

Procjena mjerne nesigurnosti u postupku mjerenja ručnim mjerilima duljine

Stanić, Maja

Master's thesis / Diplomski rad

2015

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:235:685884>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-15**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Maja Stanić

Zagreb, 2015.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

prof. dr. sc. Josip Stepanić

Student:

Maja Stanić

Zagreb, 2015.



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



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

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

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Maja Stanić** Mat. br.: 0035158624

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **PROCJENA MJERNE NESIGURNOSTI U POSTUPKU MJERENJA RUČNIM MJERILIMA DULJINE**

Naslov rada na engleskom jeziku: **MANUAL LENGTH MEASURING INSTRUMENTS – ESTIMATION OF MEASUREMENT UNCERTAINTY**

Opis zadatka:

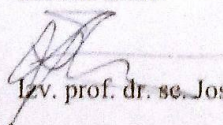
Sukladno dobroj mjeriteljskoj praksi u području dimenzionalnog mjerenja ručnim mjerilima u radu je potrebno teorijski razraditi i eksperimentalno evaluirati postupke za procjenu mjerne nesigurnosti rezultata mjerenja i umjeravanja kod primjene ručnih mjerila duljine. U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:
 15. siječnja 2015.

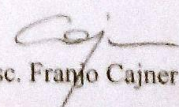
Rok predaje rada:
 19. ožujka 2015.

Predvideni datum obrane:
 25., 26. i 27. ožujka 2015.

Zadatak zadao:


 Izv. prof. dr. sc. Josip Stepanić

Predsjednik Povjerenstva:


 Prof. dr. sc. Franjo Cajner

Izjava

Izjavljujem da sam ovaj rad izradila samostalno koristeći stečeno znanje tijekom dosadašnjeg školovanja na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu.

Zahvaljujem se prof. dr. sc. Josipu Stepaniću na stručnim savjetima tijekom izrade rada. Također se zahvaljujem prof. dr. sc. Biserki Runje na velikoj pomoći i stručnom vodstvu.

Maja Stanić

SADRŽAJ

1. UVOD.....	16
2. OSNOVNI MJERITELJSKI POJMOVI.....	17
3. ODREĐIVANJE MJERNE NESIGURNOSTI	22
3.1. Određivanje standardnih nesigurnosti $u(x)$	23
3.1.1. Određivanje standardne nesigurnosti A-vrste	23
3.1.2. Određivanje standardne nesigurnosti B-vrste	24
3.2. Određivanje sastavljene standardne nesigurnosti	26
3.3. Određivanje proširene nesigurnosti	27
4. RUČNA MJERILA DULJINA.....	28
4.1. POSTUPAK ZA UMJERAVANJE POMIČNIH MJERILA.....	31
4.1.1. Područje primjene.....	31
4.1.2. Norme i referentni dokumenti.....	32
4.1.3. Nazivlje.....	32
4.1.4. Tipovi pomičnih mjerila.....	33
4.1.5. Postupak očitavanja pomičnog mjerila.....	36
4.1.6. Priprema za provedbu umjeravanja.....	38
4.1.7. Prethodna ispitivanja.....	38
4.1.8. Provedba umjeravanja.....	39
4.1.8.1. Mjerenje neparalelnosti mjernih površina	39
4.1.8.2. Utvrđivanje mjerne pogreške.....	40
4.1.9. Obrada i prikazivanje rezultata mjerenja	41
4.1.10. Proračun za iskazivanje mjerne nesigurnosti	42
4.2. POSTUPAK ZA UMJERAVANJE MIKROMETARA ZA VANJSKA MJERENJA	45
4.2.1. Područje primjene	45
4.2.2. Nazivlje	47
4.2.3. Priprema za provedbu umjeravanja	49
4.2.4. Prethodna ispitivanja	49
4.2.5. Provedba umjeravanja.....	49
4.2.5.1. Provjera mjerne sile.....	49
4.2.5.2. Mjerenje neravnosti mjernih površina	49
4.2.5.3. Mjerenje neparalelnosti mjernih površina	50
4.2.5.4. Mjerenje nesimetričnosti položaja mjernih površina	52
4.2.6. Mjerna pogreška F	53

4.2.7. Obrada i prikazivanje rezultata mjerenja	53
4.2.8. Proračun za iskazivanje mjerne nesigurnosti	54
4.3. POSTUPAK ZA UMJERAVANJE TROKRAKIH MIKROMETARA	58
4.3.1. Područje primjene	58
4.3.2. Nazivlje	58
4.3.3. Priprema za provedbu umjeravanja	59
4.3.4. Prethodna ispitivanja	59
4.3.5. Provedba umjeravanja.....	60
4.3.5.1. Utvrđivanje pogreške f_{max}	60
4.3.5.2. Ponovljivosti mjerenja f_w	60
4.3.6. Obrada i prikazivanje rezultata mjerenja	60
4.3.7. Proračun za iskazivanje mjerne nesigurnosti	61
4.4. POSTUPAK ZA UMJERAVANJE KOMPARATORA	65
4.4.1. Područje primjene	65
4.4.2. Nazivlje	65
4.4.3. Priprema za provedbu umjeravanja	66
4.4.4. Prethodna ispitivanja	66
4.4.5. Provedba umjeravanja	66
4.4.5.1 Utvrđivanje mjerne pogreške komparatora	66
4.4.5.2. Utvrđivanje ponovljivosti komparatora	67
4.4.5.3. Utvrđivanje mjerne sile	67
4.4.6. Obrada i prikazivanje rezultata mjerenja	68
4.4.7. Proračun za iskazivanje mjerne nesigurnost	68
4.5. POSTUPAK ZA UMJERAVANJE MJERNIH URA	72
4.5.1. Područje primjene	72
4.5.2. Nazivlje.....	72
4.5.3. Priprema za provedbu umjeravanja	73
4.5.4. Provedba umjeravanja	73
4.5.4.1. Utvrđivanje mjerne pogreške u mjernom području ≤ 10 mm	73
4.5.4.2. Utvrđivanje pogreške u mjernom području ≤ 100 mm.....	74
4.5.4.3. Ponovljivost.....	75
4.5.4.4. Mjerna sila.....	75
4.5.5. Obrada i prikazivanje rezultata mjerenja	75

