Umjeravanje mjernih valjčića

Nikšić, Mile

Master's thesis / Diplomski rad

2018

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

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:148818

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

Repository / Repozitorij:

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







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

Diplomski rad

Mile Nikšić

Zagreb, 2018.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

Diplomski rad

Mentor:
Doc. dr. sc. Gorana Baršić, dipl. ing.

Student:
Mile Nikšić

Zagreb, 2018.

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

Zahvaljujem se mentorici, doc. dr. sc. Gorani Baršić za cijelu njenu pomoć i vrijeme uloženo pri izradi ovog rada. Također se ovim putem zahvaljujem Tomislavu Habeku i Vedranu Šimunoviću na pruženim savjetima.

Ovaj rad posvećujem svojim roditeljima kao zahvalu na svu pruženu potporu tijekom cijelog mojeg obrazovanja.

Mile Nikšić

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE
Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za diplomske radove studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment,
inženjerstvo materijala te mehatronika i robotika

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

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **MILE NIKŠIĆ** Mat. br.: 0035195992

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Umjeravanje mjernih valjčića**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Calibration of measuring wires**

Opis zadatka:

Mjerni valjčići se primarno koriste kao mjerni elementi u postupku umjeravanja navojnih mjerila. Kako se radi o elementu čija mjerena veličina (promjer) značajno utječe na izračunatu mjeru srednjeg promjera vanjskog navoja potrebno je razraditi postupak umjeravanja mjernih valjčića. Pri razradi postupka umjeravanja potrebno je usvojiti zahtjeve norme ISO 16239:2013, posebice vezano na mjerne modele utvrđivanja promjera mjernih valjčića. U skladu s navedenim u diplomskom radu potrebno je obraditi sljedeće:

1. Detaljno opisati značajke mjernih valjčića, te njihovu primjenu u području dimenzionalnog mjeriteljstva.
2. Odabrati i primijeniti mjerni model za utvrđivanje promjera mjernih valjčića prema ISO 16239:2013, uvažavajući mjerne mogućnosti Laboratorija za precizna mjerenja dužina.
3. Procijeniti mjernu nesigurnost promjera mjernih valjčića u Laboratoriju za precizna mjerenja dužina.
4. Komentirati ostvarene rezultate i dati preporuke za eventualna poboljšanja.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:
27. rujna 2018.

Rok predaje rada:
29. studenog 2018.

Predviđeni datum obrane:
05. prosinca 2018.
06. prosinca 2018.
07. prosinca 2018.

Zadatak zadao:
doc. dr. sc. Gorana Baršić

Predsjednica Povjerenstva:
prof. dr. sc. Biserka Runje

SADRŽAJ

POPIS SLIKA III

POPIS TABLICA IV

POPIS OZNAKA V

SAŽETAK VI

SUMMARY VII

1.UVOD 1

2.MJERNI VALJČIĆI 2

2.1. Značajke mjernih valjčića prema DIN 2269 4

2.2. Značajke mjernih valjčića prema ISO 16239:2013 8

3.PRIMJENA MJERNIH VALJČIĆA 13

3.1. Jednostavni srednji promjer navoja 13

3.2. Srednji promjer navoja d2 13

3.3. Metrički navoj 14

3.4. Metoda s tri valjčića 16

4. RAZRADA POSTUPKA UMJERAVANJA 18

4.1. Mjerni uređaj 18

4.2. Set valjčića 20

4.3. Provedba mjerenja 21

4.4. Korekcija mjere promjera mjernih valjčića zbog utjecaja mjerne sile 26

5. MJERNA NESIGURNOST I UMJERAVANJE 29

5.1. Umjeravanje 29

5.2. Mjerna nesigurnost 29

5.3. Procjena mjerne nesigurnosti 33

5.3.1. Matematički model 34

5.4. Provjera proračuna mjerne nesigurnosti 38

5.5. Analiza podatka 40

6. USPOREDBA REZULTATA MJERENJA SA NORMOM ISO 16239:2013 46

6.1. Ograničenje odstupanja za promjere svakog valjčića 46

6.2. Maksimalna dopuštena razlika promjera između valjčića u setu 52

6.3. Maksimalna dopuštena razlika promjera duž osi valjčića 54

7. ZAKLJUČAK 56
LITERATURA 58

POPIS SLIKA

Slika 1. Valjčići bez prihvata 2
Slika 2. Korištenje valjčića bez prihvata 2
Slika 3. Valjčići u prihvatu 2
Slika 4. Korištenje valjčića u prihvatu 2
Slika 5. Provrt prihvata 3
Slika 6. Prikaz seta mjernih valjčića 4
Slika 7. Prikaz seta valjčića bez prihvata iz Schut kataloga 5
Slika 8. Valjčići u prihvatu iz Schut kataloga 6
Slika 9. Položaji ravnina za mjerenje 11
Slika 10. Mjerenje najviših i najnižih točaka u utoru. 12
Slika 11. Profil navoja 13
Slika 12. Metrički navoj 14
Slika 13. Razlika između finog i normalnog M navoja 15
Slika 14. Metoda sa tri valjčića 16
Slika 15. MU60-558 18
Slika 16. Sljedivost univerzalnog uređaja za mjerenje duljina 19
Slika 17. Prikaz seta valjčića 20
Slika 18. Odabrani valjčići 20
Slika 19. Mjerna kapica 21
Slika 20. Prikaz mjerenja valjčića 22
Slika 21. Model za utjecaj sile 26
Slika 22. Dvije sastavnice standardne nesigurnosti 31
Slika 23. Linearizacija 37
Slika 24. Grafički rezultat Monte Carlo simulacije 40
Slika 25 Vrijednosti sa pridruženom mjernom nesigurnosti valjčića ϕ17 u presjeku A-A 41
Slika 26 Vrijednosti sa pridruženom mjernom nesigurnosti valjčića ϕ17 u presjeku B-B 41
Slika 28. Vrijednosti sa pridruženom mjernom nesigurnosti valjčića ϕ0,62 u presjeku A-A .. 42
Slika 29. Vrijednosti sa pridruženom mjernom nesigurnosti valjčića ϕ0,62 u presjeku B-B .. 42
Slika 30. Vrijednosti sa pridruženom mjernom nesigurnosti valjčića ϕ1,65 u presjeku A-A .. 43
Slika 31. Vrijednosti sa pridruženom mjernom nesigurnosti valjčića ϕ17 u presjeku B-B 43
Slika 32. Vrijednosti sa pridruženom mjernom nesigurnosti valjčića ϕ 6,35 u presjeku A-A . 44
Slika 33. Vrijednosti sa pridruženom mjernom nesigurnosti valjčića ϕ6,35 u presjeku B-B .. 44
Slika 34. Prikaz valjčića ϕ 0,17 u tolerancijskom polju na presjeku A-A 46
Slika 35. Prikaz valjčića ϕ 0,17 u tolerancijskom polju na presjeku B-B 47
Slika 36. Prikaz valjčića ϕ 0,62 u tolerancijskom polju na presjeku A-A 47
Slika 37. Prikaz valjčića ϕ 0,62 u tolerancijskom polju na presjeku B-B 48
Slika 38. Prikaz valjčića ϕ 1,65 u tolerancijskom polju na presjeku A-A 48
Slika 39. Prikaz valjčića ϕ 1,62 u tolerancijskom polju na presjeku B-B 49
Slika 40. Prikaz valjčića ϕ 6,35 u tolerancijskom polju na presjeku A-A 49
Slika 41. Prikaz valjčića ϕ 6,35 u tolerancijskom polju na presjeku B-B 50

POPIS TABLICA

Tablica 1. Mjerni valjčići prema DIN 2269 katalogu 4
Tablica 2. Mjerni valjčići bez prihvata iz kataloga Schut measuring instruments and systems 5
Tablica 3. Valjčići za metrički navoj..... 6
Tablica 4. Mjerni valjčići prema DIN 2269 sa tolerancijom ± 0,5 μm 7
Tablica 5. Mjerni valjčići prema DIN 2269 sa tolerancijom ± 1 μm 7
Tablica 6. Mjerni valjčići prema DIN 2269 sa tolerancijom ± 2 μm 8
Tablica 7. Promjeri valjčića za M navoje prema ISO 16239 normi. 9
Tablica 8. Razredi tolerancije 10
Tablica 9. Metode za mjerenje 15
Tablica 10. Odabrani valjčići 21
Tablica 11. Rezultati prvog mjerenja 23
Tablica 12. Rezultati ponovljenog mjerenja 24
Tablica 13. Ponovljena mjerenja..... 25
Tablica 14. Utjecaj sile na valjčiće..... 27
Tablica 15. Korigirana aritmetička sredina promjera valjčića 27
Tablica 16. Mjerenja za procjenu nesigurnosti 33
Tablica 17. Mjerenja nesuosnosti mjerne kapice 35
Tablica 18. Iznosi za linearizaciju..... 36
Tablica 19. Sastavnice standardne mjerne nesigurnost 38
Tablica 20. Mjerna nesigurnost prema Monte Carlo simulaciji 39
Tablica 21. Doprinos varijabli..... 39
Tablica 22. Vjerojatnosti 51
Tablica 23. Razlika promjera između valjčića u setu..... 52
Tablica 24. Razlika promjera valjčića duž osi. 54

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
D	mm	Dimenzija provrta
Rz	µm	Hrapavost
P	mm	Korak navoja
d_2	mm	Opis oznake
d_d	mm	Srednji promjer vanjskih navoja
α	°	Kut profila navoja
A_1	mm	Korekcija nalijeganja mjernih valjčića
A_2	mm	Korekcija mjerne sile
$\bar{x}$	mm	Aritmetička sredina
R	mm	Raspon
u_c	µm	Sastavljena standardna nesigurnost
U	µm	Proširena nesigurnost
c_i	-	Koeficijent osjetljivosti
n	-	Broj ponovljenih mjerenja
v	-	Poissonov koeficijent
F	N	Mjerna sila
d	mm	Promjer valjčića
$u(d_V)$	µm	Izmjeren promjer valjčića
$u(\delta d_I)$	µm	Utjecaj mjernog instrumenta
$u(\delta d_T)$	°C	Utjecaj razlike temperature
$u(\delta d_K)$	µm	Utjecaj nesuosnosti mjernih kapica
δd_F	µm	Utjecaj mjerne sile
Δt	°C	Razlika temperature
α_V	K^{-1}	Koeficijent linearnog širenja valjčića
α_I	K^{-1}	Koeficijent linearnog širenja uređaja
s_p	µm	Zbirno procijenjeno standardno odstupanje
k	-	Faktor pokrivanja
P_{A-A}	%	Vjerojatnost u presjeku A-A
P_{B-B}	%	Vjerojatnost u presjeku B-B

SAŽETAK

U ovom diplomskom radu opisani su mjerni valjčići zajedno sa njihovim značajkama i primjenom korištenja kao što je metoda s tri valjčića.

Prema normi ISO 16239:2013, *Mjerni valjčići za mjerenje metričnih vijčanih navoja* navedeni su zahtjevi na materijal mjernih valjčića, vrijednost nazivnih promjera i tolerancije promjera. Također je detaljno razrađen postupak umjeravanja mjernih valjčića

Proveden je postupak mjerenja promjera odabranih mjernih valjčića prema normi ISO 16239:2013 u Laboratoriju za precizna mjerenja dužina koji djeluje kao Nacionalni laboratorij za duljinu u Republici Hrvatskoj.

Opisana je i procijenjena mjerna nesigurnost pomoću rezultata mjerenja pri čemu je provedena i Monte Carlo simulacija za provjeru proračuna mjerne nesigurnosti koja je također ukratko opisana u ovome radu. Za kraj je provedena usporedba rezultata mjerenja sa tolerancijama norme kako bi se ustanovilo da li mjerni valjčići zadovoljavaju postavljene kriterije te je donesen zaključak.

Ključne riječi: mjerna nesigurnost, ISO 16239:2013, mjerni valjčići, umjeravanje

SUMMARY

In this master thesis measuring pins are described together with their features and applications such as the three wire method.

According to ISO 16239:2013, *Metric series wires for measuring screw threads* requirements of material, nominal diameter values and diameter tolerances are defined for measuring pins. The calibrations procedure of the measuring pins has also been elaborated in detail.

According to ISO 16239:2013 measurements of the diameter of selected pins was carried out in the Laboratory for precise measurement of length acting as the National laboratory for length in the Republic of Croatia.

Measuring uncertainty is described and estimated by values of measurements. Monte Carlo simulation is also described in this paper and used to check the calculation of uncertainty. At end, a comparison of measurement results and norm tolerances is carried out to conclude if measuring pins meet the set criteria

Key words: Measurement uncertainty, ISO 16239:2013, Measuring pins, Calibration

1. UVOD

U prošlosti, prije standardizacije dijelova u industriji, svaki proizvođač je imao svoj standard za proizvode koje je proizvodio. To je vrijedilo za sve dijelove, pa čak i vijke. Takav način proizvodnje je bio vrlo skup i za korisnike manje praktičan jer su zamjenske dijelove mogli nabavljati samo od jednog izvora. Za rješavanje takvih problema uvedene su određene norme. Na taj način su smanjeni troškovi izrade i zamjena dijelova.

Uvođenjem normi riješeni su određeni problemi no stvorio se jedan novi problem, a to je osiguravanje da su dijelovi izrađeni kako određena norma propisuje. To je dovelo do razvoja brojnih uređaja i etalona kojima se osigurava da se zahtjevi norme mogu ispuniti.

Kako je mjerenje bitno u znanosti i u industriji, točnost i pouzdanost podataka dobivenim mjerenjem bi bila upitna ukoliko uređaji nisu umjereni. Umjeravanje osigurava da mjerni instrument prikazuje točne i pouzdane vrijednosti veličine koja se mjeri. Stoga je vrlo važno da se sva oprema za mjerenje periodično umjerava kako bi se osiguralo njeno ispravno funkcioniranje i osiguravanje pouzdanih i sljedivih rezultata mjerenja. [1]

Mjernim valjčićima kao elementima primjene u postupku umjeravanja, te kao elementima u postupku mjerenja, izrazita je važnost poštivanja propisanih standarda za njihovu primjenu.

Njihovim korištenjem tijekom vremena dolazi do trošenja što ima za rezultat davanje nepouzdanih vrijednosti.

Također valjčići su podložni ne pravilnom korištenju i održavanju od strane mjeritelja. Stoga je potrebno mjerne valjčiće periodično umjeravati kako bi se osiguralo da su primjenjivi za upotrebu.

U ovome radu će biti opisani mjerni valjčići, njihova primjena, te će se detaljno razraditi postupak njihovog umjeravanja prema normi ISO 16239:2013. Temeljem analize postupka umjeravanja donijeti će se zaključak da li odabrani seta valjčića zadovoljava ili ne zadovoljava navedenu normu.

2. MJERNI VALJČIĆI

Mjerni valjčići se proizvode bez prihvata (slika 1) ili u prihvatu (slika 3). Mjerni valjčići sa slike 1 se primarno koriste kao mjerni elementi u postupku umjeravanja navojnih mjerila korištenjem jednoosnih univerzalnih mjernih uređaja (slika 2), dok se mjerni valjčići sa slike 3 koriste kao mjerni elementi u postupku za mjerenje srednjeg promjera navoja korištenjem mikrometara za vanjska mjerenja (slika 4).



Slika 1. Valjčići bez prihvata[2]



Slika 2. Korištenje valjčića bez prihvata[3]



Slika 3. Valjčići u prihvatu[4]



Slika 4. Korištenje valjčića u prihvatu[5]

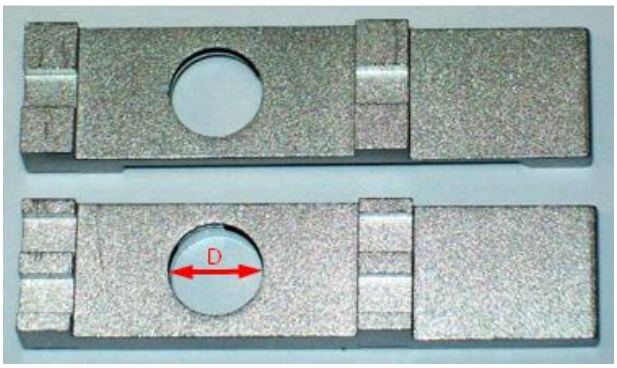
Valjčići bez prihvata, osim umjeravanja navojnih mjerila, se također koriste i za mjerenje udaljenosti između osi provrta, te određivanje iznosa promjera diobene kružnice zupčanika.[5]

Valjčići u prihvatu, kao na slici 3, su također učinkoviti za praćenje i kontrolu srednjeg promjera navoja kod proizvodnje kako bi se uvidjeli problemi kod izrade.

Prihvati se postavljaju na nakovanj i vreteno mikrometra na način da jedan prihvat sadrži jedan mjerni valjčić dok drugi prihvat sadrži dva mjerna valjčića, pri čemu su mjerni valjčići u prihvatu slobodni u kretanju kako bi se osiguralo njihovo pravilno pozicioniranje i kontakt s bokom navoja.

Proizvođači mikrometara izrađuju vretena, odnosno nakovnje, u različitim promjerima. S obzirom na mjere promjera izrađuju se i provrt na prihvatu u različitim promjerima kako bi se osiguralo umetanje prihvata valjčića na vreteno, odnosno nakovanj.

Promjer provrta prihvata prikazanog na slici 5 se izrađuju u standardnim dimenzijama.



Slika 5. Provrt prihvata[6]

Dimenzije provrta *D* na slici 5 su izraženi u milimetrima te iznose[5]:

D, mm						
6,35	6,5	7,5	7,62	7,924	8	9,924

Mjerne valjčiće sa slike 3 moguće je izvaditi iz prihvata i umjeravati ih na isti način kao što je to slučaj s valjčićima sa slike 1.

2.1 Značajke mjernih valjčića prema DIN 2269

U nastavu će biti prikazane dimenzionalne značajke mjernih valjčića prema DIN 2269 i prema odabranom katalogu. Slika 6 prikazuje mjerne valjčiće u setu prema odabranom rasponu promjera iz tablice 1. Tablica 1, osim prikaza raspona mjernih valjčića, prikazuje i korak između dva valjčića unutar serije, odnosno govori o porastu dimenzije promjera valjčića u odnosu na prethodni ili idući.



