procesima imaju 3D skeneri, koji se u dentalnoj industriji dijele na intraoralne i ekstraoralne. U velikom broju studija istraživana je i uspoređivana točnost 3D skenera za dentalnu upotrebu. Međutim, zbog upotrebe različitih modela i materijala za izradu te različite interpretacije mjera, dobiveni su oprečni rezultati i zaključci vezani uz točnost intraoralnih i ekstraoralnih skenera. Također, prijašnje su studije često bile orijentirane na analizu jednog modela iako dobiveni rezultati upućuju na utjecaj kompleksnosti geometrije na točnost 3D skeniranja.

U ovom je istraživanju provedena usporedba tri ekstraoralna i jednog intraoralnog skenera na dva različita modela – na modelu pojednostavljene bezube čeljusti s upornjacima koji imitiraju bataljke te na modelu gornje čeljusti s prirodnim zubima. Navedeni skeneri uspoređeni su s referentnim industrijskim skenerom Atos Core 135 korištenjem 3D analize temeljene na ICP algoritmu. Analiza je provedena pomoću dobivenih vrijednosti maksimuma, minimuma, prosjeka pozitivnih devijacija, prosjeka negativnih devijacija, RMS-a, standardne devijacije i prosjeka apsolutnih devijacija te na prikazu distribucija devijacija na modelima. Utvrđene su razlike u točnosti skenera ovisno o tome koji je model skeniran. Na skenovima modela bezube čeljusti s upornjacima, uočene su veće devijacije, a pritom je UP300 pokazao najbolju izvedbu. S druge strane, skener UP360 pokazao je najbolju izvedbu u slučaju modela čeljusti s prirodnim zubima. Ekstraoralni skeneri pokazali su bolju točnost od intraoralnog skenera. Skeneri UP300 i UP360 zadovoljili su kliničku točnost na području cijelih čeljusti te na području prirodnih zuba i upornjaka. Skener Dental Wings 3Series zadovoljio je kliničku točnost na području cijelih čeljusti i prirodnih zubi, ali nije na području upornjaka. Intraoralni skener Dental Wings Intraoral Scanner nije zadovoljio kliničku točnost ni na području cijelih lukova ni na području zubi i upornjaka. Uz navedeno, skeneri koji koriste tehnologiju strukturiranog svjetla pokazali su se točnijima od laserskih skenera. Naposljetku, utvrđeno je da rezultati točnosti skenera nisu u skladu s podacima koje su naveli proizvođači.

SUMMARY

Marija Trpčić

Analysis of 3D scanning in the development of dental prosthetics

Keywords: dental prosthetics, 3D scanning, intraoral scanners, extraoral scanners

In recent decades, the dental industry has changed greatly due to the introduction of digital technologies. CAD/CAM systems have been introduced in a variety of dental offices, dental laboratories, and production centers. 3D scanners are the key part of these systems in the dental industry. They are divided into intraoral and extraoral scanners. A large number of studies have compared and evaluated the accuracy of 3D scanners for dental use. Due to the ambiguous interpretation of accuracy and differences in observed models and used materials, previous studies indicated conflicting and inconclusive results regarding the accuracy of intraoral and extraoral scanners. In addition, these studies have focused on the analysis of a single dental model, although some results suggested the influence of geometry complexity on the accuracy of 3D scanning.

Therefore, this study compared three extraoral and one intraoral scanner on two different models - the model of a simplified edentulous jaw with abutments and the model of the upper jaw with natural teeth. The scanners were compared with a reference scanner Atos Core 135 using 3D analysis based on the ICP algorithm. The conducted analysis is based on values of the maximum, minimum, average of positive deviations, average of negative deviations, RMS, standard deviation, average of absolute deviations and distributions of deviations on the models. Differences in scanner accuracy were found depending on the scanned model. The model of a simplified edentulous jaw with abutments was scanned most accurately with UP300. On the other hand, UP360 was the most accurate when scanning the model of the upper jaw with natural teeth. All scanners were more accurate on the latter model. Extraoral scanners showed better accuracy than intraoral scanners. The UP300 and UP360 scanners met clinical accuracy in the area of whole jaws and the area of natural teeth and abutments. The Dental Wings 3Series scanner met clinical accuracy in the area of whole jaws and natural teeth, but not in the area of abutments. Dental Wings Intraoral Scanner did not meet clinical accuracy in the area of whole arches or the area of teeth and abutments. Also, scanners using structured light technology have proven to be more accurate than laser scanners. Finally, the accuracy results of the scanners are in accordance with the accuracy data provided by the respective manufacturer.