4.5.6. Proračun za iskazivanje mjerne nesigurnosti	76
4.6. POSTUPAK ZA UMJERAVANJE MJERILA DEBLJINE S MJERNOM UROM.....	82
4.6.1. Područje primjene	82
4.6.2. Nazivlje.....	82
4.6.3 Prethodna ispitivanja.....	83
4.6.4. Provedba umjeravanja.....	83
4.6.5. Proračun za iskazivanje mjerne nesigurnosti	85
4.6.6. Obrada i prikazivanje rezultata mjerenja	88
5. PROCJENA MJERNE NESIGURNOSTI KOD PRIMJENE POMIČNOG MJERILA I MIKROMETRA.....	89
5.1. Procjena nesigurnosti mjerenja vanjskog promjera vratila.....	89
5.2. Primjer određivanja nesigurnosti pridružene mjerenjima koja su provedena s pomičnim mjerilima	89
5.3. Proračun mjerne nesigurnosti kod mikrometra	92
5.3.1 Opseg primjene.....	92
5.4. Mjerenje promjera.....	94
5.4.1. Zadatak i ciljna nesigurnost.....	94
5.4.1.1. Mjerni zadatak.....	94
5.4.1.2. Ciljna nesigurnost.....	94
5.4.2. Princip, postupak i zahtjevi.....	94
5.4.2.1. Mjerni princip.....	94
5.4.2.2. Metoda mjerenja.....	94
5.4.2.3. Početni mjerni zahtjevi.....	95
5.4.3. Popis i razmatranje doprinosa nesigurnosti	95
5.4.4. Prva iteracija.....	97
5.4.4.1 Prva iteracija - Dokumentacija i proračun komponenti nesigurnosti	97
5.4.4.2 Korelacija između komponenti nesigurnosti	100
5.4.4.3 Prva iteracija – Sastavljena i proširena nesigurnost	100
5.4.4.4. Zaključak za prvu iteraciju	102
5.4.5. Druga iteracija.....	102
6. ZAKLJUČAK.....	103
7. LITERATURA.....	104
8. PRILOZI.....	105

POPIS SLIKA

Slika 1. Netočnost.....	18
Slika 2. Stabilnost.....	19
Slika 3. Ponovljivost mjernih rezultata.....	19
Slika 4. Obnovljivost mjernih rezultata.....	20
Slika 5. Zone sukladnosti i nesukladnosti.....	22
Slika 6. Normalna razdioba	24
Slika 7. Pravokutna razdioba.....	25
Slika 8. Trokutasta razdioba.....	25
Slika 9. Planparalelne granične mjerke	28
Slika 10. Etalonski mjerni prsten Joint	29
Slika 11. Precizna staklena mjerna skala NPL, SM/RET 228-513	29
Slika 12. Pomično mjerilo.....	31
Slika 13. Dijelovi pomičnog mjerila.....	32
Slika 14. Univerzalno pomično mjerilo.....	33
Slika 15. Pomično mjerilo tipa B prema DIN 862.....	33
Slika 16. Pomično mjerilo tipa D prema DIN 862.....	34
Slika 17. Pomično mjerilo tipa E prema DIN 862.....	34
Slika 18. Sastavni dijelovi pomičnog mjerila	35
Slika 19. Prikaz očitavanja na klasičnom pomičnom mjerilu rezolucije 0,1 mm	37
Slika 20. Prikaz očitavanja na klasičnom pomičnom mjerilu rezolucije 0,05 mm	37
Slika 21. Prikaz očitavanja na klasičnom pomičnom mjerilu rezolucije 0,02 mm.....	38
Slika 22. Mjerenje neparalelnosti površina za unutarnja mjerenja	39
Slika 23. Mjerenje neparalelnosti mjernih površina za vanjska mjerenja	39
Slika 24. Utvrđivanje pogreške mjerenja	40
Slika 25. Funkcija gustoće vjerojatnosti $g(L_x)$ za pomično mjerilo rezolucije 0,02 mm i mjernog područja 1000 mm.....	43
Slika 26. Funkcija gustoće vjerojatnosti $g(L_x)$ za pomično mjerilo mjernog područja 1000 mm i rezolucija 0,05 mm i 0,1 mm.....	44
Slika 27. Mikrometar za vanjska mjerenja sa ravnim mjernim površinama	45
Slika 28. Mikrometar za vanjska mjerenja s kuglastim mjernim površinama.....	46
Slika 29. Mikrometar za vanjska mjerenja s nožastim mjernim površinama	46