Slika 6. Prikaz seta mjernih valjčića [2]

Tablica 1. Mjerni valjčići prema DIN 2269 katalogu[2]

Nazivni promjer, mm	Broj valjčića u setu	Korak, mm	Tolerancija ± 0,5 µm
			Duljina, mm
0,1 - 0,3	21	0,01	30
0,3 - 0,5	21	0,01	30
0,5 - 1,0	51	0,01	30
0,1 - 1,0	19	0,05	30
1,0 - 2,0	21	0,05	30
2,0 - 3,0	21	0,05	30
3,0 - 4,0	21	0,05	35
4,0 - 5,0	21	0,05	35
5,0 - 6,0	21	0,05	40
6,0 - 7,0	21	0,05	40
7,0 - 8,0	21	0,05	40
8,0 - 9,0	21	0,05	40
9,0 - 10,0	21	0,05	40

Mjerni valjčići iz kataloga Schut measuring instruments and systems 2017 [8]

Slika 7 prikazuje jedan set valjčića bez prihvata u odabranom rasponu. Valjčići koji se nalaze u setu kreću se korakom prema tablici 2.



Slika 7. Prikaz seta valjčića bez prihvata iz Schut kataloga [8]

Među nekoliko proizvođača mjernih valjčića, bez preferencija, slučajno je odabran Schut, te su u nastavku date značajke mjernih valjčića iz njihovog proizvodnog programa.[8]

Karakteristike mjernih valjčića:

- Materijal: kaljeni čelik.
- Raspon promjera: 0,10 mm - 10,00 mm.
- Korak: 0,01 mm.
- Deklarirana točnost: ± 0,0015 mm.
- Dužina valjčića: za Ø 0,10 - 0,99 mm je 40 mm, za Ø 1,00 - 10,00 mm je 70 mm.

Tablica 2. Mjerni valjčići bez prihvata iz kataloga Schut measuring instruments and systems [8]

Nazivni promjer, mm	Korak, mm	Broj komada u setu
0,10 - 1,00	0,01	91
1,00 - 2,00	0,01	101
2,00 - 3,00	0,01	101
3,00 - 4,00	0,01	101
4,00 - 5,00	0,01	101
5,00 - 6,00	0,01	101
6,00 - 7,00	0,01	101
7,00 - 8,00	0,01	101
8,00 - 9,00	0,01	101
9,00 - 10,00	0,01	101
1,00 - 10,00	0,10	91

Valjčići dolaze u setu od 3 komada u prihvatima sa provrtima od Ø 6,35 mm, Ø 6,5 mm i

Ø 8 mm, uz deklariranu toleranciju promjera od ± 0,001 mm.



Slika 8. Valjčići u prihvatu iz Schut kataloga [8]

Tablica 3. Valjčići za metrički navoj [8]

Korak	Promjer valjčića
0,2; 0,3	0,17
0,35	0,22
0,4	0,25
0,45; 0,5	0,29
0,6	0,335
0,7 – 0,8	0,455
1	0,62
1,25	0,725
1,5	0,895
1,75	1,10
2	1,35
2,5	1,65
3,0; 3,5	2,05
4,0; 4,5	2,55
5,0; 5,5	3,20
5	4,00

Mjerni valjčići prema DIN 2269

Izrađeni su od kromiranog čelika, ispunjavaju zahtjeve za površinskom kakvoćom, otpornosti na habanje, te određenom otpornosti na koroziju. Pri tome se ne navode kvantitativni podaci zahtjeva, dok se za usporedbu kod norme ISO 16239:2013, zahtjevi točno definirani.[7]

Mjerne valjčiće moguće je nabaviti ili pojedinačno ili u garnituri.

Dostupni koraci: 0,1 mm / 0,01 mm / 0,05 mm

Tablica 4. Mjerni valjčići prema DIN 2269 sa tolerancijom ± 0,5 µm [7]

Korak 0,01 mm	Tolerancija ± 0,5 µm
Nazivni promjer, mm	Duljina, mm
0,1 - 0,20	30
0,21 - 0,30	30
0,31 - 0,50	30
0,51 - 1,00	30
1,01 - 3,00	35
3,01 - 5,00	40
5,01 - 6,00	40
6,01 - 10,00	40

Tablica 5. Mjerni valjčići prema DIN 2269 sa tolerancijom ± 1 µm [7]

Korak 0,01 mm	Tolerancija ± 1 µm
Nazivni promjer, mm	Duljina, mm
0,1 - 0,20	40
0,21 - 0,30	40
0,31 - 0,50	40
0,51 - 1,00	40
1,01 - 3,00	40
3,01 - 5,00	35 / 70
5,01 - 6,00	40 / 70
6,01 - 10,00	40 / 70

Tablica 6. Mjerni valjčići prema DIN 2269 sa tolerancijom ± 2 µm [7]

Korak 0,01 mm	Tolerancija ± 2 µm
Nazivni promjer, mm	Duljina, mm
0,31 - 0,50	70
0,51 - 1,00	40
1,01 - 3,00	35 / 70
3,01 - 5,00	40 / 70
5,01 - 6,00	40 / 70
6,01 - 10,00	50
10,01 - 12,00	50
12,01 - 14,00	50
14,01 - 16,00	50
16,01 - 18,00	50

2.2 Značajke mjernih valjčića prema ISO 16239:2013

Ova međunarodna norma određuje materijale, vrijednosti nazivnih promjera i tolerancije promjera valjčića za mjerenje navoja. Primjenjuje se za mjerenje promjera ISO metričnih navoja opće namjene (*M*), jednodijelnih navojnih navoja (*UN*), Whitworthovih navoja (*G*, *R*) i ISO metričkih trapezoidnih navojnih navoja (*Tr*) sa standardnim koracima.[9]

Valjčići moraju biti izrađeni od alatnog čelika koji je dimenzijski stabilan kako bi se osigurala nepromijenjenost dimenzija.[9]

- Tvrdoća mora biti (760 ± 50) HV5.
- Vrijednost parametra hrapavost *Rz* ne smije prelaziti 0,4 µm.

Nazivni promjeri za najbolji odabir valjčića za mjerenje navoja prema navedenoj normi su prikazani u tablici 7.

Tablica 7. Promjeri valjčića za M navoje prema ISO 16239 normi. [9]

Nazivni promjer valjčića, mm	Korak *P*, mm	Nazivni promjer valjčića, mm	Korak *P*, mm
0,115	0,2	0,866	1,5
0,144	0,25	1,010	1,75
0,173	0,3	1,155	2
0,202	0,35	1,443	2,5
0,231	0,4	1,732	3
0,260	0,45	2,021	3,5
0,289	0,5	2,309	4
0,346	0,6	2,598	4,5
0,404	0,7	2,887	5
0,433	0,75	3,175	5,5
0,462	0,8	3,464	6
0,577	1	4,619	8
0,722	1,25	-	-

Norma ISO 16239 razlikuje dva razreda tolerancije za promjer mjernih valjčića. Odabir razreda tolerancije vrši se prema potrebi zahtjeva za točnosti, te prema mogućnostima postupka mjerenja. Navedeni razredi su prikazani u tablici 8.

Tablica 8. Razredi tolerancije [9]

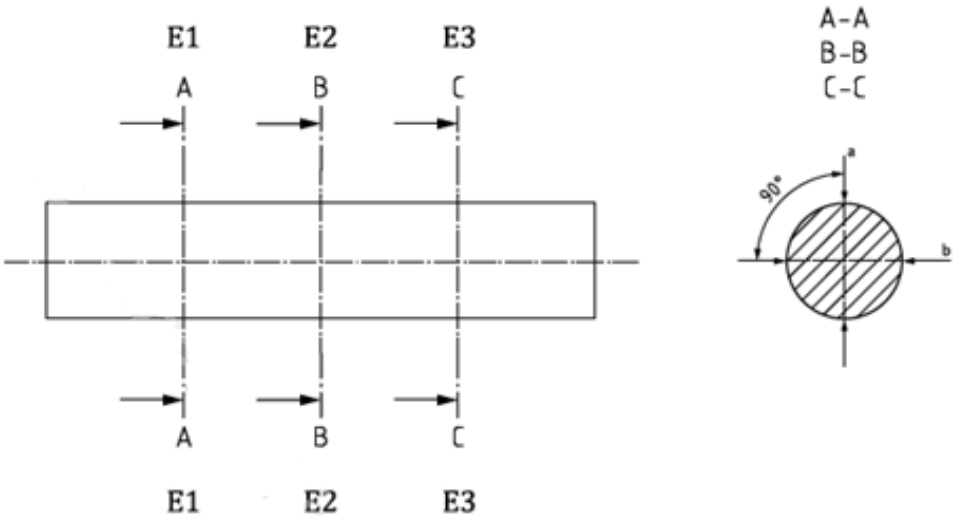
	Razred	Tolerancija µm	Preporučena metoda mjerenja
Ograničenje odstupanja za promjere valjčića prema navedenim nazivnim promjerima	1	±0,5	8.1
Maksimalna dopuštena razlika promjera između valjčića u setu		0,25	8.1
Maksimalna dopuštena razlika promjera duž osi valjčića		0,25	8.1
Maksimalna dopuštena razlika promjera oko valjčića		0,25	8.2
Ograničenje odstupanja za promjere svakog valjčića prema navedenim nazivnim promjerima	2	±1	8.1
Maksimalna dopuštena razlika promjera između valjčića u setu		0,5	8.1
Maksimalna dopuštena razlika promjera duž osi valjčića		0,5	8.1
Maksimalna dopuštena razlika promjera oko valjčića		0,5	8.2

U normi ISO 16239 prikazana su dva mjerna modela za utvrđivanje promjera mjernih valjčića:

- Metoda 8.1 - Mjerenje promjera valjčića
- Metoda 8.2 - Određivanje razlike promjera valjčića

- 8.1 Mjerenje promjera valjčića

Promjeri svakog valjčića trebaju se mjeriti u tri ravnine, E1, E2 i E3, okomito na osi valjčića, u ravnini *a* i *b*, dva promjera treba mjeriti u okomitim smjerovima (vidi sliku 9).[9]



Slika 9. Položaji ravnina za mjerenje [9]

Gdje su:

E1, E2, E3 – ravnine mjerenja.

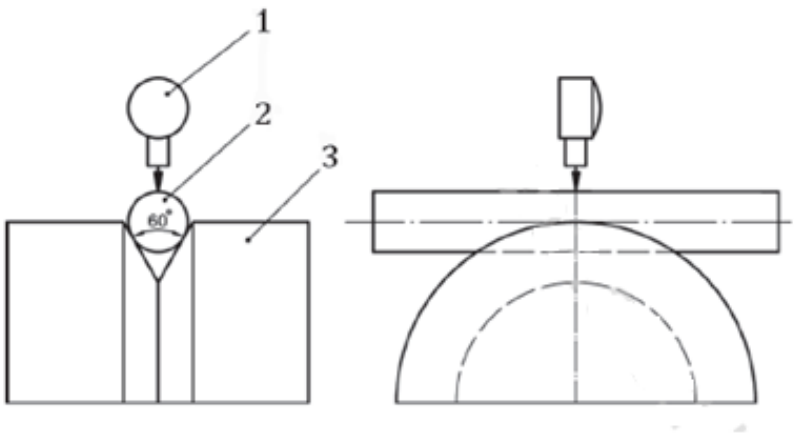
a, b – ravnine uzduž valjčića (međusobno okomite).

- 8.2 Određivanje razlike promjera valjčića

Razlika promjera valjčića određuje se mjerenjem najviših i najnižih točaka u V utoru od 60°, koristeći odgovarajući mjerni uređaj (vidi sliku 10).

Mjerni položaji valjčića nalaze se u tri ravnine, E1, E2 i E3 (vidi sliku 9).

Kod okretanja valjčića u V utoru razlika između maksimalnog i minimalnog očitanja dijeli se s konstantom 1,5. Izračunati rezultat ne smije prelaziti vrijednost navedene najveće dopuštene razlike.[9]



Slika 10. Mjerenje najviših i najnižih točaka u utoru. [9]

Gdje je

1 – Mjerni instrument

2 – Valjčić

3 - V utor od 60°

3. PRIMJENA MJERNIH VALJČIĆA

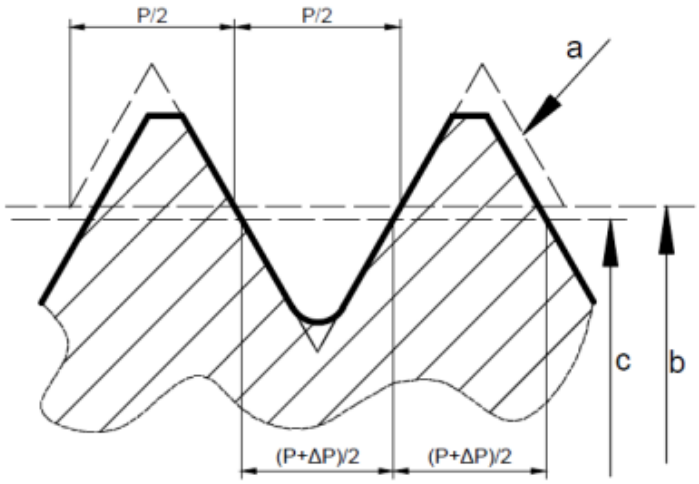
Kako je u prethodnom poglavlju bilo navedeno, mjerni valjčići primarno se koriste kao mjerni elementi u postupku umjeravanja navojnih mjerila, stoga će se u nastavku ukratko opisati promjeri koje se definiraju na navojnom elementu, te značajke metričkog navoja.

3.1 Jednostavni srednji promjer navoja

Jednostavni srednji promjer navoja (slika 11b), je promjer srednjeg cilindra ili konusa koji siječe stvarni navoj tako da je širina jednog navojnog utora (mjerena paralelno sa središnjom osi navoja) jednaka polovici osnovnog korak navoja. Obično se mjeri metodama s mjernim valjčićima ili mjernim kuglicama. Kod konusnih navoja srednji promjer se mijenja duž središnje osi navoja. Kod teorijskih navoja jednostavni srednji promjer jednak je srednjem promjeru navoja.[10]

3.2 Srednji promjer navoja d2

Srednji promjer navoja (slika 11c) izvedena je veličina koja ovisi o parametrima koji određuju navoj (kut profila, korak, uspon) i o veličinama karakterističnim za pojedinu mjernu metodu (mjerna sila, mjerni elementi). Srednji promjer navoja nije moguće izravno izmjeriti, već ga je potrebno izračunati prema definiciji: *"promjer zamišljenog cilindra, čiji plašt siječe profil navoja tako da širina navojnog grebena i utora budu jednake."*[10]



Slika 11. Profil navoja [10]

Gdje je:

a – Teorijski navoj

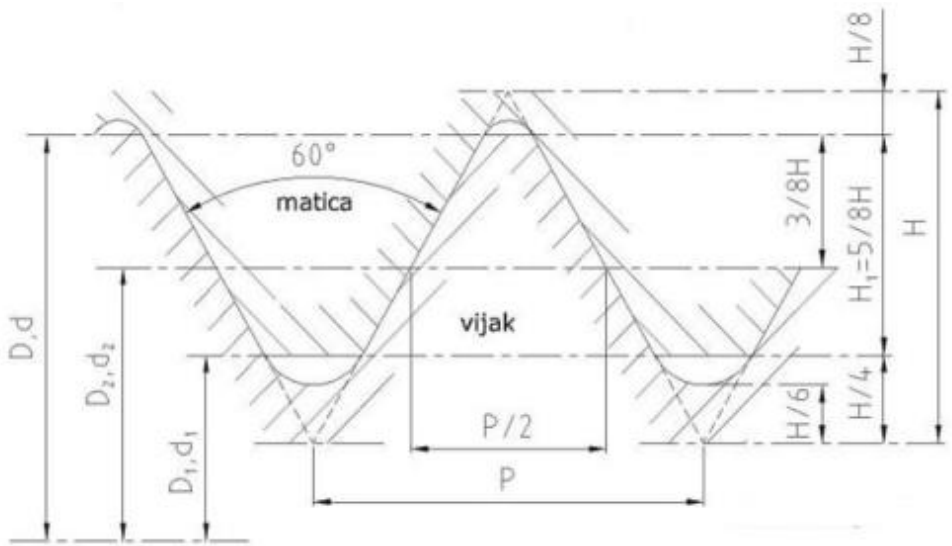
b – Jednostavni srednji promjer navoja

c – Srednji promjer navoja

3.3 Metrički navoj

Profili navoja dijele se na plosnate i trokutaste. Profil plosnatog navoja je kvadrat zato se takav navoj naziva i kvadratni navoj. Navoji kojima je teorijski profil trokut dijele se na više vrsta: metrički navoj, Whithworthov navoj, trapezni navoj, pilasti navoj, obli navoj itd.