Slika 30. Mikrometar sa tanjurićima.....	47
Slika 31. Mikrometar za vanjska mjerenja s promjenjivim nakovnjem.....	47
Slika 32. Sastavni dijelovi mikrometra za vanjska mjerenja.....	48
Slika 33. Prikaz očitavanja na klasičnom mikrometru.....	48
Slika 34. Prikaz očitavanja na klasičnom mikrometru.....	48
Slika 35. Mjerenje neravnosti mjernih površina.....	50
Slika 36. a, b i c Mjerenje neparalelnosti mjernih površina.....	51
Slika 37. Definicija simetričnog položaja mjernih površina mikrometra za vanjska mjerenja s nožastim mjernim površinama.....	52
Slika 38. Funkcija gustoće vjerojatnosti $g(L_x)$ mikrometra za vanjska mjerenja mjernog područja 500 mm i rezolucije 0,01 mm.....	56
Slika 39. Funkcija gustoće vjerojatnosti $g(L_x)$ mikrometra za vanjska mjerenja mjernog područja do 500 mm i rezolucije 0,001 mm.....	56
Slika 40. Trokraki mikrometar za provrte.....	58
Slika 41. Sastavni dijelovi trokrakog mikrometra.....	59
Slika 42. Funkcija gustoće vjerojatnosti $g(dX)$ za mikrometar rezolucije 0,001 mm i mjernog područja 125 mm.....	63
Slika 43. Funkcija gustoće vjerojatnosti $g(dX)$ za mikrometar rezolucije 0,01 mm i mjernog područja 125 mm.....	63
Slika 44. Sastavni dijelovi komparatora.....	65
Slika 45. Funkcija gusoće vjerojatnosti $g(LX)$ za komparator rezolucije 0,005 mm i mjernog područja 1 mm.....	70
Slika 46. Funkcija gustoće vjerojatnosti $g(L_x)$ za komparator rezolucije 0,002; 0,001 i 0,0005 mm i mjernog područja 1 mm.....	70
Slika 47. Dijelovi analogne mjerne ure.....	72
Slika 48. Funkcija gustoće vjerojatnosti $g(L_x)$ za digitalnu uru rezolucije 0,001 mm i mjernog područja 10 mm.....	79
Slika 49. Funkcija gustoće vjerojatnosti $g(L)$ za analognu uru rezolucije 0,01 mm i mjernog područja 10 mm.....	79
Slika 50. Funkcija gustoće vjerojatnosti $g(L_x)$ za digitalnu uru rezolucije 0,001 mm i mjernog područja 100 mm.....	80
Slika 51. Funkcija gustoće vjerojatnosti $g(L_x)$ za analognu uru rezolucije 0,01 mm i mjernog područja 100 mm.....	80

Slika 52. Sastavni dijelovi mjerila debljine s mjernom urom	82
Slika 53. Utvrđivanje mjerne pogreške mjerila debljine za vanjska mjerenja	83
Slika 54. Sastavni dijelovi mjerila debljine s mjernom urom	84
Slika 55. Hijerarhija umjeravanja za mjerenja promjera i umjeravanje mikrometra za vanjska mjerenja	93
Slika 56. Mjerenje vanjskog promjera vratila (\varnothing 25 mm)	95

Popis tablica

Tablica 1. Umjeravanja ovlaštena od strane SIT-a.....	30
Tablica 2. Gradacije osnovne i pomoćne skale pomičnog mjerila.....	36
Tablica 3. Mjerna mjesta (pozicije).....	40
Tablica 4. Sastavnice standardne nesigurnosti u postupcima umjeravanja digitalnog i konvencionalnog pomičnog mjerila rezolucije 0,02 mm.....	42
Tablica 5. Sastavnice standardne nesigurnosti u postupcima umjeravanja pomičnog mjerila.....	43
Tablica 6. Sastavnice standardne nesigurnosti u postupcima umjeravanja mikrometra za vanjska mjerenja rezolucije 0,01 mm.....	55
Tablica 7. Sastavnice standardne nesigurnosti u postupcima umjeravanja mikrometra za vanjska mjerenja rezolucije 0,001 mm.....	55
Tablica 8. Sastavnice standardne nesigurnosti u postupcima umjeravanja digitalnog mikrometra rezolucije 0,001 mm.....	62
Tablica 9. Sastavnice standardne nesigurnosti u postupcima umjeravanja mikrometra rezolucije 0,01 mm.....	62
Tablica 10. Sastavnice standardne nesigurnosti u postupcima umjeravanja komparatora rezolucije 0,005 mm i mjernog područja do 1 mm.....	69
Tablica 11. Sastavnice standardne nesigurnosti u postupcima umjeravanja komparatora rezolucije 0,002; 0,001 i 0,0005 mm i mjernog područja do 1 mm.....	69
Tablica 12. Mjerne točke pri umjeravanju mjerne ure.....	74
Tablica 13. Sastavnice standardne nesigurnosti u postupcima umjeravanja digitalne mjerne ure rezolucije 0,001 mm i mjernog područja do 10 mm	77
Tablica 14. Sastavnice standardne nesigurnosti u postupcima umjeravanja analogne mjerne ure rezolucije 0,01 mm i mjernog područja do 10 mm.....	77
Tablica 15. Sastavnice standardne nesigurnosti u postupcima umjeravanja digitalne mjerne ure rezolucije 0,001 mm i mjernog područja 100 mm.....	78
Tablica 16. Sastavnice standardne nesigurnosti u postupcima umjeravanja analogne mjerne ure rezolucije 0,01 mm i mjernog područja 100 mm.....	78
Tablica 17. Sastavnice standardne nesigurnosti u postupcima umjeravanja mjerila debljine za vanjska mjerenja s mjernom ure rezolucije 0,1 mm.....	85

Tablica 18. Sastavnice standardne nesigurnosti u postupcima umjeravanja mjerila debljine za vanjska mjerenja s mjernom ure rezolucije 0,01 mm.....	86
Tablica 19. Sastavnice standardne nesigurnosti u postupcima umjeravanja mjerila debljine za vanjska mjerenja s mjernom ure rezolucije 0,001 mm.....	86
Tablica 20. Sastavnice standardne nesigurnosti u postupcima umjeravanja mjerila debljine za unutarnja mjerenja s mjernom ure rezolucije 0,1 mm.....	87
Tablica 21. Sastavnice standardne nesigurnosti u postupcima umjeravanja mjerila debljine za unutarnja mjerenja s mjernom ure rezolucije 0,01 mm.....	87
Tablica 22. Sastavnice standardne nesigurnosti u postupcima umjeravanja mjerila debljine za unutarnja mjerenja s mjernom ure rezolucije 0,001 mm	88
Tablica 23 . Pregled i napomene za komponente nesigurnosti kod mjerenja promjera (mjerenje promjera u dvije točke).....	96
Tablica 24. Utjecaj pojedinih komponenti nesigurnosti na u_c i u_c^2 (mjerenja promjera 25 mm u dvije točke)	100