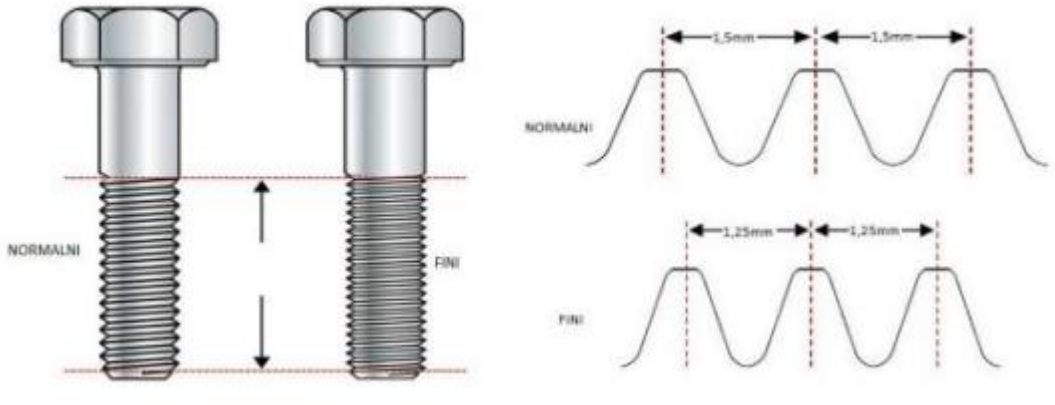
Metrički navoj s trokutastim ISO profilom ima teorijski profil jednakostraničnog trokuta s kutom profila navoja $2\beta = 60°$. [10]



Slika 12. Metrički navoj [10]

Razlikuju se normalni i fini metrički navoji. Normalni metrički navoji se najviše upotrebljavaju u općoj strojogradnji, a prvenstveno kod pričvrsnih vijaka i matica. Fini metrički navoji koriste se u slučajevima kada se traži što manje slabljenje elemenata vijčanog spoja, velika sigurnost od odvijanja, mali i točni pomaci vijka ili matice u aksijalnom smjeru i dr. [10]

Na slici 13 je prikazana razlika između finog i normalnog metričkog navoja gdje se vidi kako normalni navoj ima korak *P* iznosa 1,5 mm, dok fini navoj ima korak *P* iznosa 1,25 mm.



Slika 13. Razlika između finog i normalnog M navoja [10]

Postoje različite metode za mjerenje vanjskog i unutarnjeg navoja, središnjeg promjera te kuta i koraka.

U tablici 9 su prikazane metode za mjerenje navoja uz njihove mogućnosti mjerenja i ograničenja.

Tablica 9. Metode za mjerenje [10]

Mjerna metoda	Vanjski navoj	Unutarnji navoj	Srednji promjer	Kut	Korak
Metoda s T ticalom	NE	DA	DA	NE	NE
Metoda s mjernim čeljustima	NE	DA	DA	NE	NE
Metoda s mjernim valjčićima	DA	NE	DA	NE	NE
Metoda s projiciranjem	DA		DA	DA	DA

3.4 Metoda s tri valjčića

Metoda s tri valjčića smatra se najpouzdanijom metodom za mjerenje srednjeg promjera vanjskih navoja. Mjerenje se provodi na univerzalnom mjernom uređaju ili upotrebom ručnih mjerila (mikrometara). Mjeri se udaljenost preko tri valjčića u dva međusobno okomita presjeka, (slika 14). Odabir valjčića odgovarajućeg promjera vrši se prema koraku i kutovima boka navoja. Izračun iznosa srednjeg promjera navoja se provodi prema sljedećem izrazu: [10]

$$d_2 = M - d_d\left(\frac{1}{\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)} + 1\right) + \frac{P}{2} * \cot\left(\frac{\alpha}{2}\right) - A_1 + A_2 \qquad (1)$$

Gdje je :

d_2 - Srednji promjer vanjskih navoja, mm

M - Mjera dobivena preko valjčića, mm

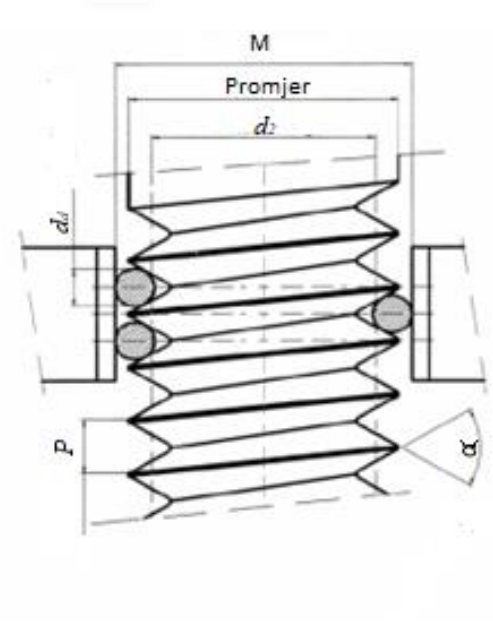
d_d - Promjer mjernih valjčića, mm

α - Kut profila navoja, °

P - Korak navoja, mm

A_1 - Korekcija nalijeganja mjernih valjčića, mm

A_2 - Korekcija mjerne sile, mm



Slika 14. Metoda sa tri valjčića [10]

Za mjerenje vanjskog navoja pomoću metode s tri valjčića važno je odrediti promjer valjčića pomoću tablice 7 iz ISO 16239:2013 norme ili izračunati pomoću jednadžbe (2). [11]

$$d_D = \frac{P}{2*\cos\frac{\alpha}{2}} \quad (2)$$

Gdje je:

P – korak navoja

α – kut navoja

d_D – promjer valjčića

4. RAZRADA POSTUPKA UMJERAVANJA

Kako bi se osigurala pouzdanost mjere promjera mjernih valjčića iste je potrebno periodički umjeravati. To je posebice važno iz razloga što pri korištenju mjernih valjčića može doći do njihovog trošenja stoga je nužno redovito provjeravati njihove dimenzijske značajke provođenjem postupka umjeravanja.

U ovom poglavlju opisan je postupak umjeravanja mjernih valjčića prema normi ISO 16239:2013. Zbog ograničenja laboratorija u kojem se vrše mjerenja odabrana mjerna metoda za utvrđivanje promjera mjernih valjčića prema normi je 8.1 koja definira da se mjerenja provedu u tri ravnine okomite na os valjčića, te u međusobno dvije okomite ravnine.

4.1 Mjerni uređaj

Uređaj korišten pri postupku umjeravanja je jednoosni univerzalni uređaj za mjerenje duljine proizvođača Joint Instruments, model DMS680 (laboratorijska oznaka MU 60-558). Uređaj je prikazan na slici 15.[12]



Slika 15. MU60-558 [12]

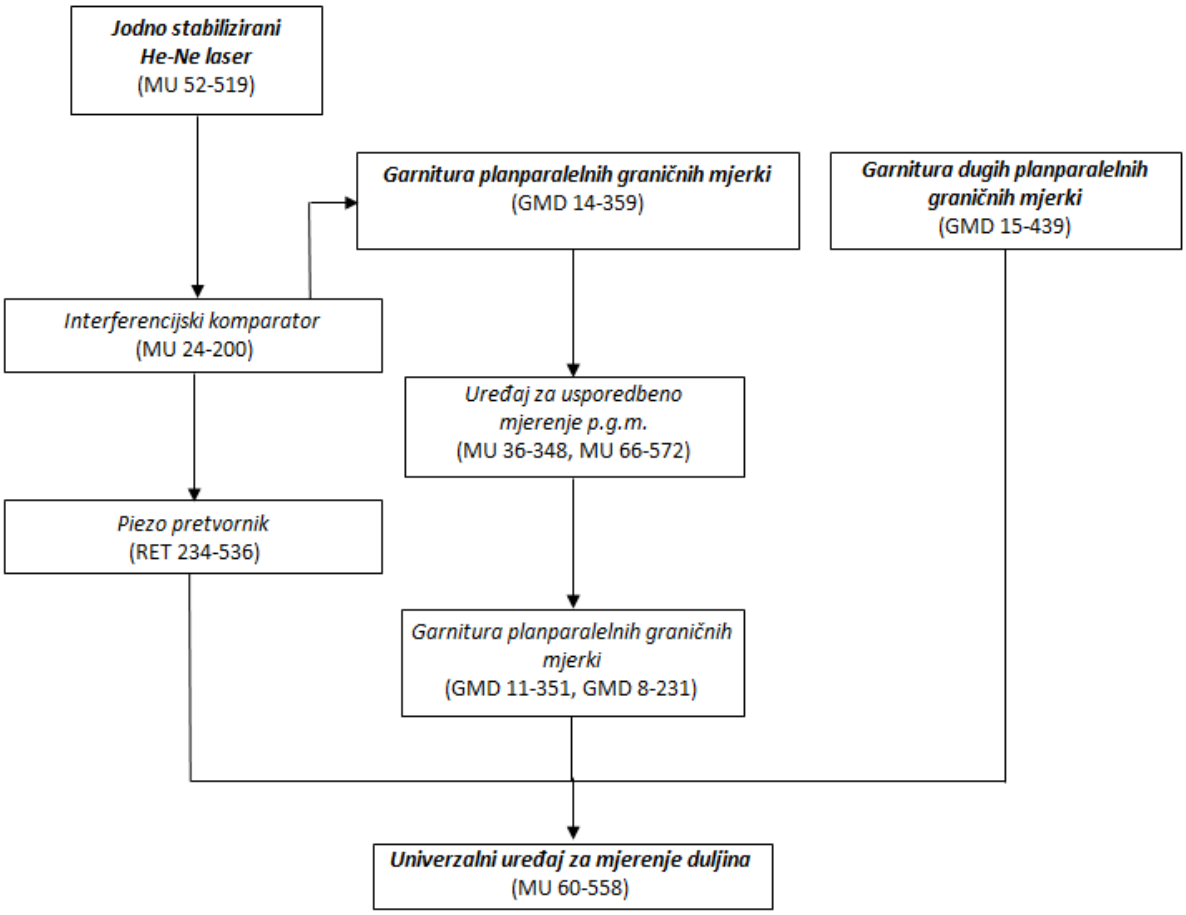
Mjerni uređaj uključuje dvije vodilice (konzole) na koje se, ovisno o mjernoj značajki, postavljaju odgovarajuće mjerne kapice.

Na pomični okretni stol mjernog uređaja smještaju se teži predmeti prilikom mjerenja. Očitanja se vrše pomoću računala integriranog s mjernim uređajem.

Uređaj ima raspon mjerenja od 0 mm do 600 mm uz rezoluciju od 0,01 µm. Kako se radi o univerzalnom mjernom uređaju dobrih mjeriteljskih značajki, primjenjiv je za provedbu umjeravanja različitim mjernih artefakata, kao što su: [12]

- duge planparalelne granične mjerke,
- kontrolni prsteni,
- granična mjerila za provrte,
- unutarnja i vanjska navojna mjerila,
- mjerni valjčići i dr.

Kako bi rezultati mjerenja, ostvareni korištenjem bilo kojeg mjernog uređaja bili pouzdani, nužno je jednoznačno definirati sljedivost rezultata mjerenja. Sljedivost rezultata mjerenja korištenjem jednoosnog univerzalnog mjernog uređaja u Laboratoriju za precizna mjerenja dužina osigurana je kako je prikazano na slici 16.



Slika 16. Sljedivost univerzalnog uređaja za mjerenje duljina

4.2 Set valjčića

Za provedbu postupka umjeravanja mjernih valjčića odabrana je garnitura prikazana na slici 17 koja se sastoji od 63 valjčića u rasponu mjernog područja od ϕ 0,17 mm do ϕ 6,35 mm. Svaka dimenzija u garnituri se sastoji od tri valjčića bez prihvata. Odabrani valjčići iz garniture su prikazani na slici 18.



Slika 17. Prikaz seta valjčića



Slika 18. Odabrani valjčići

Iz seta su izuzete četiri različite dimenzije nazivnih promjera mjernih valjčića. Dimenzije su prikazane u tablici 10.

Tablica 10. Odabrani valjčići

Nazivni promjer, mm
0,17
0,62
1,65
6,35

4.3 Provedba mjerenja

Dimenzionalna mjerenja za potrebe izrade ovog rada provedena su u Laboratoriju za precizna mjerenja dužina koji djeluje kao Nacionalni laboratorij za duljinu u Republici Hrvatskoj. Laboratorij je smješten u prostorijama Fakulteta strojarstva i brodogradnje. U prostoriji gdje je smješten jednoosni mjerni uređaj Laboratorij održava temperaturu u rasponu od 20 °C ± 0,5 °C. Korišteni uređaj opisan je u potpoglavlju 4.1. Na uređaju je bila podešena mjerna sila iznosa 2,36 N, te su bile postavljene nožaste mjerne kapice (slika 19.) s obzirom da predmet mjerenja, mjerni valjčić, ima cilindričnu geometriju.



Slika 19. Mjerna kapica

Prije početka mjerenja mjerni valjčići i mjerne kapice očišćeni su od masnoće i prašine koristeći medicinski benzin i krpu.

Relativan položaj mjernih kapica postavlja se traženjem prekretne točke u dvije osi. Kada je postignuta zadovoljavajuća suosnost mjernih kapica mjerna vrijednost na uređaju postavlja se na 0 mm te se može započeti sa mjerenjem promjera mjernih valjčića.

Mjerni valjčići su postavljeni na način da su obješeni preko pomoćnog držača koji je spojen na jedan klizač kao što je prikazano na slici 20.



Slika 20. Prikaz mjerenja valjčića

Mjerenje je provedeno prema metodi 8.1 iz norme ISO 16239:2013 te su rezultati prikazani u tablici 11. U cilju utvrđivanja ponovljivosti (def. „*Ponovljivost je usko slaganje između rezultata uzastopnih mjerenja iste mjerene veličine izvedenih u istim mjernim uvjetima*“ [13]) rezultata provedeno je dodatno mjerenje svih valjčića te su rezultati drugog mjerenja prikazani u tablici 12.

Tablica 11. Rezultati prvog mjerenja

Nazivni promjer Valjčića /Oznaka		Presjek A - A		Presjek B - B	
		Izmjereno, mm	$\bar{x}, R$, mm	Izmjereno, mm	$\bar{x}, R$, mm
Φ 0,17/1	1	0,1694	$\bar{x}$ = 0,16946	0,1695	$\bar{x}$ = 0,16946
	2	0,1695		0,1695	
	3	0,1695	R = 0,0001	0,1694	R = 0,0001
Φ 0,17/2	1	0,1697	$\bar{x}$ = 0,16976	0,1698	$\bar{x}$ = 0,1697
	2	0,1698		0,1697	
	3	0,1698	R = 0,0001	0,1697	R = 0,0001
Φ 0,17/3	1	0,1697	$\bar{x}$ = 0,16973	0,1697	$\bar{x}$ = 0,1697
	2	0,1698		0,1697	
	3	0,1697	R = 0,0001	0,1698	R = 0,0001
Φ 0,62/1	1	0,6198	$\bar{x}$ = 0,6198	0,6198	$\bar{x}$ = 0,6197
	2	0,6199		0,6199	
	3	0,6197	R = 0,0002	0,6196	R = 0,0003
Φ 0,62/2	1	0,6199	$\bar{x}$ = 0,6199	0,6198	$\bar{x}$ = 0,6196
	2	0,6199		0,6198	
	3	0,6199	R = 0	0,6194	R = 0,0004
Φ 0,62/3	1	0,6194	$\bar{x}$ = 0,61943	0,6195	$\bar{x}$ = 0,6194
	2	0,6196		0,6195	
	3	0,6193	R = 0,0003	0,6193	R = 0,0002
Φ 1,65/1	1	1,6497	$\bar{x}$ = 1,6497	1,6497	$\bar{x}$ = 1,6497
	2	1,6497		1,6498	
	3	1,6498	R = 0,0001	1,6498	R = 0,0001
Φ 1,65/2	1	1,6496	$\bar{x}$ = 1,6497	1,6496	$\bar{x}$ = 1,6498
	2	1,6498		1,6500	
	3	1,6497	R = 0,0002	1,6499	R = 0,0004
Φ 1,65/3	1	1,6494	$\bar{x}$ = 1,6494	1,6494	$\bar{x}$ = 1,6496
	2	1,6494		1,6501	
	3	1,6495	R = 0,0001	1,6495	R = 0,0007
Φ 6,35/1	1	6,3526	$\bar{x}$ = 6,3523	6,3519	$\bar{x}$ = 6,3520
	2	6,3524		6,3520	
	3	6,3518	R = 0,0008	6,3521	R = 0,0002
Φ 6,35/2	1	6,3529	$\bar{x}$ = 6,3528	6,3525	$\bar{x}$ = 6,3523
	2	6,3529		6,3520	
	3	6,3528	R = 0,0001	6,3525	R = 0,0005
Φ 6,35/3	1	6,3528	$\bar{x}$ = 6,3529	6,3528	$\bar{x}$ = 6,3529
	2	6,3530		6,3529	
	3	6,3529	R = 0,0002	6,3530	R = 0,0002

Tablica 12. Rezultati ponovljenog mjerenja

Nazivni promjer Valjčića /Oznaka		Presjek A - A		Presjek B – B	
		Izmjereno, mm	$\bar{x}, R$ mm	Izmjereno, mm	$\bar{x}, R$, mm
Φ 0,17/1	1	0,1697	$\bar{x}$ = 0,1696	0,1697	$\bar{x}$ = 0,1697
	2	0,1696		0,1697	
	3	0,1697	R = 0,0001	0,1697	R = 0
Φ 0,17/2	1	0,1696	$\bar{x}$ = 0,1696	0,1697	$\bar{x}$ = 0,1696
	2	0,1697		0,1696	
	3	0,1697	R = 0,0001	0,1697	R = 0,0001
Φ 0,17/3	1	0,1696	$\bar{x}$ = 0,1696	0,1697	$\bar{x}$ = 0,1696
	2	0,1696		0,1696	
	3	0,1696	R = 0	0,1696	R = 0,0001
Φ 0,62/1	1	0,6195	$\bar{x}$ = 0,6195	0,6195	$\bar{x}$ = 0,6195
	2	0,6196		0,6196	
	3	0,6195	R = 0,0001	0,6196	R = 0,0001
Φ 0,62/2	1	0,6195	$\bar{x}$ = 0,6195	0,6194	$\bar{x}$ = 0,6194
	2	0,6194		0,6193	
	3	0,6196	R = 0,0002	0,6194	R = 0,0001
Φ 0,62/3	1	0,6192	$\bar{x}$ = 0,6193	0,6193	$\bar{x}$ = 0,6193
	2	0,6194		0,6194	
	3	0,6193	R = 0,0002	0,6193	R = 0,0001
Φ 1,65/1	1	1,6499	$\bar{x}$ = 1,6498	1,6499	$\bar{x}$ = 1,6498
	2	1,6497		1,6498	
	3	1,6498	R = 0,0002	1,6498	R = 0,0001
Φ 1,65/2	1	1,6499	$\bar{x}$ = 1,6499	1,6498	$\bar{x}$ = 1,6497
	2	1,6499		1,6497	
	3	1,6500	R = 0,0001	1,6498	R = 0,0001
Φ 1,65/3	1	1,6500	$\bar{x}$ = 1,6500	1,6500	$\bar{x}$ = 1,6499
	2	1,6500		1,6499	
	3	1,6501	R = 0,0001	1,6499	R = 0,0001
Φ 6,35/1	1	6,3526	$\bar{x}$ = 6,3526	6,3525	$\bar{x}$ = 6,3526
	2	6,3527		6,3527	
	3	6,3525	R = 0,0002	6,3525	R = 0,0002
Φ 6,35/2	1	6,3529	$\bar{x}$ = 6,3529	6,3529	$\bar{x}$ = 6,3530
	2	6,3529		6,3530	
	3	6,3530	R = 0,0001	6,3531	R = 0,0002
Φ 6,35/3	1	6,3526	$\bar{x}$ = 6,3526	6,3527	$\bar{x}$ = 6,3527
	2	6,3527		6,3527	
	3	6,3526	R = 0,0001	6,3528	R = 0,0001

Usporedbom rezultata prvog i drugog mjerenja utvrđeno je da razlike između aritmetičkih sredina istih mjerenih veličina ne prelaze vrijednost 0,3 µm na 9 od ukupno 12 mjerenih veličina. Pri ponovljenom mjerenju promjera valjčića *Φ* 0,62/2 u presjeku A - A utvrđena je razlika u iznosu 0,4 mm. Dok je u presjeku B – B kod valjčića *Φ* 6,35/1 i *Φ* 6,35/2 utvrđena razlika od 0,6 µm i 0,7 µm.