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
$\bar{\alpha}$	K ⁻¹	prosječni koeficijent toplinskog širenja
δl_{ix}	μm	korekcija zbog procijene očitavanja na skali mj. uređaja
δl_0	μm	korekcija zbog postavljanja kazaljke na nulu
δd_{ix}	μm	korekcija zbog procijene očitavanja na skali mikrometra
δd_m	μm	necentriranost komparatora na uređaju; korekcija zbog mehaničkih utjecaja i Abbeovog principa
σ_{n-1}	mm	standardno odstupanje
d_{ix}	mm	očitanje mikrometra
d_s	mm	promjer etalonskog prstena
D_s	mm	nominalna duljina etalonskog prstena
k	-	faktor pokrivanja
L_s	mm	nominalna duljina etalona
l_{ix}	mm	očitanje mjernog uređaja
l_s	mm	duljina očitana na uređaju; duljina etalona
P	%	vjerojatnost
Δt	°C	razlika temperatura mikrometra i etalonskog prstena
U	μm	proširena mjerna nesigurnost
U_c	mm	sastavljena standardna nesigurnost
$u(x_i)$	μm	Iznos standardne nesigurnosti
$u_c(y)$	μm	sastavljena standardna nesigurnost mjerene veličine
u_{MF}	μm	ravnost mjernih površina kod mikrometra
u_{ML}	μm	pogreška pokazivanja kod mikrometra
u_{MP}	μm	paralelnost mjernih površina kod mikrometra
u_{RR}	μm	razlučivanje
u_{NP}	μm	odstupanje nulte točke između tri mjeritelja
u_{TD}	μm	temperaturna razlika
u_{TA}	μm	temperatura
u_{WE}	μm	pogreška oblika predmeta mjerenja

SAŽETAK

Tekst sažetka :

Cilj ovog rada je teorijska i eksperimentalna razrada postupka za procjenu mjerne nesigurnosti rezultata mjerenja i umjeravanja kod primjene ručnih mjerila duljine.

U prvom dijelu rada navedeni su osnovni mjeriteljski pojmovi te određivanje mjerne nesigurnosti.

Drugi dio rada detaljno opisuje tipična ručna mjerila duljine koja se koriste u Laboratoriju za precizna mjerenja dužina Fakulteta strojarstva i brodogradnje, njihovu podjelu prema konstrukcijskim izvedbama, postupak umjeravanja tipičnih ručnih mjerila te poseban naglasak na procjeni mjerne nesigurnosti kod primjene pomičnog mjerila i mikrometra..

Ključne riječi: umjeravanje, mjerna nesigurnost, ručna mjerila duljine, pomična mjerila, mikrometri

SUMMARY

Abstract :

The aim of this work is theoretical and experimental elaboration procedure for estimation of measurement uncertainty of measurement and calibration when using manual length measuring instruments.

The first part covers the basic metrological concepts and determination of uncertainties. The second part describes typical manual length measuring instruments used in the Laboratory for Precise Measurements of Length of the Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, their classification according to the constructional features, calibration procedure typical manual length measuring instruments, and a special emphasis on the assessment of measurement uncertainty in the application of the calliper and micrometer.

Key words: calibration, measurement uncertainty, manual length measuring instruments, callipers, micrometers

1. UVOD

Znanost je potpuno ovisna o mjerenju. Dostupnost mjerne opreme i mogućnost njezine uporabe je veoma važna kako bi znanstvenici mogli objektivno dokumentirati rezultate mjerenja i koristiti ih u svojim istraživanjima.

Znanost o mjerenju – **metrologija** je vjerojatno najstarija znanost u svijetu te je znanje o tome kako se ona primjenjuje temeljna potreba u praktično svim znanstveno utemeljenim zanimanjima.

Metrologija ima tri glavna zadatka:

1. definiranje međunarodno prihvaćenih mjernih jedinica
2. ostvarenje mjernih jedinica znanstvenim metodama
3. utvrđivanje lanca sljedivosti pri dokumentiranju točnosti mjerenja

Metrolozijske djelatnosti, ispitivanja i mjerenja, općenito su vrijedni ulazni elementi za funkcioniranje kakvoće u industrijskim djelatnostima. Za to je potrebna sljedivost, koja postaje jednako važna kao i samo mjerenje. Priznavanje metrolozijske mjerodavnosti na svakoj razini lanca sljedivosti može se uspostaviti sporazumima i dogovorima o međusobnome priznavanju. Umjeravanje mjerila temeljno je oruđe za osiguravanje mjerne sljedivosti. To umjeravanje obuhvaća određivanje metrolozijskih značajka mjerila. Ono se postiže izravnom usporedbom s etalonima. O umjeravanju se izdaje potvrda, a (u mnogim slučajevima) na umjerena mjerila stavlja se i naljepnica. Na temelju tih podataka korisnik može odlučiti je li mjerilo prikladno za dotičnu primjenu.

Tri su glavna razloga za umjeravanje mjerila:

1. da se osigura da očitavanja mjerila budu sukladna s drugim mjerenjima.
2. da se odredi točnost očitavanja mjerila.
3. da se utvrdi pouzdanost mjerila, tj. može li mu se vjerovati.

Umjeravanjem mjerila moguće je dobiti sljedeće:

- Rezultat umjeravanja omogućuje pridruživanje vrijednosti mjerenih veličina pokazivanjima ili određivanje ispravaka pokazivanja.
- Umjeravanjem se također mogu određivati i druga metrologijska svojstva kao što su na primjer djelovanje utjecajnih veličina.
- Rezultat umjeravanja može se zabilježiti u dokumentu koji se katkad naziva potvrdom o umjeravanju ili izvještajem o umjeravanju.

2. OSNOVNI MJERITELJSKI POJMOVI [2]

Mjeriteljstvo je znanost o mjerenju i njegova primjena. Mjeriteljstvo obuhvaća sve teoretske i praktične aspekte mjerenja bez obzira na njihovu mjernu nesigurnost i područje primjene.

Mjerenje je definirano kao dodjeljivanje vrijednosti materijalnim stvarima kako bi se prikazale veze među njima s obzirom na pojedina svojstva. Proces dodjele vrijednosti je definiran kao proces mjerenja.

Mjerilo je mjerni instrument, uređaj koji se upotrebljava za mjerenja, samostalno ili s jednim ili više dopunskih uređaja.