Zbog navedenog ponovljena su mjerenja na navedenim valjčićima te su rezultati tog mjerenja prikazani u tablici 13.

Tablica 13. Ponovljena mjerenja

Nazivni promjer, mm	Aritmetička sredina, mm
Φ 0,62/2 Presjek A-A	0,6201
	0,6198
	0,6200
Φ 6,35/1 Presjek B-B	6,3527
	6,3526
	6,3528
Φ 6,35/2 Presjek B-B	6,3515
	6,3518
	6,3519

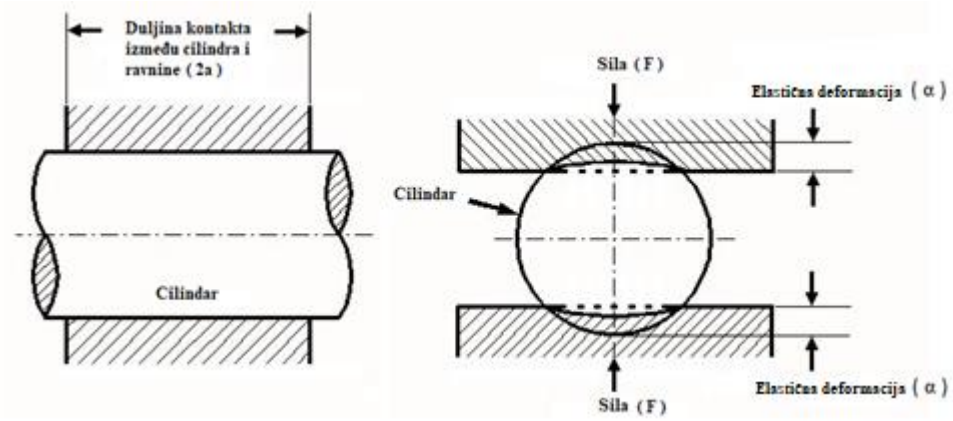
Nakon ponovljenog mjerenja navedenih valjčića utvrđeno je da razlike između aritmetičkih sredina kod valjčića *Φ* 0,62/2 i *Φ* 6,35/1 ne prelaze vrijednost 0,3 µm dok kod valjčića *Φ* 6,35/2 razlika iznosi 0,6 µm. Smanjenje razlike aritmetičkih sredina kod valjčića *Φ* 0,62/2 i *Φ* 6,35/1 može se objasniti slučajnim pogreškama u postupku mjerenja koje za posljedicu daju neprecizan rezultat. Uzrok slučajnih pogrešaka su promjenljivost okoline, neiskustvo mjeritelja i drugo. Ponavljanjem mjerenja povećava se iskustvo mjeritelja čime se direktno utječe na smanjenje pogreške. Kod valjčića *Φ* 6,35/2 i nakon ponovljenog mjerenja razlika aritmetičkih sredina je ostala i dalje povećana u odnosu na druge što može ukazivati, uz iskustvo mjeritelja, na loše površinsko stanje valjčića.

4.4 Korekcija mjere promjera mjernih valjčića zbog utjecaja mjerne sile

Kako mjerena sila ima određeni utjecaj na rezultat mjerenja u ovome dijelu će se sagledati iznos utjecaja za pojedini valjčić te provesti korekcija mjernog rezultata.

Model

Model se bazira na cilindru između dvaju ravnina kao što je prikazano na slici 21. Mjerna kapica prikazana na slici 18 korištena prilikom mjerenja dimenzija je 1 mm × 3 mm. Što čini duljinu kontakta između ravnine i cilindra od 3 mm.



Slika 21. Model za utjecaj sile [14]

Izračun elastične deformacije uslijed djelovanja mjerne sile izvodi se pomoću sljedećih formula.

Za općeniti slučaj:

$$\alpha_T = 2 \times \alpha = 2 \times \bar{F} \times (\nu_1 + \nu_2) \times \left[1 + \ln\left\{\frac{8\alpha^2}{\bar{F} \times (\nu_1 + \nu_2) \times D}\right\}\right] \quad (3)$$

Za slučaj kada su ravnina i cilindar izrađeni iz istog materijala.

$$\alpha_T = 2 \times \alpha = 2 \times 2\bar{F} \times \nu \times \left[1 + \ln\left\{\frac{4\alpha^2}{\bar{F} \times \nu \times D}\right\}\right] \quad (4)$$

Gdje je:

α_T – Iznos korekcije

$\bar{F} = F / 2a$ – sila po jedinici kontakta

$2a$ – duljina kontakta

Ako duljine linija kontakta nisu jednake ili su materijali dvaju ravnina različiti, onda se deformacija na svakom kontaktu mora se izračunati neovisno.

U tablici 14 su prikazani utjecaji sile s obje strane za pojedini valjčić dok u tablici 15 su prikazane korekcije mjerenja.

Tablica 14. Utjecaj sile na valjčiće

Φ 0,17	*Φ* 0,62	*Φ* 1,65	*Φ* 6,35
84 nm	78 nm	73 nm	67 nm

Tablica 15. Korigirana aritmetička sredina promjera valjčića

Nazivni promjer Valjčića /Oznaka/		Presjek A - A		Presjek B – B	
		Izmjereno, mm	Korigirani iznos, mm	Izmjereno, mm	Korigirani iznos, mm
Φ 0,17/1	1	0,1697	0,1698	0,1697	0,1698
	2	0,1696	0,1697	0,1697	0,1698
	3	0,1697	0,1698	0,1697	0,1698
Φ 0,17/2	1	0,1696	0,1697	0,1697	0,1698
	2	0,1697	0,1698	0,1696	0,1697
	3	0,1697	0,1698	0,1697	0,1698
Φ 0,17/3	1	0,1696	0,1697	0,1697	0,1698
	2	0,1696	0,1697	0,1696	0,1697
	3	0,1696	0,1697	0,1696	0,1697
Φ 0,62/1	1	0,6195	0,6196	0,6195	0,6196
	2	0,6196	0,6197	0,6196	0,6197
	3	0,6195	0,6196	0,6196	0,6197
Φ 0,62/2	1	0,6195	0,6196	0,6194	0,6195
	2	0,6194	0,6195	0,6193	0,6194
	3	0,6196	0,6197	0,6194	0,6195
Φ 0,62/3	1	0,6192	0,6193	0,6193	0,6194
	2	0,6194	0,6195	0,6194	0,6195
	3	0,6193	0,6194	0,6193	0,6194
Φ 1,65/1	1	1,6499	1,6500	1,6499	1,6500
	2	1,6497	1,6498	1,6498	1,6499
	3	1,6498	1,6499	1,6498	1,6499
Φ 1,65/2	1	1,6499	1,6500	1,6498	1,6499
	2	1,6499	1,6500	1,6497	1,6498
	3	1,6500	1,6501	1,6498	1,6499
Φ 1,65/3	1	1,6500	1,6501	1,6500	1,6501
	2	1,6500	1,6501	1,6499	1,6500
	3	1,6501	1,6502	1,6499	1,6500
Φ 6,35/1	1	6,3526	6,3527	6,3525	6,3526
	2	6,3527	6,3528	6,3527	6,3528
	3	6,3525	6,3526	6,3525	6,3526
Φ 6,35/2	1	6,3529	6,3530	6,3529	6,3530
	2	6,3529	6,3530	6,3530	6,3531
	3	6,3530	6,3531	6,3531	6,3532
Φ 6,35/3	1	6,3526	6,3527	6,3527	6,3528
	2	6,3527	6,3528	6,3527	6,3528
	3	6,3526	6,3527	6,3528	6,3529

Prikazani podaci su iskazani bez mjerne nesigurnosti te ih kao takve nije moguće usporediti sa specifikacijama proizvođača ili zadanim tolerancijama, kao niti usporediti s rezultatima mjerenja na drugom mjernom uređaju ili u drugom laboratoriju. U cilju utvrđivanja cjelovite mjeriteljske informacije potrebno je procijeniti mjernu nesigurnost rezultata mjerenja promjera mjernih valjčića.

5. MJERNA NESIGURNOST I UMJERAVANJE

5.1 Umjeravanje

Kako bismo osigurali pouzdanost rezultata mjerenja nekim mjernim uređajem potrebno ga je redovno umjeravati i to sa artefaktima koji su sljedivi do nacionalnih ili međunarodnih etalona.

Definicija: *Umjeravanje je skup operacija, koje u određenim uvjetima stavljaju odnose među vrijednostima i pokazuje mjerni sustav ili vrijednosti što predstavljaju materijaliziranu mjeru ili referentni materijal i pripadajuće vrijednosti dobivene s etalonima*. [15]

Umjeravanje mora provesti, za tu metodu, osposobljeni laboratorij. Umjeravanje mora pratiti propisane aktivnosti, te se moraju definirati vremenski periodi u kojima se pojedino mjerno sredstvo mora periodički umjeravati. Umjeravanje osigurava da instrument prikazuje sljedive i pouzdane vrijednosti mjerene veličine.

5.2 Mjerna nesigurnost

Sva mjerenja podliježu određenim pogreškama koje uzrokuju da se mjerni rezultat razlikuje od prave vrijednosti mjerene veličine. Kako sam izraz "nesigurnost" upućuje na sumnju, onda kad se koristi pojam "mjerna nesigurnost" pod njim se podrazumijeva određena sumnja u valjanost mjernog rezultata. Sama mjerna nesigurnost iskazuje se s određenom pouzdanošću. [16]

Definicija: *Mjerna nesigurnost je parametar pridružen rezultatu mjerenja koji opisuje rasipanje vrijednosti mjerene veličine uz neku određenu vjerojatnost*. [13]

Nesigurnost je količinska mjera kvalitete mjernog rezultata koja omogućuje uspoređivanje mjernih rezultata s drugim rezultatima, referencijama ili često etalonima.

Izvori nesigurnosti mjerenja su [17]:

- nepotpuna definicija mjerene veličine
- nesavršeno ostvarenje definicije mjerene veličine
- nereprezentativno uzorkovanje
- nedostatno poznata djelovanja uvjeta okoliša ili njihovo nesavršeno mjerenje
- osobna pristranost pri očitanju analognih mjerila
- razlučivanje mjerila
- netočne vrijednosti mjernih etalona i referentnih materijala

Razlozi zbog kojih se procjenjuje mjerna nesigurnost [13]:

- Mjerna nesigurnost procjenjuje se zbog nedvosmislenog iskazivanja i usporedbe mjernih rezultata dobivenih u različitim ispitnim laboratorijima.
- Mjerna nesigurnost se procjenjuje radi usporedbe rezultata sa specifikacijama proizvođača ili zadane tolerancije.

Tri su načina procjene mjerne nesigurnosti [13]:

1. GUM metoda (engl. *Guide to Expression of Uncertainty in Measurement*)
2. MCS metoda (engl. *Monte Carlo Simulation*)
3. Procjena ponovljivosti i obnovljivost rezultata mjerenja sukladno normi ISO 21748:2017

GUM metoda

GUM metoda je najčešće korištena metoda za procjenu mjerne nesigurnosti. Temeljni postulati vezno na procjenu mjerne nesigurnosti su sljedeći [13]:

• Mjerna veličina X, čija vrijednost nije točno poznata, smatra se stohastičkom varijablom s funkcijom vjerojatnosti.
• Mjerni rezultat x je procjena očekivane vrijednosti tj. $E(X)$.
• Standardna nesigurnost $u(x)$ jednaka je drugom korijenu procjene varijance $V(X)$.
• Određivanje sastavnice A-vrste: Očekivanje i varijanca procjenjuje se statističkom obradom ponovljenih mjerenja.
• Određivanje sastavnice B-vrste: Očekivanje i varijanca procjenjuju se drugim metodama. Najčešće se koristi iskustvo mjeritelja koji pretpostavlja razdiobu vjerojatnosti. (npr. pravokutna, trokutasta razdioba itd.).

GUM metoda, temeljena na gore danoj filozofiji, sastoji se od pet koraka [13]:

1. Postavljanje mjernog (matematičkog) modela
2. Određivanje standardnih nesigurnosti $u(x_i)$
3. Određivanje sastavljene standardne nesigurnosti u_c
4. Određivanje proširene nesigurnosti U
5. Prikaz mjernog rezultata

GUM metoda po koracima [13]:

Prvi korak u GUM metodi jest postavljanje mjernog modela, odnosno matematičkog modela koji povezuje izlaznu veličinu s ulaznima. Model se postavlja zato jer se u većini slučajeva mjerna veličina ne mjeri izravno, nego se određuje iz drugih veličina x_1, x_2, ..., x_n na temelju funkcijskog odnosa ulaznih veličina i izlazne veličine.

$$X = f(X1, X2, \dots Xn) \tag{5}$$

Standardna nesigurnost određuje se na dva načina: iz tipa A i iz tipa B.



Slika 22. Dvije sastavnice standardne nesigurnosti [13]

Standardna nesigurnost A-vrste odgovara slučajnim pogreškama, vrijednost joj opada s brojem uzastopnih mjerenja i uzorci su nepoznati.

Sastavnica B-vrste odgovara sustavnim pogreškama, vrijednosti joj ne ovise o broju uzastopnih mjerenja i uzorci potječu iz različitih izvora.

Sastavljena nesigurnost izračunava se sastavljanjem pojedinačnih sastavnica nesigurnosti u skladu sa zakonom prijenosa nesigurnosti, odnosno ona se određuje sastavljanjem standardnih nesigurnosti procjena ulaznih veličina. Sastavljena standardna nesigurnost različito se računa za nekorelirane i korelirane ulazne veličine. [13]

Nekorelirane ulazne veličine:

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^{N} \left(\frac{\delta f}{\delta x_i}\right) u^2\,(x_i) \tag{6}$$

Korelirane ulazne veličine:

$$u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^{N} \left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2 \times u(x_i)^2 + 2 \times \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^{N} \frac{\partial f}{\partial x_i} \times \frac{\partial f}{\partial x_j} \times u(x_i, x_j)} \tag{7}$$

Gdje su:

u_c Sastavljena standardna nesigurnost

c_i Koeficijent osjetljivosti

Proširena nesigurnost je veličina koja određuje interval oko mjernog rezultata za koji se može očekivati da obuhvaća veliki dio razdiobe vrijednosti koje bi se razumno mogle pripisati mjerenoj veličini. [13]

$$U = u_c \times k \tag{8}$$

Gdje je u_c sastavljena standardna nesigurnost, a k je faktor pokrivanja.

Prikaz mjernog rezultata se pokazuje u obliku:

$$X = x; U; k; P \tag{9}$$

5.3 Procjena mjerne nesigurnosti

Za potrebe procijene mjerne nesigurnosti provedeno je mjerenje jednog valjčića u jednoj ravnini te u dva presjeka iz svake grupe nazivnog promjera iz tablice 10. Rezultati mjerenja prikazani su tablici 16.