Mjerni sustav je skupina instrumenata, mjerila, standarda, operacija, metoda, softvera, osoblja, okolina i pretpostavki korištenih kako bi se kvantificirala jedinica mjere ili kako bi se popravila procjena karakteristika mjere koja se mjeri.

Pokazno mjerilo je mjerilo koje daje izlazni signal koji nosi podatke o vrijednosti veličine koja se mjeri, npr. voltometar, mikrometar, elektronička vaga.

Mjerni postupak je podroban opis mjerenja u skladu s jednim ili više mjernih načela i danom mjernom metodom, na temelju mjernog modela i uključujući svaki izračun kako bi se dobio mjerni rezultat.

Mjerni rezultat je rezultat mjerenja, skup vrijednosti veličine koje se pripisuju mjerenoj veličini zajedno sa svim drugim dostupnim bitnim podacima.

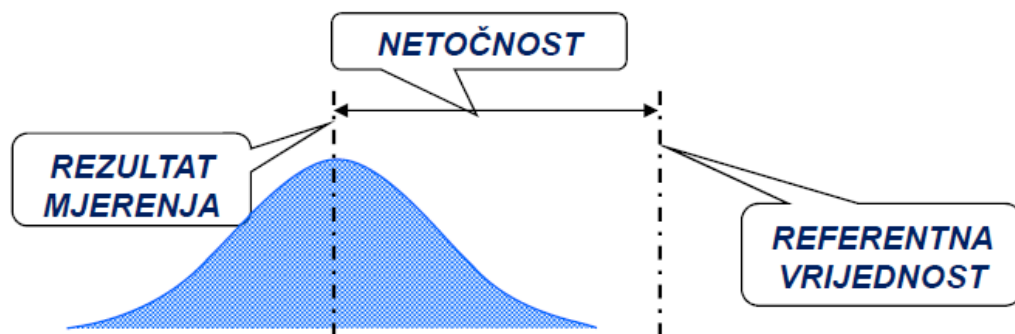
Rezolucija je najmanja čitljiva jedinica mjerila.

Referentna vrijednost je vrijednost koja služi kao dogovorena referenca za mjernu vrijednost, a može biti utvrđena na osnovi srednje vrijednosti rezultata više mjerenja provedenih mjernom opremom više razine točnosti.

Prava vrijednost je točna vrijednost mjere predmeta (nepoznata i nije ju moguće znati).

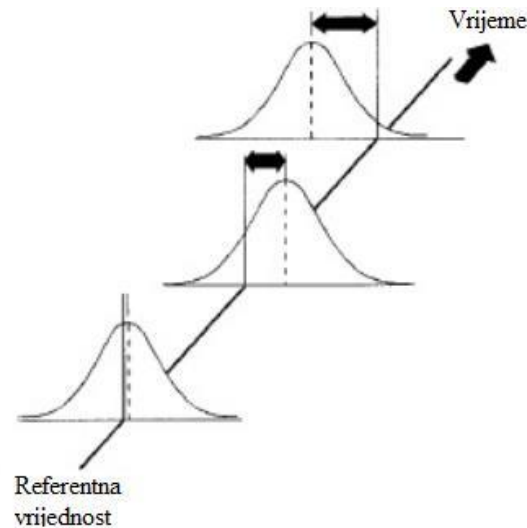
Točnost je bliskost pravoj mjeri ili prihvaćenoj referentnoj mjeri.

Netočnost je razlika između prave vrijednosti (referentne vrijednosti) i promatrane sredine mjernih rezultata iste karakteristike na istom dijelu (slika 1.).



Slika 1. Netočnost [4]

Stabilnost je promjena u netočnosti tijekom vremena. Ukupna varijacija rezultata mjerenja dobivenih mjernim sustavom tijekom mjerenja pojedine karakteristike na istom dijelu tijekom dužeg vremenskog perioda.



Slika 2. Stabilnost [1]

Linearnost je promjena u netočnosti tijekom normalnog raspona. Komponenta sistemske greške mjernog sustava.

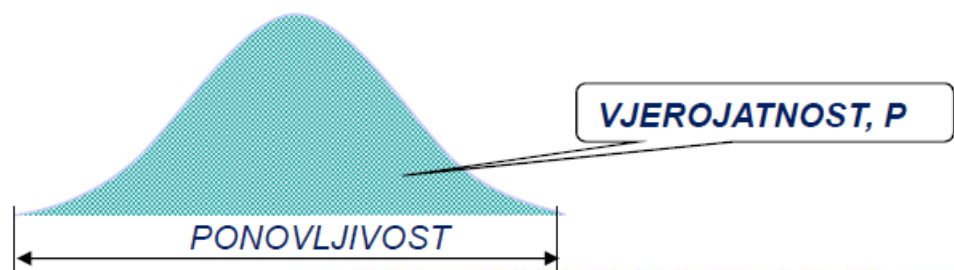
Preciznost je bliskost očitavanja ponovljenih mjerenja, usko vezana sa ponovljivosti.

Mjerna ponovljivost EV (Equipment variation) je usko slaganje između rezultata uzastopnih mjerenja iste mjerene veličine izvedenih u istim mjernim uvjetima koji uključuju:

- Isti mjerni postupak,
- Istog mjeritelja
- Isto mjerilo upotrebljavano u istim uvjetima
- Isto mjerno mjesto
- Ponavljanje u kratkom vremenu

Ponovljivost se može izraziti količinski s pomoću značajki rasipanja rezultata mjerenja.

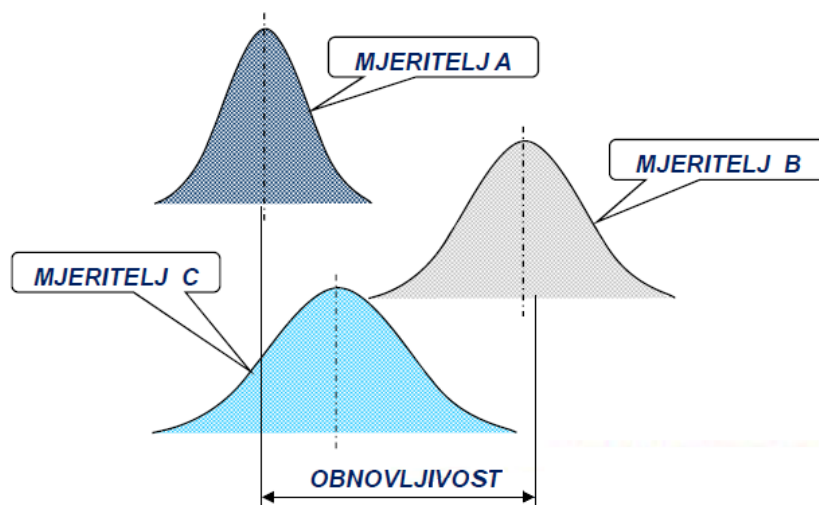
Ponovljivost u najvećoj mjeri određuje utjecaj mjerila u varijaciji mjernog sustava.



Slika 3. Ponovljivost mjernih rezultata [4]

Mjerna vrijednost ponovljivosti r je vrijednost unutar koje se može očekivati da leži razlika između dvaju pojedinačnih rezultata mjerenja dobivena uz uvjete ponovljivosti, uz vjerojatnost od 95 %. Krična razlika ponovljivosti $CrDr$ je vrijednost unutar koje se može očekivati da leži razlika dvaju pojedinačnih rezultata ispitivanja dobivena uz uvjete ponovljivost sa specificiranom vjerojatnosti.

Obnovljivost AV (Appraiser variation) je rasipanje rezultata mjerenja dobiveno od strane većeg broja mjeritelja pri višestrukome mjerenju iste karakteristike na istim dijelovima uz korištenje istog ili različitog mjernog instrumenta. Obnovljivost se može izraziti količinski s pomoću značajki rasipanja rezultata mjerenja. Obnovljivost u najvećoj mjeri određuje utjecaj mjeritelja u varijaciji mjernog sustava. U slučaju da u mjernom sustavu sudjeluje samo jedan mjeritelj, obnovljivost je definirana kao rasipanje rezultata mjerenja dobiveno pri višestrukome mjerenju identične karakteristike na istim dijelovima uz korištenje istog ili različitog mjernog instrumenta kroz duži vremenski period.



Slika 4. Obnovljivost mjernih rezultata, [4]

Mjerna vrijednost obnovljivosti R je vrijednost unutar koje se može očekivati da leži apsolutna razlika između dvaju rezultata mjerenja, dobivena uz uvjete obnovljivosti, uz vjerojatnost 95%.

Kritična razlika obnovljivosti je vrijednost unutar koje se može očekivati da leži apsolutna razlika između dvaju rezultata ispitivanja, dobivena uz uvjete obnovljivosti sa specificiranom vjerojatnosti.

R&R ili GRR- udružena ponovljivost i obnovljivost mjernog sustava.

$$\sigma_{GRR}^2 = \sigma_{ponovljivost}^2 + \sigma_{obnovljivost}^2 \quad (2.1)$$

Sposobnost mjernog sustava predstavlja udio varijabilnosti mjernog sustava (R&R) iskazanog postotkom područja dopuštenog odstupanja (T).

Konzistentnost je razlika u varijaciji rezultata mjerenja dobivenih u vremenu. Tijekom dužeg vremena može se smatrati kao ponovljivost.

Sposobnost (Capability) je varijabilnost očitavanja pribavljenih tijekom vremenski kratkog perioda.

$$\sigma_{sposobnost}^2 = \sigma_{netočnost}^2 + \sigma_{GRR}^2 \quad (2.2)$$

Učinak (Performance) je varijabilnost očitavanja pribavljenih tijekom vremenski dugog perioda.

$$\sigma_{učinak}^2 = \sigma_{sposobnost}^2 + \sigma_{stabilnost}^2 + \sigma_{konzistentnost}^2 \quad (2.3)$$

Mjerna nesigurnost je definirana kao parametar pridružen rezultatu mjerenja koji opisuje rasipanje vrijednosti koje bi se razumno mogle pripisati mjerenoj veličini uz određenu vjerojatnost.

$$prava\ vrijednost = rezultat\ mjerenja \pm U \quad (2.4)$$

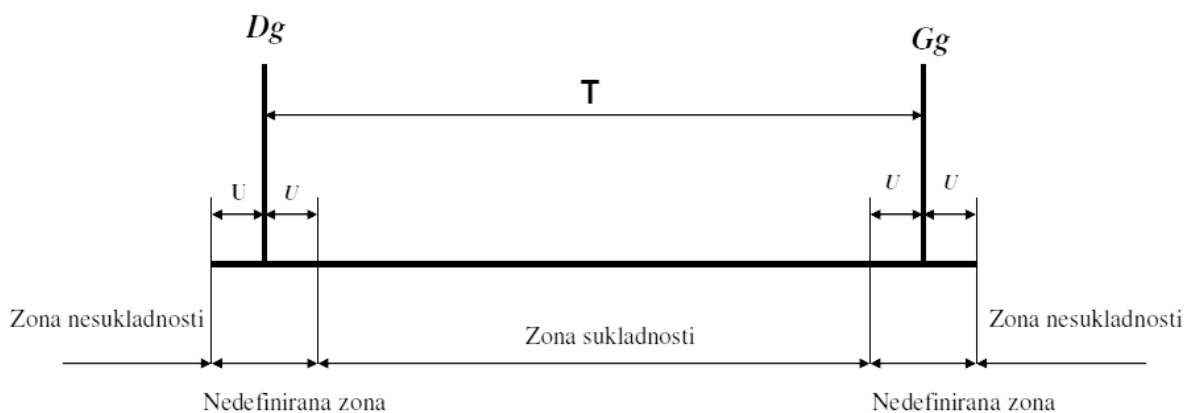
$$U = k \cdot u_c \quad (2.5)$$

3. ODREĐIVANJE MJERNE NESIGURNOSTI [4]

Mjerna nesigurnost je definirana kao parametar pridružen rezultatu mjerenja koji opisuje rasipanje vrijednosti koje bi se razumno mogle pripisati mjerenoj veličini uz određenu vjerojatnost.