Tablica 16. Mjerenja za procjenu nesigurnosti

Nazivni promjer/oznaka	Φ 0,17/3		Φ 0,62/3		Φ 1,65/3		Φ 6,35/3	
Broj mjerenja	Presjek A-A	Presjek B-B	Presjek A-A	Presjek B-B	Presjek A-A	Presjek B-B	Presjek A-A	Presjek B-B
1.	0,1695	0,1697	0,6195	0,6196	1,6500	1,6499	6,3526	6,3527
2.	0,1696	0,1697	0,6195	0,6195	1,6499	1,6500	6,3526	6,3527
3.	0,1697	0,1697	0,6194	0,6194	1,6500	1,6500	6,3525	6,3527
4.	0,1696	0,1697	0,6195	0,6195	1,6500	1,6499	6,3525	6,3528
5.	0,1696	0,1696	0,6194	0,6195	1,6500	1,6500	6,3525	6,3527
6.	0,1696	0,1696	0,6195	0,6195	1,6500	1,6500	6,3527	6,3528
7.	0,1696	0,1697	0,6195	0,6195	1,6500	1,6500	6,3526	6,3528
8.	0,1696	0,1697	0,6195	0,6196	1,6500	1,6499	6,3526	6,3527
9.	0,1696	0,1696	0,6195	0,6195	1,6500	1,6499	6,3526	6,3528
10.	0,1695	0,1696	0,6195	0,6194	1,6500	1,6499	6,3526	6,3527
11.	0,1696	0,1696	0,6195	0,6195	1,6500	1,6500	6,3526	6,3526
12.	0,1696	0,1696	0,6195	0,6195	1,6499	1,6500	6,3525	6,3527
13.	0,1696	0,1696	0,6194	0,6195	1,6500	1,6500	6,3526	6,3527
14.	0,1696	0,1697	0,6194	0,6194	1,6500	1,6500	6,3526	6,3527
15.	0,1696	0,1697	0,6195	0,6195	1,6501	1,6500	6,3526	6,3527
16.	0,1695	0,1697	0,6196	0,6195	1,6499	1,6500	6,3526	6,3527
17.	0,1696	0,1697	0,6194	0,6194	1,6500	1,6500	6,3526	6,3528
18.	0,1696	0,1696	0,6195	0,6195	1,6500	1,6499	6,3527	6,3527
19.	0,1696	0,1697	0,6195	0,6195	1,6499	1,6500	6,3526	6,3527
20.	0,1697	0,1696	0,6195	0,6195	1,6499	1,6500	6,3527	6,3527
21.	0,1696	0,1696	0,6195	0,6194	1,6499	1,6500	6,3527	6,3526
22.	0,1696	0,1696	0,6195	0,6195	1,6499	1,6500	6,3527	6,3527
23.	0,1697	0,1696	0,6195	0,6195	1,6500	1,6500	6,3528	6,3526
24.	0,1696	0,1696	0,6195	0,6195	1,6500	1,6499	6,3527	6,3527
25.	0,1696	0,1696	0,6194	0,6194	1,6500	1,6499	6,3527	6,3527
26.	0,1696	0,1697	0,6195	0,6194	1,6500	1,6499	6,3528	6,3527
27.	0,1697	0,1696	0,6195	0,6195	1,6499	1,6500	6,3527	6,3527
28.	0,1697	0,1697	0,6194	0,6194	1,6499	1,6499	6,3527	6,3528
29.	0,1696	0,1696	0,6195	0,6195	1,6500	1,6500	6,3527	6,3527
30.	0,1697	0,1695	0,6195	0,6195	1,6500	1,6500	6,3527	6,3527
$\overline{X}$	0,1696	0,1696	0,6195	0,6195	1,6500	1,6500	6,3526	6,3527
R	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0001	0,0003	0,0002

Napomena: Sve vrijednosti u tablici 16 iskazane su u mm.

5.3.1 Matematički model

Za procjenu mjerne nesigurnosti potrebno je kao prvi korak postaviti matematički model koji mora sadržavati sve sastavnice koje utječu na rezultate mjerenja. Nakon proučavanja utjecaja na rezultate mjerenja izvedena je jednadžba modela (10). Iz jednadžbe (10) član (δd_F) se zanemaruje jer svojim iznosom neznatno utječe na rezultat.

$$d = d_V + \delta d_I + \delta d_T + \delta d_K + (\delta d_F) \tag{10}$$

Gdje je:

d – Promjer valjčića

d_V – Izmjeren promjer valjčića

δd_I – Utjecaj mjernog instrumenta

δd_T – Utjecaj razlike temperature

δd_K – Utjecaj nesuosnosti mjernih kapica

Jednadžba (10) se može također izraziti tako da se član d_T raspiše te se dobije jednadžba (11).

$$d = d_V + \delta d_I + d_N \cdot \bar{\alpha} \cdot \Delta t + \delta d_K \tag{11}$$

Gdje je:

Δt – razlika temperatura valjčića i skale mjernog uređaja

$\bar{\alpha}$ – prosječni koeficijent temperaturnog širenja etalona i skale mjernog uređaja

d_N – nazivni promjer valjčića

Nesigurnost mjerenja promjera valjčića

Procijenjeno standardno odstupanje je mjera koja govori koliko su vrijednosti raspršene od aritmetičke sredine. Jednadžbe po kojima se određuje dane su u nastavku.

$$s_i^2 = \frac{\sum_{k=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n-1} \tag{12}$$

Zbirno procijenjeno standardno odstupanje se određuje prema jednadžbi (13).

$$s_p = \sqrt{\frac{s_1^2 + \cdots + s_8^2}{8}} \tag{13}$$

Prema jednadžbama (12) i (13) te vrijednostima iz tablice 16 dobiva se standardna nesigurnost za tri ponovljena mjerenja.

$$u(d_V) = \frac{s_p}{\sqrt{n}} = \frac{0{,}0571}{\sqrt{3}} = 0{,}033\ \mu m \tag{14}$$

Utjecaja mjernog instrumenta, δd_I

Utjecaj mjernog instrumenta $u(\delta d_I)$ proizlazi iz dokumentacije instrumenta od proizvođača.

$$u(\delta d_I) = (0{,}175 + 0{,}0005\mathrm{d}^2)\ \mu m\ ,\ d \text{ u mm} \tag{15}$$

Nesigurnost nesuosnosti mjernih kapica, δd_K

Za potrebe određivanja utjecaja nesigurnosti provedeno je 15 mjerenja prekretne točke na valjčiću ϕ 1,65/1 na način da se prije svakog novog mjerenja mjerne kapice ponovno postave na uređaj. Rezultati mjerenja prikazani su u tablici 17.

Tablica 17. Mjerenja nesuosnosti mjerne kapice

Mjerenje broj	Rezultati, mm	Mjerenje broj	Rezultati, mm
1.	1,6500	9.	1,6500
2.	1,6503	10.	1,6501
3.	1,6501	11.	1,6500
4.	1,6500	12.	1,6500
5.	1,6501	13.	1,6501
6.	1,6503	14.	1,6501
7.	1,6500	15.	1,6500
8.	1,6501	-	-
Raspon		0,0003	

Na temelju dobivenih rezultata utvrđena je mjera raspon kao utjecaj nesuosnosti prilikom postavljanja mjernih kapica u iznosu 0,3 µm. Nesuosnost mjerne kapice mjernog sustava slijedi pravokutnu razdiobu u iznosu ± 0,15 µm.

Standardna nesigurnost utjecaja nesuosnosti kapice iznosi:

$$u(\delta d_K) = \frac{0{,}15}{\sqrt{3}} = 0{,}087\ \mu m \tag{16}$$

Nesigurnost utjecaja temperature, δd_T

Prije umjeravanja treba paziti da se osigura temperaturna stabilizacija mjernih valjčića s obzirom na temperaturu u mjeriteljskom prostora. Pretpostavlja se da su nakon adekvatnog vremena valjčić i skala mjernog uređaja na istoj temperaturi, ali bi razlika temperature mogla biti, s istom vjerojatnošću, bilo gdje u procijenjeno intervalu ± 0,5 °C.

$$\mathrm{u}(\delta d_T) = \frac{a}{\sqrt{3}} = \frac{0{,}5}{\sqrt{3}} = 0{,}289°C \tag{17}$$

Sastavljena mjerna nesigurnost, u_c

$$u_c = \sqrt{\mathrm{u}(d_V)^2 \times c_V^2 + \mathrm{u}(\delta d_I)^2 \times c_{\delta d_I}^2 + \mathrm{u}(\delta d_T)^2 \times c_{\Delta t}^2 + \mathrm{u}(\delta d_K)^2 \times c_{\delta d_K}^2} \tag{18}$$

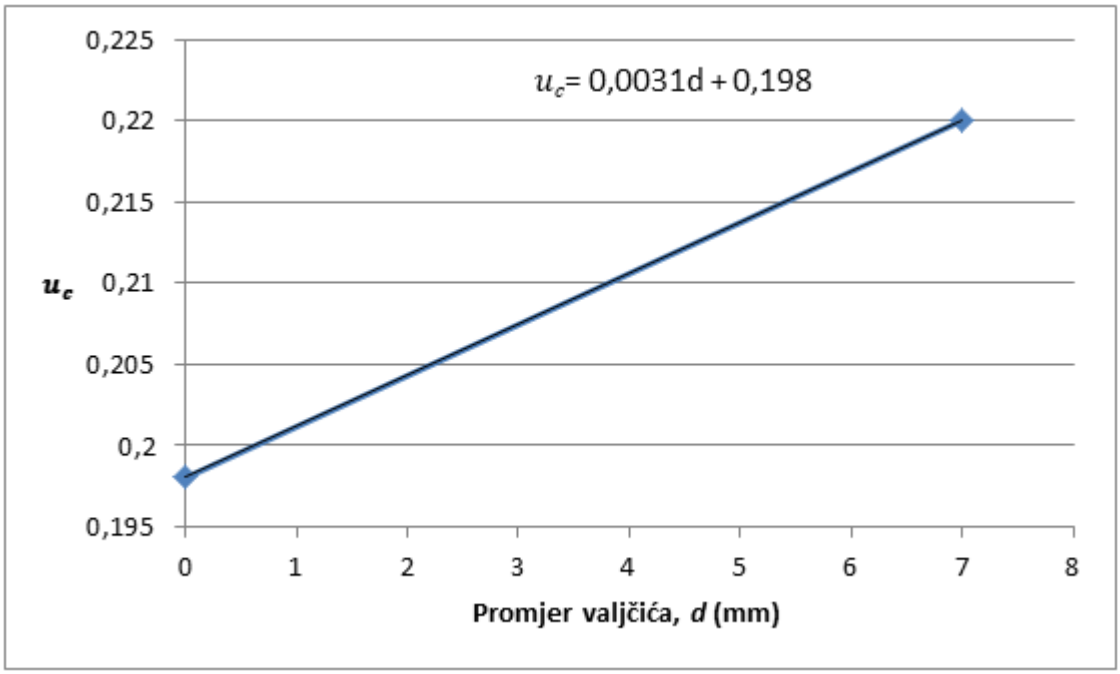
Linearizirana proširena mjerna nesigurnost

Linearizirana proširena mjerna nesigurnost računa se na način da se uvrste dvije točke, početna i krajnja, u izraze za doprinos nesigurnosti, a koje odgovaraju početku i kraju mjernog područja promjera mjernih valjčića. Početna i krajnja točka, kao i iznosi po doprinosu mjerne nesigurnosti prikazani su u tablici 18.

Tablica 18. Iznosi za linearizaciju

Doprinosi	Početak mjernog područja, 0 mm	Kraj mjernog područja, 7 mm
$u(d_V)$	0,0011 µm	0,0011 µm
$u(\delta d_I)$	0,0306 µm	0,0398 µm
$u(\delta t)$	0 µm	0,00005 µm
$u(\delta d_K)$	0,0076 µm	0,0076 µm
Ukupno, u_c	0,198 µm	0,22 µm

Prema ukupnim iznosima u_c iz tablice 18 provedena je linearizacija na način da početna i krajnja točka predstavljaju početak i kraj pravca preko kojeg se odredi jednadžba. Navedeni pravac kao i jednadžba grafički su prikazani na slici 23.



Slika 23. Linearizacija

Linearizacijom se dobiva jednadžba sastavljene standardne nesigurnosti (20).

$$u_c = 0{,}0031\,d + 0{,}198\ \mu\text{m} \tag{20}$$

S obzirom na mali doprinos prvog člana jednadžbe taj član se može zanemariti. Konačno izraz za sastavljenu mjernu nesigurnost u_c iznosi:

$$u_c = 0{,}198\ \mu\text{m} \tag{21}$$

Množenjem jednadžbe (21) s faktorom pokrivanja *k* dobiva se proširena mjerna nesigurnost koja iznosi:

k = 2; *P* = 95 %

$$U = k \times u_c = 2 \times 0{,}198 = 0{,}396\ \mu\text{m}$$

$$U \approx 0{,}4\ \mu\text{m}$$

Svi utjecaji na mjernu nesigurnosti kao i njihovi iznosi prikazani su u tablici 19.

Tablica 19. Sastavnice standardne mjerne nesigurnost

Sastavnica standardne mjerne nesigurnosti	Izvor nesigurnosti	Iznos standardne nesigurnosti, µm	Koeficijent osjetljivosti, *ci*	Razdioba	Doprinos mjernoj nesigurnosti, µm, *d* u mm
$u(d_V)$	Ponovljivost	0,033	1	Normalna	0,033
$u(\delta d_I)$	Umjeravanje instrumenta	$0{,}175 + 0{,}5 \cdot d^2$ *d* u m	1	Normalna	$0{,}175 + 0{,}5 \cdot d^2$
$u(\delta d_T)$	Utjecaj temperature	0,289 °C	$11{,}5 \cdot 10^{-6} \cdot d$	Pravokutna	$3{,}323 \cdot d$
$u(\delta d_K)$	Nesuosnost	0,087	1	Pravokutna	0,087
Sastavljena standardna mjerna nesigurnost u_c				$u_c = 0{,}0031 \cdot d + 0{,}198$ µm	
Linearizirana proširena mjerna nesigurnost *U* za *k* = 2; *P* =95%				*U* = 0,4 µm	

5.4 Provjera proračuna mjerne nesigurnosti

Provjera izvedenog proračuna mjerne nesigurnosti će se provesti primjenom Monte Carlo simulacije koja omogućava vrednovanje i usporedbu rezultata dobivenih pomoću GUM metode.

Monte Carlo simulacija je računalni algoritam koji se oslanja na generiranje velikog broja slučajnih brojeva iz prethodno zadanih varijabli. Vrijednost simulacije je u tome što za rezultat daje sve moguće ishode kao i vjerojatnosti pojavljivanja ishoda.[18]

Rad simulacije se vrši na način da se:

- odrede varijable,
- odredi matematički model mjerene veličine, odnosno izrazi funkcija odnosa između mjerene veličine i ulazne veličine,
- vrše iteracije,
- analiziraju rezultati iteracija.

Provedba Monte Carlo simulacija izvršena je preko online kalkulatora NIST Uncertainty Machine ver. 1.3.6.

Postavljen je matematički model koji povezuje varijable koji izgleda kao na jednadžbi (22).

$$Y = X_1 + X_2 + X_3 \times 3{,}5 \times 10^{-6} + X_4 \quad (22)$$

Gdje je:

X_1 – Utjecaj valjčića

X_2 – Utjecaj mjernog instrumenta

X_3 – Utjecaj temperature

X_4 – Utjecaj nesuosnosti kapica

Pri čemu je za X_1 i X_2 postavljena normalna distribucija, a za X_3 i X_4 pravokutna distribucija.

Broj iteracija je postavljen na 500.000. Rezultati provedene simulacije su prikazani u tablici 20. i 21. Gdje tablica 20 prikazuje mjernu nesigurnost prema faktorima pokrivanja, a tablica 21 prikazuje postotni doprinos varijabli sastavljenoj mjernoj nesigurnosti .

Tablica 20. Mjerna nesigurnost prema Monte Carlo simulaciji

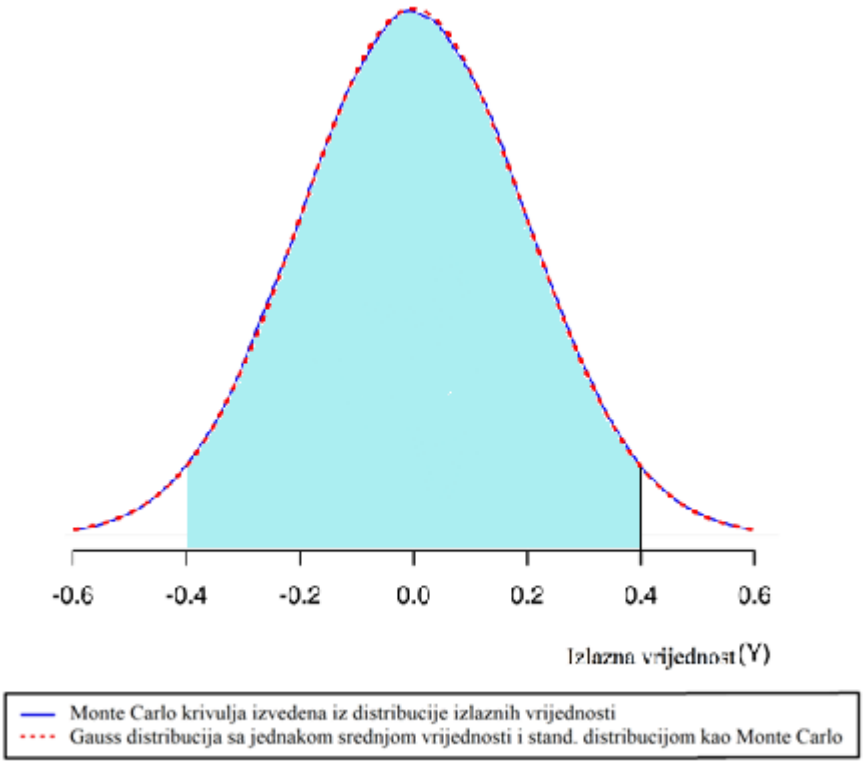
Faktor pokrivanja *k* (%)	Mjerna nesigurnost, µm
1 (68%)	0,2
1,7 (90%)	0,33
2 (95%)	0,39
2,6 (99%)	0,51

Tablica 21. Doprinos varijabli

Varijabla	Doprinos, %
X_1	2,77
X_2	78,17
X_3	0,00
X_4	19,06

Iz tablice 21 može se vidjeti kako najveći doprinos sastavljenoj mjernoj nesigurnosti ima utjecaj mjernog instrumenta s iznosom preko 78%.

Grafički prikaz rezultata simulacije prikazan je na slici 24 uz naznačeni interval koji odgovara $k = 2$; $P = 95$ %.