Mjerna nesigurnost se procjenjuje radi nedvosmislenog iskazivanja i usporedbe mjernih rezultata dobivenih u različitim umjernim i ispitnim laboratorijima ali i radi usporedbe mjernih rezultata sa specifikacijama proizvođača ili zadanom tolerancijom. Mjerenja nisu savršena kako zbog djelovanja slučajnih utjecaja (trenutna promjena temperature, tlaka i vlage ili neiskustvo mjeritelja, nesavršenost uređaja i osjetila) tako i zbog ograničenih mogućnosti korekcije sustavnih djelovanja (promjena karakteristike instrumenta između dva umjeravanja, utjecaj mjeritelja pri očitavanju analogne skale, nesigurnost vrijednosti referentnog etalona...). Mjerna nesigurnost je upravo posljedica djelovanja slučajnih utjecaja i ograničenih mogućnosti korekcije sustavnih djelovanja.

Na slici 5. prikazane su zona sukladnosti, zone nesukladnosti i nedefinirane zone. Kada mjerni rezultat pada u zonu sukladnosti može se prihvatiti jer će taj rezultat biti unutar granica tolerancije i ako se uzme u obzir i njegova mjerna nesigurnost. Zona nesukladnosti pokazuje da je rezultat koji pada u nju svakako izvan granica tolerancije bez obzira na mjernu nesigurnost. Problem se javlja u nedefiniranim zonama gdje prava vrijednost izmjere može ležati i unutar granica tolerancije ali i izvan. Prema gore navedenom za prihvatljive mjere se uzimaju one koje padaju u zonu sukladnosti.



Slika 5. Zone sukladnosti i nesukladnosti [4]

Procjena mjerne nesigurnosti s vrši uglavnom preko GUM metode. Prvi korak pri procjeni mjerne nesigurnosti GUM metodom je određivanje matematičkog modela. U većini slučajeva mjerena veličina Y ne mjeri se izravno nego se određuje iz N drugih veličina (X_1, X_2, \dots, X_N) na temelju funkcijskog odnosa koji predstavlja osnovni matematički model za potpuno određenje mjerene veličine.

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_N) \quad (3.1)$$

3.1. Određivanje standardnih nesigurnosti $u(x_i)$

Svaka procjena ulazne veličine x_i i njezina pridružena standardna nesigurnost $u(x_i)$ dobivaju se iz razdiobe mogućih vrijednosti ulazne veličine X_i . Ta razdioba vjerojatnosti može se temeljiti na frekvenciji, tj. na nizu opažanja $X_{i,k}$ veličine X_i , ili to može biti kakva apriorna razdioba. Određivanja A-vrste sastavnica standardne nesigurnosti temelje se na čestotnim razdiobama, dok se određivanja B-vrste temelje na apriornim razdiobama. Mora se shvatiti da su u oba slučaja te razdiobe modeli koji služe za prikaz stanja našeg znanja.

3.1.1. Određivanje standardne nesigurnosti A-vrste

Određivanje standardne nesigurnosti A-vrste se dobiva iz niza ponovljenih mjerenja uz primjenu normalne i studentove razdiobe. Zasniva se na bilo kojoj vrijednosnoj statističkoj metodi (računanje standardnog odstupanja srednje vrijednosti mjernog niza, primjena metode najmanjih kvadrata odstupanja, ANOVA).

Procjena standardne nesigurnosti A-vrste iz niza ponovljenih mjerenja:

$$u(x_i) = s(\tilde{x}_i) \quad (3.2)$$

$$s(\tilde{x}_i) = \frac{s(x_i)}{\sqrt{n}} \quad (3.3)$$

3.1.2. Određivanje standardne nesigurnosti B-vrste

Procjena se temelji na znanstvenoj prosudbi svih raspoloživih podataka o X_i . Takav skup podataka može uključivati:

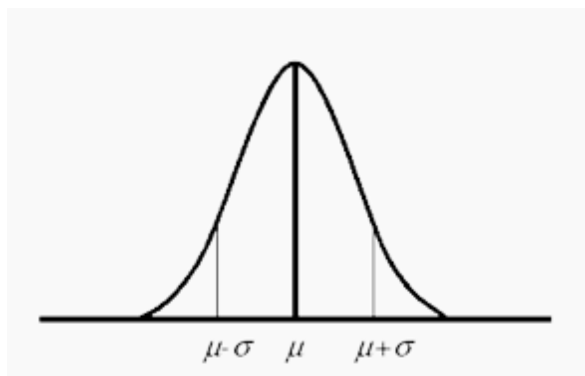
- Iskustvo s etalonima i uređajima ili poznavanje ponašanja i svojstava instrumenata
- Prethodne mjerne podatke
- Proizvođačke specifikacije
- Podatke dane u potvrđama o umjeravanju i drugim potvrđama
- Nesigurnosti dodijeljene referentnim podacima uzetim iz priručnika

Procjena se zasniva na aprionim razdiobama vjerojatnosti:

- Normalna ili Gaussova
- Pravokutna ili jednolika
- Trokutasta i dr.

Normalna razdioba

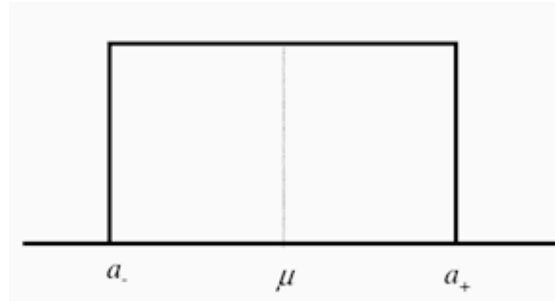
$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (3.4)$$



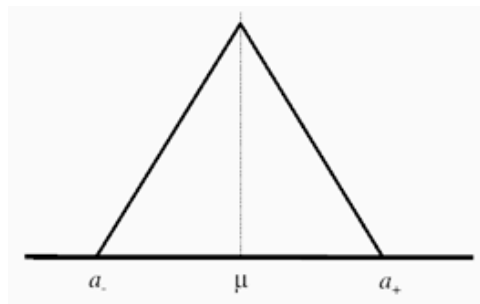
Slika 6. Normalna razdioba [4]

Pravokutna razdioba

$$u(x_i) \frac{a}{\sqrt{3}} \quad (3.5)$$

**Slika 7.** Pravokutna razdioba [4]**Trokutasta razdioba**

$$u(x_i) \frac{a}{\sqrt{6}} \quad (3.6)$$

**Slika 8.** Trokutasta razdioba [4]

3.2. Određivanje sastavljene standardne nesigurnosti

Sastavljena standardna nesigurnost $u_c(y)$, određuje se odgovarajućim sastavljanjem standardnih nesigurnosti procjena ulaznih veličina.