Slika 24. Grafički rezultat Monte Carlo simulacije [19]

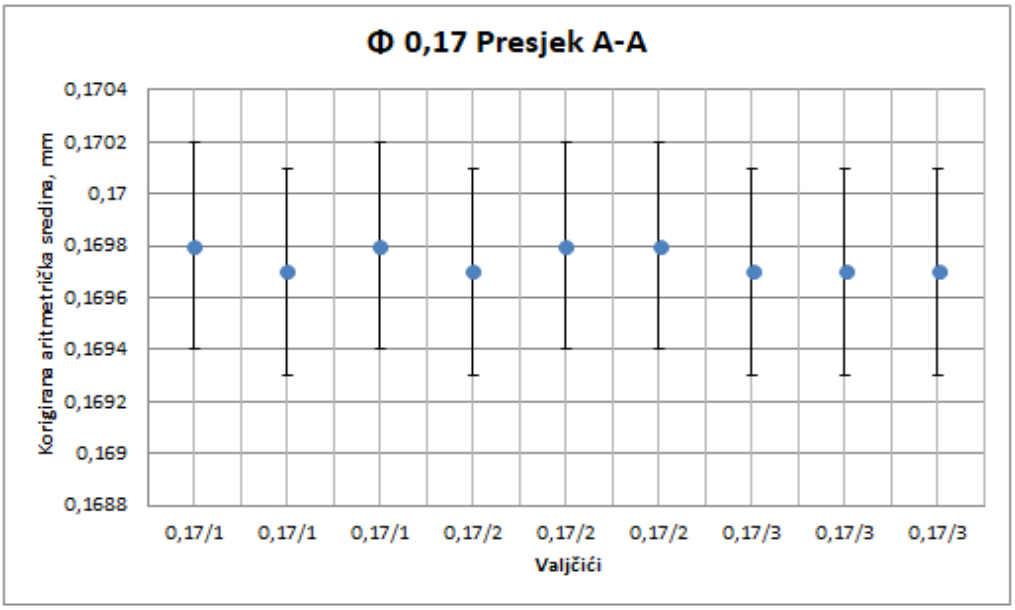
Usporedbom rezultata Monte Carlo simulacije sa rezultatima GUM metode može se zaključiti kako je iznos proširene mjerne nesigurnosti dobivene preko GUM metode točan što proizlazi iz slaganja sa rezultatima Monte Carlo simulacije, tj za istu faktor pokrivanja dobiven je isti iznos proširene mjerne nesigurnosti.

5.5 Analiza podatka

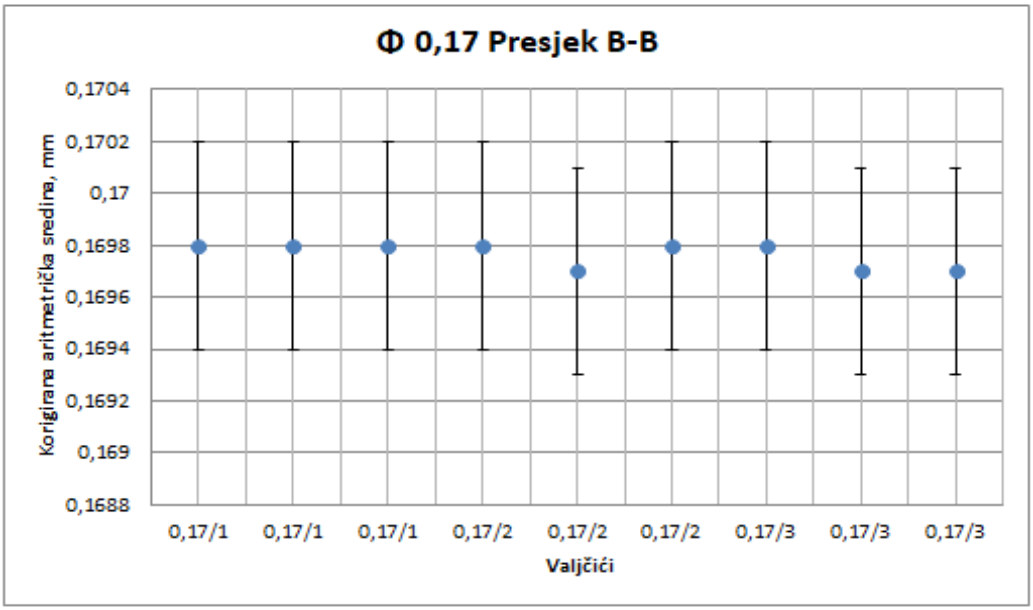
Izmjerene vrijednosti promjera valjčića su diskretne veličine. No kako su mjerenja u stvarnosti podložna pogreškama, bilo slučajnih ili zbog ograničenih mogućnosti korekcije sustavnih pogrešaka, sve izmjerene vrijednosti su stohastičke veličine. Iz tog razloga izmjerene vrijednosti ne predstavljaju pravu vrijednost mjerene veličine, odnosno promjera valjčića, već samo procjenu.

Zbog navedenog razloga potrebno je izmjerenim vrijednostima pridružiti mjernu nesigurnost koja će dati područje unutar kojeg bi se, uz određenu vjerojatnost, trebala nalaziti prava vrijednost mjerene veličine.

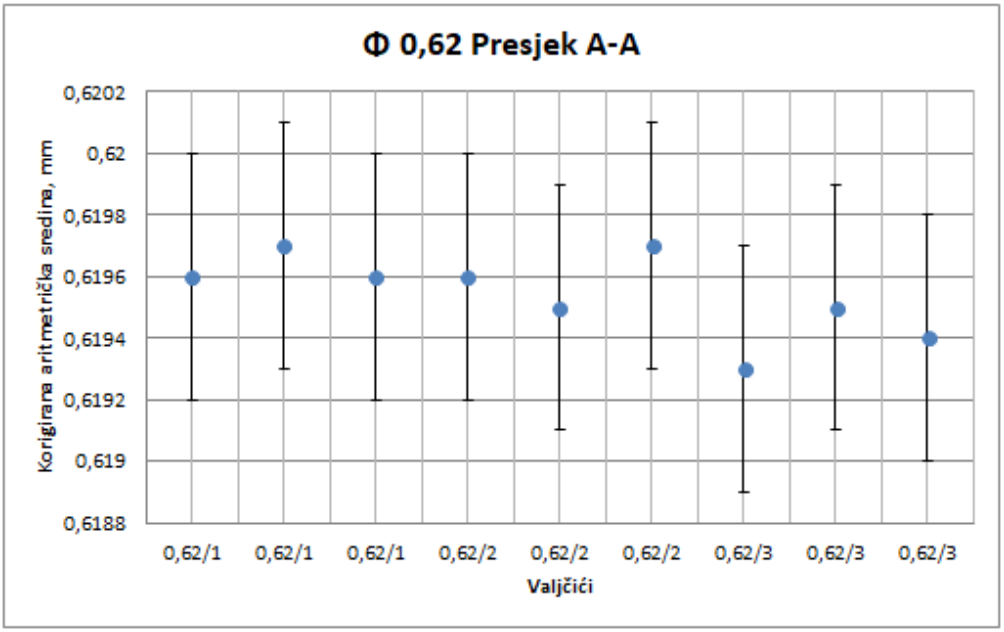
Na slikama od 25 do 32 se mogu vidjeti za svaki pojedini valjčić u setu, u dva presjeka, korigirane aritmetičke veličine promjera mjernih valjčića uz pridodanu proširenu mjernu nesigurnost koja je ranije određena te iznosi U = 0,4 µm. Na apscisi se nalaze nazivi valjčića na kojima su obavljena mjerenja u tri ravnine prema slici 9. Na ordinati se nalaze vrijednosti korigiranih aritmetičkih sredina izraženih u mm.



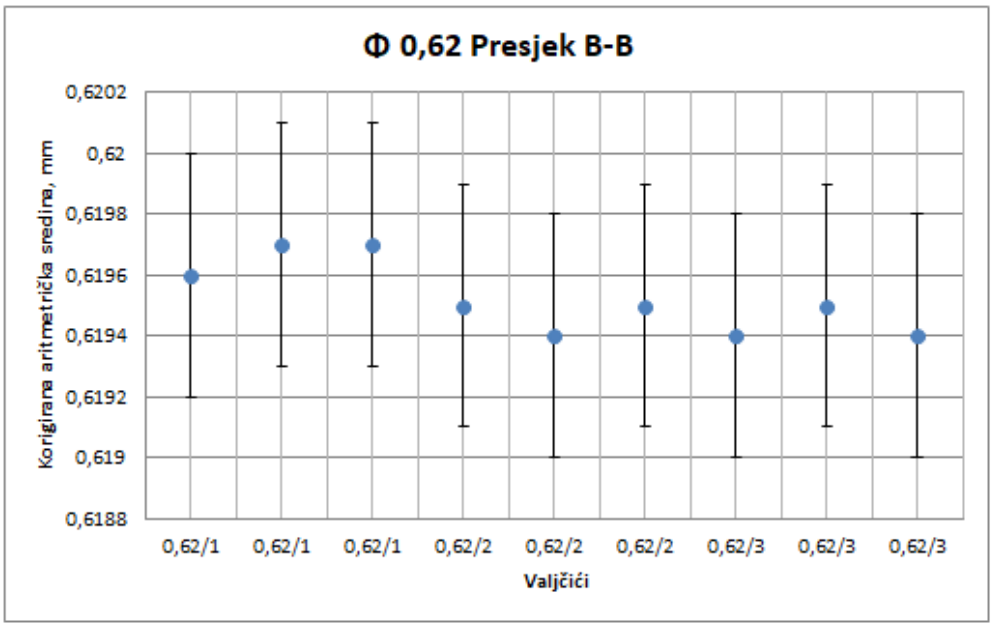
Slika 25 Vrijednosti sa pridruženom mjernom nesigurnosti valjčića ϕ 17 u presjeku A-A



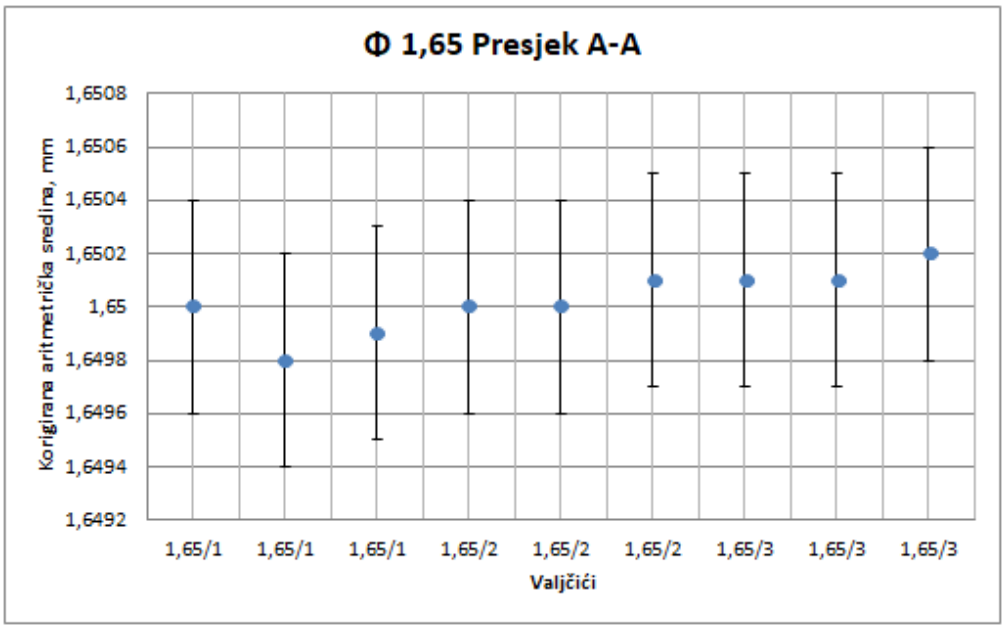
Slika 26 Vrijednosti sa pridruženom mjernom nesigurnosti valjčića ϕ 17 u presjeku B-B



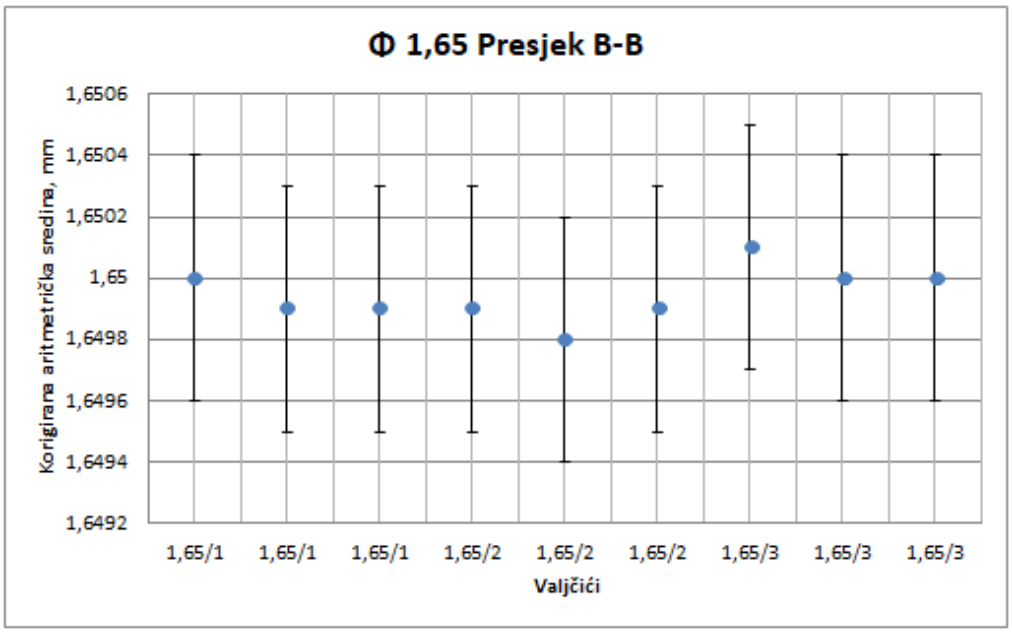
Slika 27. Vrijednosti sa pridruženom mjernom nesigurnosti valjčića ϕ 0,62 u presjeku A-A



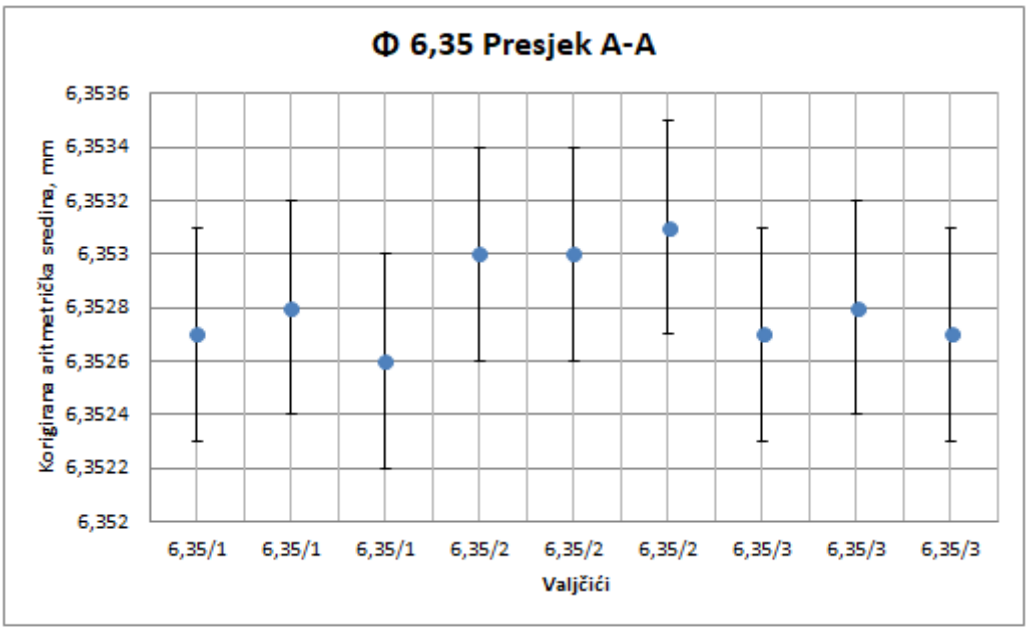
Slika 28. Vrijednosti sa pridruženom mjernom nesigurnosti valjčića ϕ 0,62 u presjeku B-B



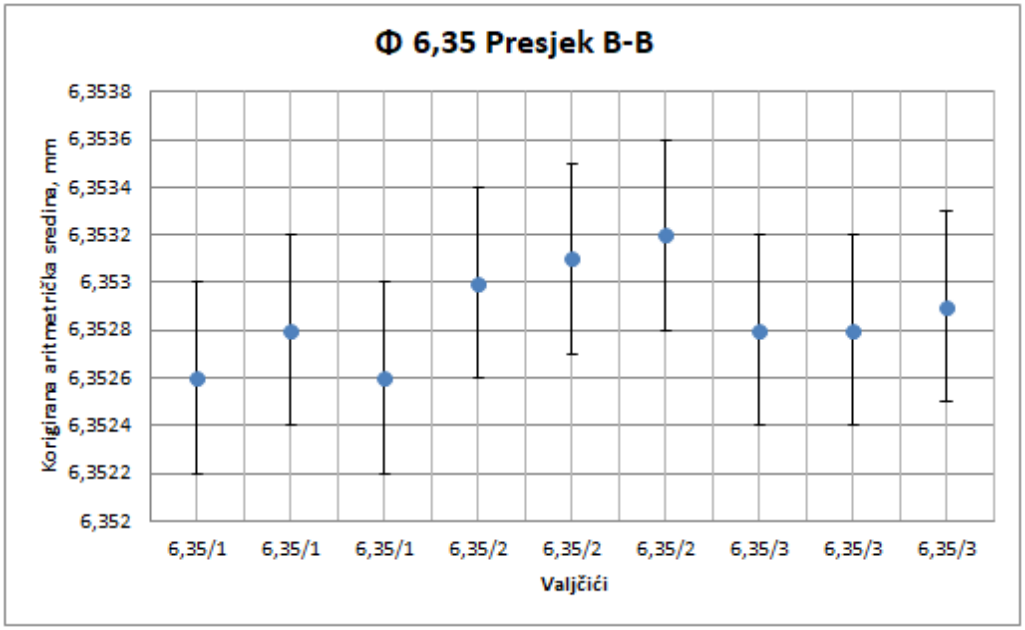
Slika 29. Vrijednosti sa pridruženom mjernom nesigurnosti valjčića ϕ1,65 u presjeku A-A



Slika 30. Vrijednosti sa pridruženom mjernom nesigurnosti valjčića ϕ17 u presjeku B-B



Slika 31. Vrijednosti sa pridruženom mjernom nesigurnosti valjčića ϕ 6,35 u presjeku A-A



Slika 32. Vrijednosti sa pridruženom mjernom nesigurnosti valjčića ϕ 6,35 u presjeku B-B

Rezultati kao takvi se dalje mogu koristiti za usporedbu s normom ISO 16239:2013 kako bi se ustanovilo da li valjčići zadovoljavaju ili ne zadovoljavaju propisane tolerancije, te također za usporedbu s rezultatima mjerenja na drugom mjernom uređaju ili u drugom laboratoriju.

Ukoliko bi se koristili izmjereni rezultati bez pridodane mjerne nesigurnosti ne bi bilo moguće zaključiti da li valjčići u stvarnosti zadovoljavaju normu ili ne, što bi moglo imati negativne posljedice ukoliko bi se kao takve koristilo.

Iz rezultata se može zaključiti kako najveći doprinos za mjernu nesigurnost ima instrument korišten za dobivanje vrijednosti promjera mjernih valjčića. Ukoliko bi bilo potrebno umanjiti iznos nesigurnosti, to bi se moglo izvesti na način da se koristi drugi instrument s manjom nesigurnosti mjerenja.

6. USPOREDBA REZULTATA MJERENJA SA NORMOM ISO 16239:2013

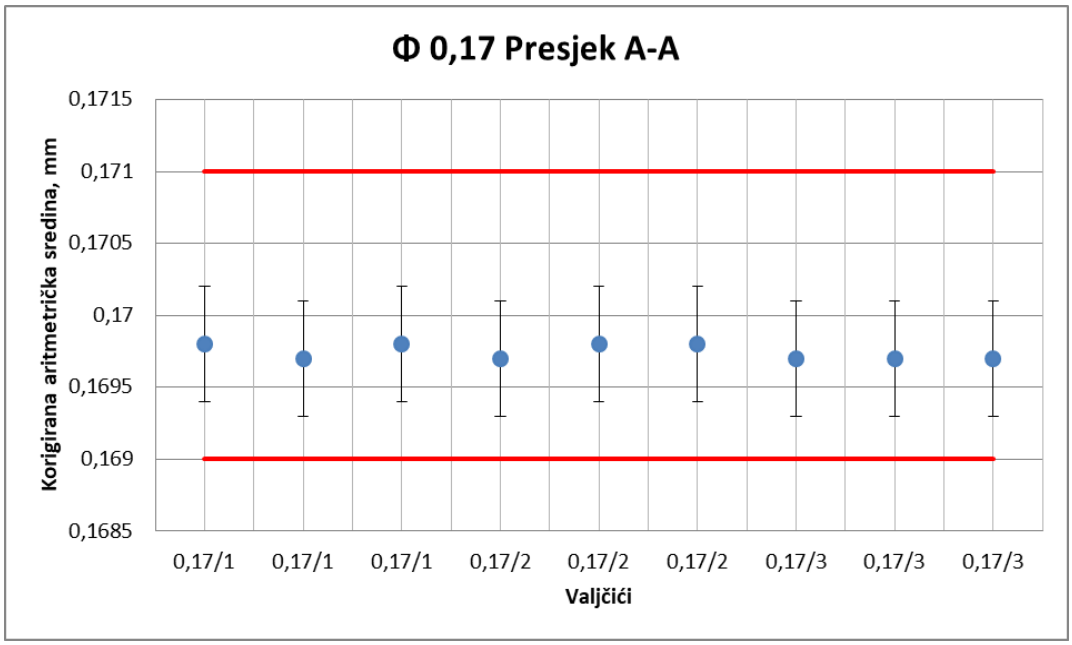
U ovom poglavlju će se uspoređivati rezultati mjerenja sa pridodanom mjernom nesigurnosti sa zahtjevima norme ISO 16239:2013 kako bi se ustanovilo da li mjerni valjčići zadovoljavaju postavljene tolerancije.

Prema normi odabran je razred tolerancije 2 iz razloga što je set valjčića na kojima se vrši postupak umjeravanja već dulje vrijeme korišten te postoje naznake da je površina valjčića istrošena, također je razlog i iznos proširene mjerne nesigurnosti koji prelazi većinu ograničenja razreda tolerancije 1 te se ne bi moglo pouzdano reći da li su valjčići sukladni sa normom.

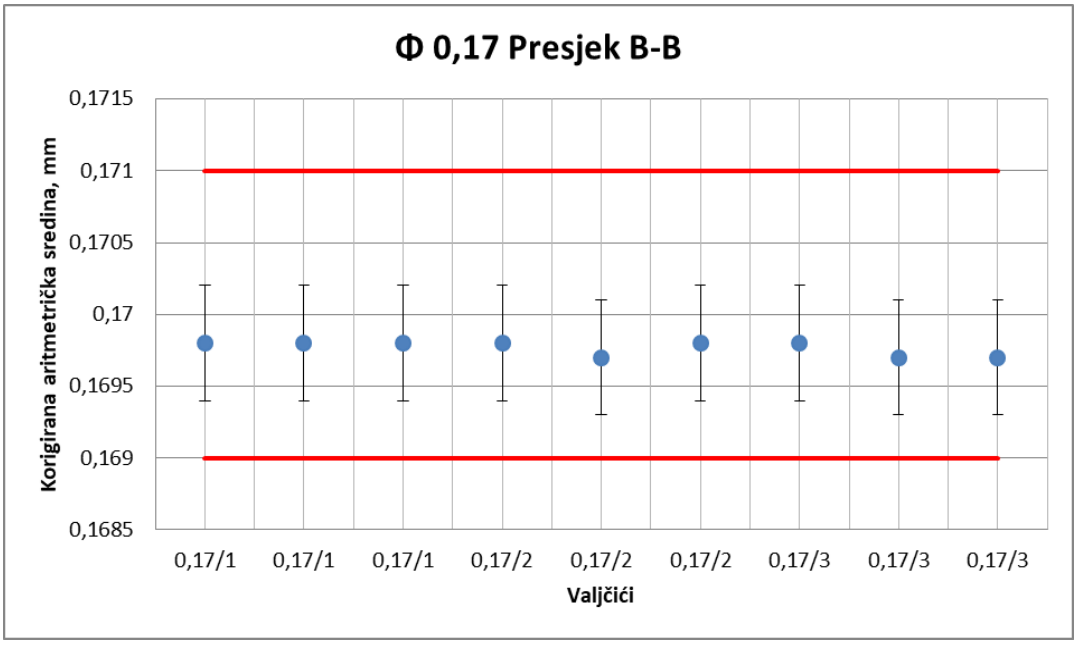
6.1. Ograničenje odstupanja za promjere svakog valjčića

Norma propisuje za odabrani razred tolerancije 2, da je ograničenje odstupanja za promjere svakog valjčića prema navedenim nazivnim promjerima u iznosu od ±1 µm. Stoga je potrebno svaki valjčić iz seta usporediti sa ograničenjem.

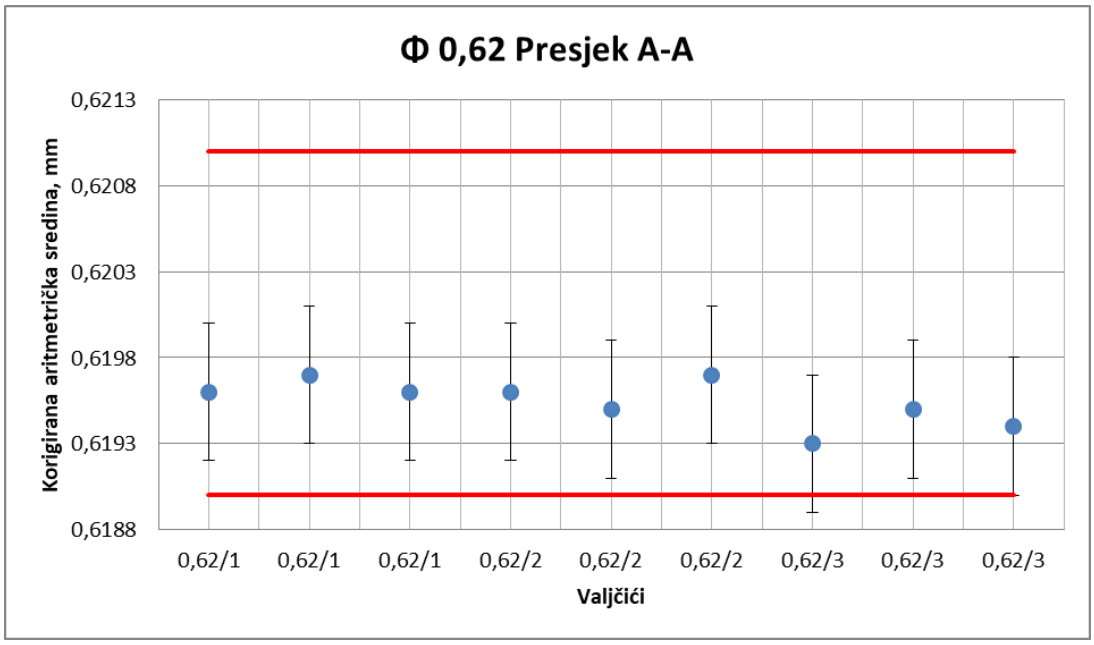
Na slikama od 32 do 37 su prikazani valjčići sa uključenom mjernom nesigurnosti, te polje tolerancije kojem su granice prikazane crvenim linijama.



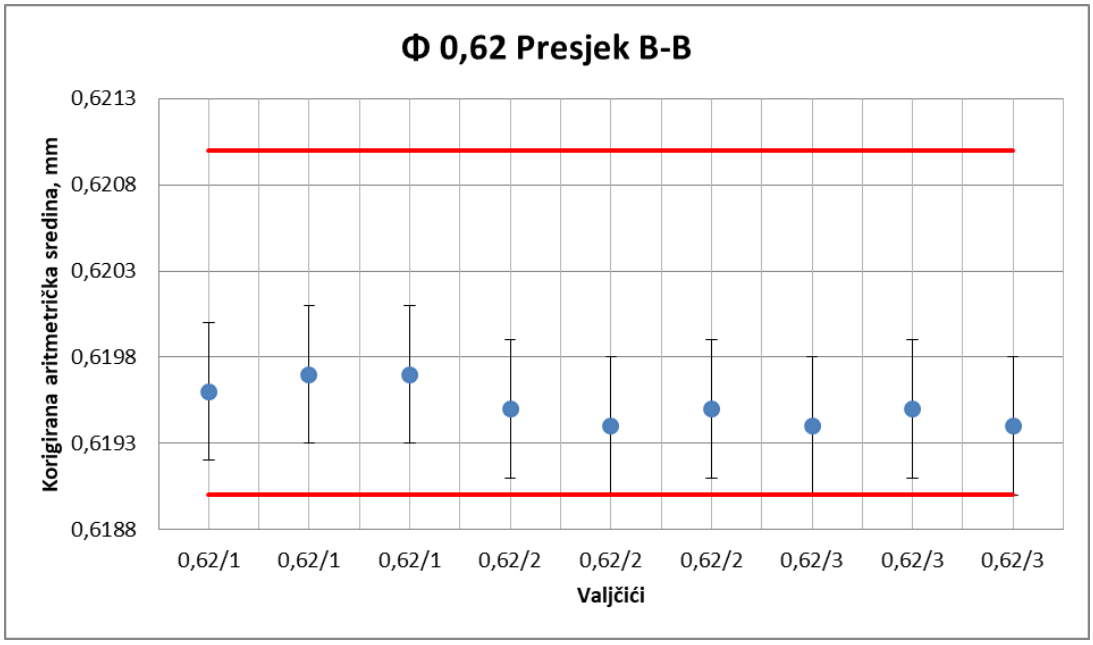
Slika 33. Prikaz valjčića ϕ 0,17 u tolerancijskom polju na presjeku A-A



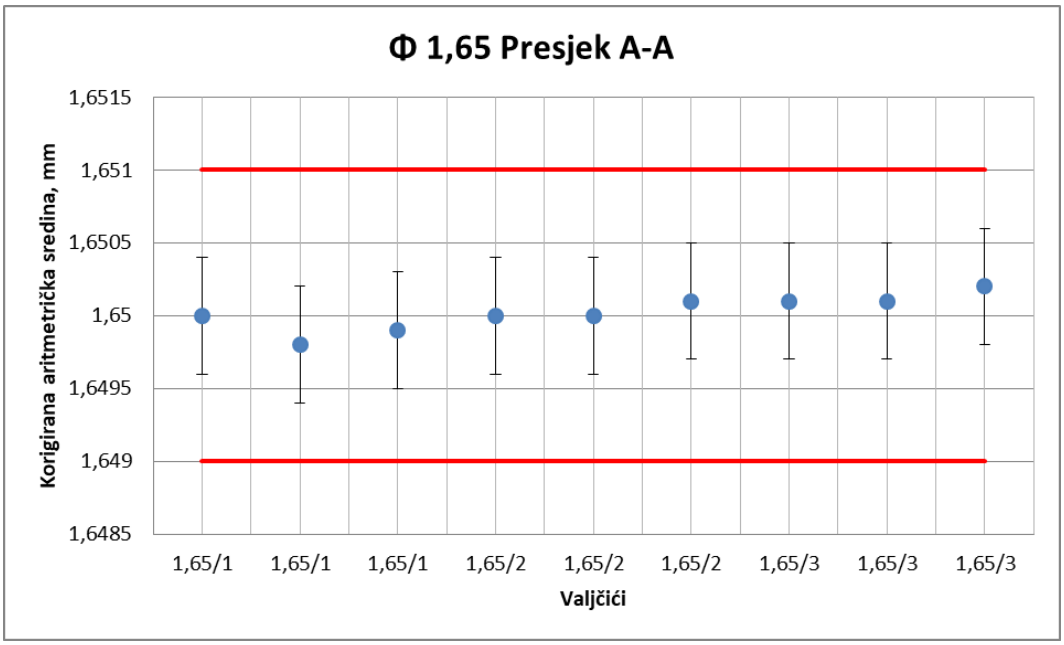
Slika 34. Prikaz valjčića ϕ 0,17 u tolerancijskom polju na presjeku B-B



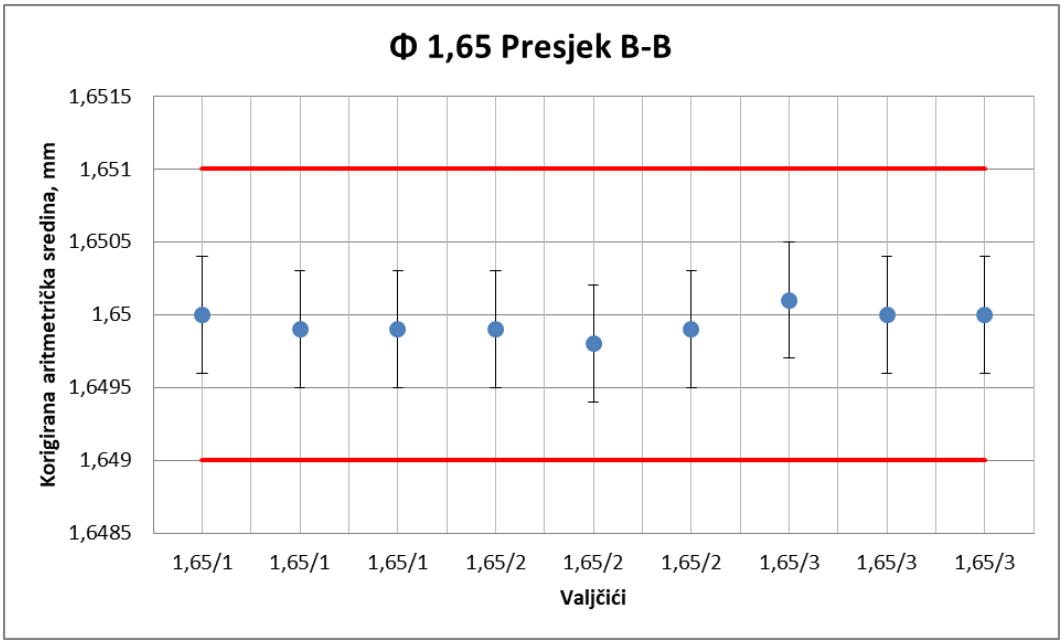
Slika 35. Prikaz valjčića ϕ 0,62 u tolerancijskom polju na presjeku A-A



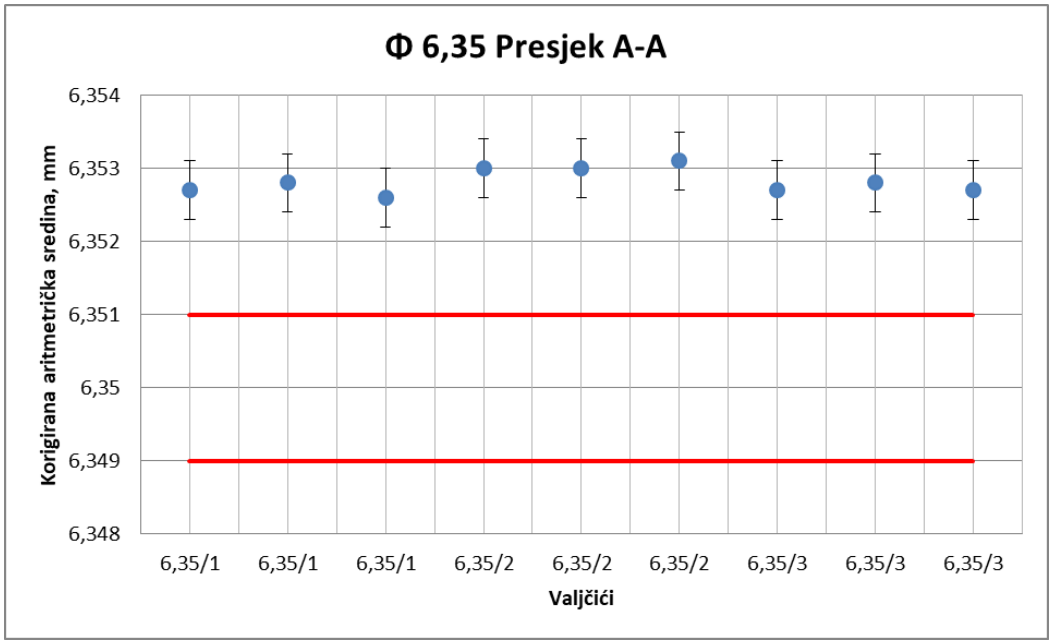
Slika 36. Prikaz valjčića ϕ 0,62 u tolerancijskom polju na presjeku B-B



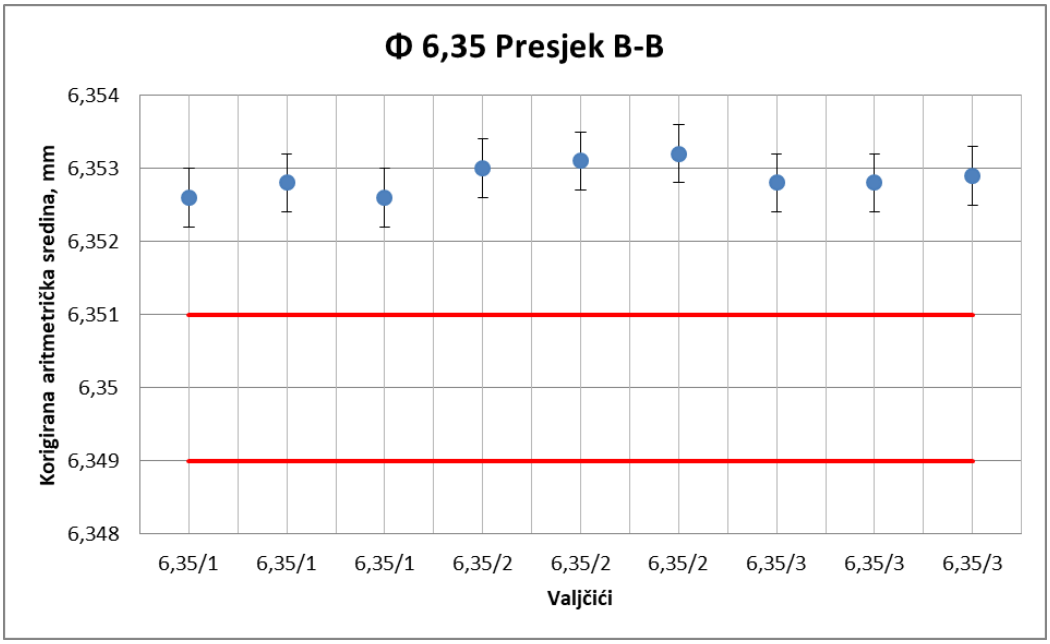
Slika 37. Prikaz valjčića ϕ 1,65 u tolerancijskom polju na presjeku A-A



Slika 38. Prikaz valjčića ϕ 1,62 u tolerancijskom polju na presjeku B-B



Slika 39. Prikaz valjčića ϕ 6,35 u tolerancijskom polju na presjeku A-A



Slika 40. Prikaz valjčića ϕ 6,35 u tolerancijskom polju na presjeku B-B

Iz slika se može vidjeti kako valjčići ϕ 0,17 i ϕ 1,65 se nalaze unutar polja tolerancije čime se zaključuje kako oni zadovoljavaju ograničenje norme. Valjčići ϕ 6,35 se u potpunosti nalaze izvan tolerancijskog područja čime se zaključuje kako oni ne zadovoljava ograničenje norme.

Za razliku od navedenih, valjčići ϕ 0,62 se nalaze unutar polja tolerancije pri čemu dolazi do prijelaza donje granice tolerancijskog polja na jednom valjčiću. Kako se raspon nesigurnosti proteže unutar i izvan polja tolerancije, moguće je da se stvarna vrijednost nalazi unutar granice čime bi valjčić zadovoljavao ograničenje norme, ali također je moguće da se stvarna vrijednost nalazi izvan granice, što bi značilo da ne zadovoljava normu.

Drugim riječima moguća su dva tipa pogreške, tip I i tip II. Pogreška tipa I kaže da se valjčić proglasi nesukladnim normom dok se njegova stvarna vrijednost nalazi unutar tolerancije, a pogreška tipa II kaže da se valjčić proglasi sukladnim normom dok se njegova stvarna vrijednost nalazi van tolerancijskog polja.

S obzirom da je moguće da se zaključi kako promjer valjčića zadovoljava normu dok se njegova prava vrijednost nalazi izvan, i obratno, potrebno je izračunati vjerojatnosti. Vjerojatnosti da se stvarne vrijednosti nalaze izvan granica tolerancijskog polja za svaki valjčić izračunate su u tablici 22. Zbog prirode raspodijele vrijednosti pretpostavljena je normalna distribucija s intervalom oko očekivane vrijednosti širine 6σ.

Tablica 22. Vjerojatnosti

Nazivni promjer valjčića / oznaka	Presjek	P_{A-A}, %	P_{B-B}, %
Φ 0,62/1	1	0,13	0,13
	2	0	0
	3	0,13	0
Φ 0,62/2	1	0,13	0,62
	2	0,62	2,28
	3	0	0,62
Φ 0,62/3	1	6,68	2,28
	2	0,62	0,62
	3	2,28	2,28

Gdje je :

P_{A-A} – Vjerojatnost da se stvarna vrijednost valjčića nalazi izvan tolerancijskog polja u presjeku A - A

P_{B-B} - Vjerojatnost da se stvarna vrijednost valjčića nalazi izvan tolerancijskog polja u presjeku B - B

Tablica 22 prikazuje kako je najveća vjerojatnost da se stvarna vrijednost nalazi izvan tolerancijskog polja na valjčiću Φ 0,62/3 te iznosi 6,68 %. To je također vidljivo i na slici 35.

S obzirom na malene iznose vjerojatnosti može se zaključiti kako valjčići Φ 0,62 zadovoljavaju ograničenje norme.

6.2. Maksimalna dopuštena razlika promjera između valjčića u setu

Norma ISO 16239:2013 propisuje ograničenje razlike promjera između valjčića u setu od 0,5 µm.

Kako bi se provjerilo da li valjčići zadovoljavaju normu potrebno je međusobno usporediti razlike promjera valjčića u setu, te najveću vrijednost razlika sa tolerancijom norme. U tablici 21 su prikazane navedene usporedbe.

Tablica 23. Razlika promjera između valjčića u setu

Nazivni promjer valjčića / oznaka		Korigirani iznos A-A, mm	Korigirani iznos B-B, mm	Minimalni promjer, mm	Maksimalni promjer, mm	Razlika, µm	Tolerancija, µm
Φ 0,17/1	1	0,1698	0,1698	0,1697	0,1698	0,1	0,5
	2	0,1697	0,1698				
	3	0,1698	0,1698				
Φ 0,17/2	1	0,1697	0,1698	0,1697	0,1698		
	2	0,1698	0,1697				
	3	0,1698	0,1698				
Φ 0,17/3	1	0,1697	0,1698	0,1697	0,1698		
	2	0,1697	0,1697				
	3	0,1697	0,1697				
Φ 0,62/1	1	0,6196	0,6196	0,6196	0,6197	0,4	0,5
	2	0,6197	0,6197				
	3	0,6196	0,6197				
Φ 0,62/2	1	0,6196	0,6195	0,6194	0,6197		
	2	0,6195	0,6194				
	3	0,6197	0,6195				
Φ 0,62/3	1	0,6193	0,6194	0,6193	0,6195		
	2	0,6195	0,6195				
	3	0,6194	0,6194				
Φ 1,65/1	1	1,6500	1,6500	1,6498	1,6500	0,4	0,5
	2	1,6498	1,6499				
	3	1,6499	1,6499				

Nazivni promjer valjčića / oznaka		Korigirani iznos A-A, mm	Korigirani iznos B-B, mm	Minimalni promjer, mm	Maksimalni promjer, mm	Razlika, µm	Tolerancija, µm
Φ 1,65/2	1	1,6500	1,6499	1,6498	1,6501		
	2	1,6500	1,6498				
	3	1,6501	1,6499				
Φ 1,65/3	1	1,6501	1,6501	1,6500	1,6502		
	2	1,6501	1,6500				
	3	1,6502	1,6500				
Φ 6,35/1	1	6,3527	6,3526	6,3526	6,3528	0,6	0,5
	2	6,3528	6,3528				
	3	6,3526	6,3526				
Φ 6,35/2	1	6,3530	6,3530	6,3530	6,3532		
	2	6,3530	6,3531				
	3	6,3531	6,3532				
Φ 6,35/3	1	6,3527	6,3528	6,3527	6,3529		
	2	6,3528	6,3528				
	3	6,3527	6,3529				

Usporedbom prikazanom u tablici 21 se može zaključiti kako svi valjčići, osim valjčića Φ 6,35, zadovoljavaju ograničenje norme, tj. kako su razlike promjera manje od maksimalne dopuštene.

Za razliku od ostalih, set valjčića Φ 6,35 ne zadovoljava normu iz razloga što je razlika veća od dopuštene.

6.3. Maksimalna dopuštena razlika promjera duž osi valjčića

Norma ISO 16239:2013 propisuje ograničenje razlike promjera valjčića duž osi od 0,5 µm. Kako bi se provjerilo da li valjčići zadovoljavaju normu potrebno je međusobno usporediti razlike promjera na svakom pojedinom valjčiću, te vrijednost razlike usporediti sa tolerancijom norme. U tablici 22 su prikazane navedene usporedbe.

Tablica 24. Razlika promjera valjčića duž osi.

Nazivni promjer valjčića / oznaka		Korigirani iznos A-A, mm	Korigirani iznos B-B, mm	Razlika promjera u presjeku A-A, µm	Razlika promjera u presjeku B-B, µm	Tolerancija, µm
Φ 0,17/1	1	0,1698	0,1698	0,1	0	0,5
	2	0,1697	0,1698			
	3	0,1698	0,1698			
Φ 0,17/2	1	0,1697	0,1698	0,1	0,1	0,5
	2	0,1698	0,1697			
	3	0,1698	0,1698			
Φ 0,17/3	1	0,1697	0,1698	0	0,1	0,5
	2	0,1697	0,1697			
	3	0,1697	0,1697			
Φ 0,62/1	1	0,6196	0,6196	0,1	0,1	0,5
	2	0,6197	0,6197			
	3	0,6196	0,6197			
Φ 0,62/2	1	0,6196	0,6195	0,2	0,1	0,5
	2	0,6195	0,6194			
	3	0,6197	0,6195			
Φ 0,62/3	1	0,6193	0,6194	0,2	0,1	0,5
	2	0,6195	0,6195			
	3	0,6194	0,6194			
Φ 1,65/1	1	1,6500	1,6500	0,2	0,1	0,5
	2	1,6498	1,6499			
	3	1,6499	1,6499			

Nazivni promjer valjčića / oznaka		Korigirani iznos A-A, mm	Korigirani iznos B-B, mm	Razlika promjera u presjeku A-A, µm	Razlika promjera u presjeku B-B, µm	Tolerancija, µm
Φ 1,65/2	1	1,6500	1,6499	0,1	0,1	0,5
	2	1,6500	1,6498			
	3	1,6501	1,6499			
Φ 1,65/3	1	1,6501	1,6501	0,1	0,1	0,5
	2	1,6501	1,6500			
	3	1,6502	1,6500			
Φ 6,35/1	1	6,3527	6,3526	0,2	0,2	0,5
	2	6,3528	6,3528			
	3	6,3526	6,3526			
Φ 6,35/2	1	6,3530	6,3530	0,1	0,2	0,5
	2	6,3530	6,3531			
	3	6,3531	6,3532			
Φ 6,35/3	1	6,3527	6,3528	0,1	0,1	0,5
	2	6,3528	6,3528			
	3	6,3527	6,3529			

Iz tablice 24 može se vidjeti kako svi valjčići zadovoljavaju ograničenje norme, tj. kako su sve vrijednosti razlika promjera duž osi manje od dopuštene.

7. ZAKLJUČAK

Kako je za daljnji razvoj znanosti vrlo važno provoditi mjerenja kojim se potvrđuju ili dobivaju nove informacije tako je i važno u industriji provoditi mjerenja kako bi se mogli precizno izrađivati strojevi i proizvodi. Stoga je vrlo važno da podaci dobiveni mjerenjima budu točni i pouzdani, a to se jedino može ostvariti ukoliko su korišteni uređaji i elementi umjereni. Umjeravanje osigurava da mjerni instrument prikazuje točne i pouzdane vrijednosti veličine koja se mjeri. Zbog toga je vrlo važno da sva oprema koja se koristi u postupcima mjerenja bude periodično umjerena kako bi se osiguralo njeno ispravno funkcioniranje.

Mjerni valjčići kao elementi primjene u postupcima mjerenja, proizvode se sa ili bez prihvata. Valjčići bez prihvata koriste se kao elementi u postupcima umjeravanja navojnih mjerila uz korištenje jednoosnih univerzalnih mjernih uređaja, dok valjčići sa prihvatom se koriste u postupcima mjerenja srednjeg promjera navoja uz korištenje mikrometra. Redovitom uporabom i/ili nepravilnim održavanjem dolazi do trošenja ili drugih promjena na površini što rezultira promjenom stvarnih vrijednosti promjera mjernih valjčića. Iz navedenog razloga ih je potrebno periodično umjeravati kako bi se osiguralo da su primjenjivi za pouzdanu primjenu.

Norma koja se primjenjuje za umjeravanje mjernih valjčića je ISO 16239:2013. Ova međunarodna norma definira materijale, vrijednosti nazivnih promjera i tolerancije promjera. Razlikuje dva razreda tolerancije čiji se odabir vrši prema potrebi zahtjeva za točnosti, te mogućnostima postupka mjerenja. Također opisuje na koji se način provodi postupak umjeravanja.

U postupku umjeravanja odabranih valjčića navedenih ranije, korištena je norma ISO 16239:2013 uz odabrani razred tolerancije 2 i mjernu metodu 8.1 koja definira mjerenja u tri ravnine te u dvije međusobno okomite osi.

Kako sva mjerenja podliježu određenim pogreškama koje uzrokuju da se rezultat razlikuje od prave mjerene vrijednosti veličine potrebno ih je iskazati uz određenu pouzdanost, tj. mjernu nesigurnost. Mjerna nesigurnost je parametar pridružen rezultatu mjerenja koji opisuje rasipanje vrijednosti mjerene veličine uz neku određenu vjerojatnost. Procjena je provedena pomoću GUM metode (eng. Guide to Expression of Uncertainty in Measurement).

Na temelju rezultata mjerenja, usporedbom sa tolerancijama koje su navedene u normi ISO 16239:2013 može se zaključiti kako se svi promjeri valjčića ϕ 0,17 i ϕ 1,65 nalaze unutar postavljenih tolerancija čime zadovoljavaju normu dok valjčić Φ 6,35 ne zadovoljava ograničenja norme. Razlog tome može biti loše stanje površine valjčića zbog starosti i očuvanosti.

Na jednom od valjčića ϕ 0,62 dolazi do prijelaza donje granice tolerancijskog polja. Kako se raspon nesigurnosti proteže unutar i izvan polja tolerancije, moguće je da se stvarna vrijednost nalazi unutar granice čime bi valjčić zadovoljavao ograničenje norme, ali također je moguće da se stvarna vrijednost nalazi izvan granice, što bi značilo da ne zadovoljava normu. Drugim riječima moguća su dva tipa pogreške, tip I i tip II. Pogreška tipa I kaže da se valjčić proglasi nesukladnim normom dok se njegova stvarna vrijednost nalazi unutar tolerancije, a pogreška tipa II kaže da se valjčić proglasi sukladnim normom dok se njegova stvarna vrijednost nalazi van tolerancijskog polja. Provedenom analizom vjerojatnosti pojave pogreške tip I ili II može se zaključiti kako valjčići Φ 0,62 zadovoljavaju ograničenje norme.

Norma ISO 16239 navodi i drugi mjerni model za utvrđivanje promjera mjernih valjčića - metoda 8.2: određivanje razlike promjera valjčića. U cilju odabira čim prikladnije mjerne metode u smislu postizive mjerne nesigurnosti te ekonomičnosti same provedbe postupka umjeravanja, valjalo bi provesti umjeravanje valjčića i prema metodi 8.2. S obzirom na izvedene zaključke biti će moguće odabrati optimalnu metodu za buduću primjenu u Laboratoriju za precizna mjerenja dužina.

LITERATURA

[1] https://www.mmsonline.com/columns/the-essentials-of-gage-calibration (8.12.2017)

[2] http://www.gazela.si/kladice-in-etaloni/thread-pin-gage/4821000 (8.12.2017)

[3] Filip Novak, Utjecaj mjerne sile na rezultate mjerenja vanjskih i unutarnjih promjera, Zagreb, 2014

[4] https://www.judgetool.com/threadmeasuringwireswith3-wireholder.aspx (8.12.2017)

[5] Thread check inc, Precision gage solutions katalog broj 1001 – 016 – rev2, 2017

[6] https://www.threadcheck.com/standard-holders-less-wires/ (8.12.2017)

[7] DIN 2269

[8] Schut Measuring instruments and systems 2017/2018

[9] ISO 16239:2013, Metric series wires for measuring screw threads

[10] L.Pavličić, Mjerenje srednjeg promjera navojnih prstena metodom s mjernim čeljustima, 2016

[11] http://www.emte.ch/English:3-Draht-Gewindemessung.asp (2.6.2018)

[12]Microrep, DMS 680 – Gage Calibration

[13] Biserka Runje, Autorizirana predavanja iz kolegija Teorija i tehnika mjerenja, Zagreb, 2014

[14] https://emtoolbox.nist.gov (15.6.2018)

[15] http://www.siq.hr/mjeriteljstvo/umjeravanje_mjernih_instrumenata/ (8.12.2017.)

[16] http://www.svijet-kvalitete.com/index.php/umjeravanje/1533-mjerna-nesigurnost, (14.12.2017)

[17] JCGM 100:2008, Vrednovanje mjernih podataka - Upute za iskazivanje mjerene nesigurnosti, Državni zavod za mjeriteljstvo, 2008

[18] Dominika Milić, Mogućnost primjene monte carlo metode na primjeru agroekonomskog problema prilikom donošenja odluka u uvjetima rizika, EFO, Osijek, 2013

[19] https://uncertainty.nist.gov/ (25.10.2018)