Nekorelirane ulazne veličine

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N c_i^2 u^2(x_i)} \quad (3.7)$$

Korelirane ulazne veličine

Ukoliko su neke od veličina x_i znatno korelirane i te se korelacije moraju uzeti u obzir pa je izraz za sastavljenu mjernu nesigurnost dan izrazom:

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2 u^2(x_i) + 2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right) \left(\frac{\partial f}{\partial x_j}\right) u(x_i, x_j)} \quad (3.8)$$

Gdje su:

$$c_i = \frac{\partial f}{\partial x_i} \quad \text{koeficijenti osjetljivosti} \quad (3.9)$$

3.3. Određivanje proširene nesigurnosti

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. Proširena nesigurnost dobiva se množenjem sastavljene standardne nesigurnosti $u_c(y)$, s faktorom pokrivanja k , a označuje se sa U :

$$U = k \cdot u_c(y) \quad (3.10)$$

Vrijednost faktora pokrivanja k odabire se na temelju zahtijevane razine povjerenja za interval $y - U$ do $y + U$. Općenito k će biti u području između 2 i 3. Međutim, za posebne primjene k može biti i izvan tog područja. Izbor prave vrijednosti za k može olakšati bogato iskustvo i potpuno znanje primjena koje će se postavljati na mjerni rezultat. Može se pretpostaviti da uzimanje $k = 2$ daje interval koji ima razinu povjerenja od približno 95%, a uzimanje $k = 3$ daje interval koji ima razinu povjerenja od približno 99%.

4. RUČNA MJERILA DULJINA

Radi razrade postupka umjeravanja ručnih mjerila duljina neophodno je opisati sustav rada Laboratorija za precizna mjerenja dužina na području umjeravanja etalona i mjerila duljine i kuta (LFSB). Laboratorij za precizna mjerenja dužina Fakulteta strojarstva i brodogradnje (LFSB) je utemeljen 1959. godine te je od samih početaka temeljna odrednica Laboratorija mjerenje duljine, kuta i hrapavosti površina s visokom točnošću. S tim u svezi u Laboratoriju se neprekidno ulažu napori, posebice u okviru znanstvenih projekata, u cilju smanjivanja mjernih nesigurnosti. Laboratorij za precizna mjerenja dužina je nositelj nacionalnih etalona za duljinu i hrapavost.

Državni etalon za duljinu sastoji se od:

1. 121 planparalelne granične mjerke, duljine od 0,5 mm do 100 mm, proizvođača

MAHR, model 409, serijski broj 908973; slika 1.



Slika 9. Planparalelne granične mjerke [15]

2. Deset dugih planparalelnih graničnih mjerki, duljina od 125 mm do 700 mm, proizvođača Koba;
3. Dva mjerna prstena nazivnih promjera $\varnothing 13,9983$ mm i $\varnothing 50,0004$ mm, proizvođača, Joint, serijski broj NO 0313 (slika 10.).



Slika 10. Etalonski mjerni prsten Joint [15]

4. Precizne staklene mjerne skale, duljine 100 mm, proizvođača NPL, serijski broj SM (slika 11.)



Slika 11. Precizna staklena mjerna skala NPL, SM/RET 228-513 [15]

Državni etaloni za duljinu čuvaju se, održavaju i upotrebljavaju sukladno Postupku LFSB G 130. [16]

Sukladno akreditaciji SIT-a Laboratorij je ovlašten provoditi umjeravanja prema tablici 1.

Tablica 1. Umjeravanja ovlaštena od strane SIT-a [15]

Mjerno sredstvo	Mjerno područje	Mjerna nesigurnost
Mjerni uređaji i etaloni za ispitivanje hrapavosti	$R_a=(0,008-30) \mu\text{m}$ $R_v=R_z=(0,025-100) \mu\text{m}$	5% 8%
Planparalelne granične mjerke	(0,5-100) mm	(0,05 + 1,1L) μm
Štapni kontrolnik	do 500 mm	(0,6 + 11,5L) μm
Granična mjerila za unutarnji paralelni navoj izratka sa simetričnim profilom	-	3,026 μm
Granična mjerila za vanjski paralelni navoj izratka sa simetričnim profilom	-	3,52 μm
Pomična mjerila	do 1000 mm	(10 + 9L) μm
Mikrometar za vanjska mjerenja	do 500 mm	(1,2 + 5L) μm
Štapni mikrometri	do 3000 mm	(1,6 + 8,5L) μm
Trokraki mikrometri	do 125 mm	(1,5 + 4L) μm
Visinomjer	do 1000 mm	(10 + 9L) μm
Dubinomjer	do 700 mm	(7 + 8L) μm
Kontrolni prsteni i granična mjerila za osovinu	od 8 mm do 150 mm	(0,6 + 0,7L) μm
Granična mjerila za provrte	do 200 mm	1 μm
Mjerna ura	do 100 mm	(3 + 1,5L) μm
Komparator	do 1 mm	0,7 μm
Duge planparalelne granične mjerke	od 100 mm do 500 mm	(0,17 + 1,2L) μm

Napomene:

Mjerna nesigurnost iskazana je uz interval povjerenja od 95%.

Vrijednosti mjerene veličine L su u metrima.

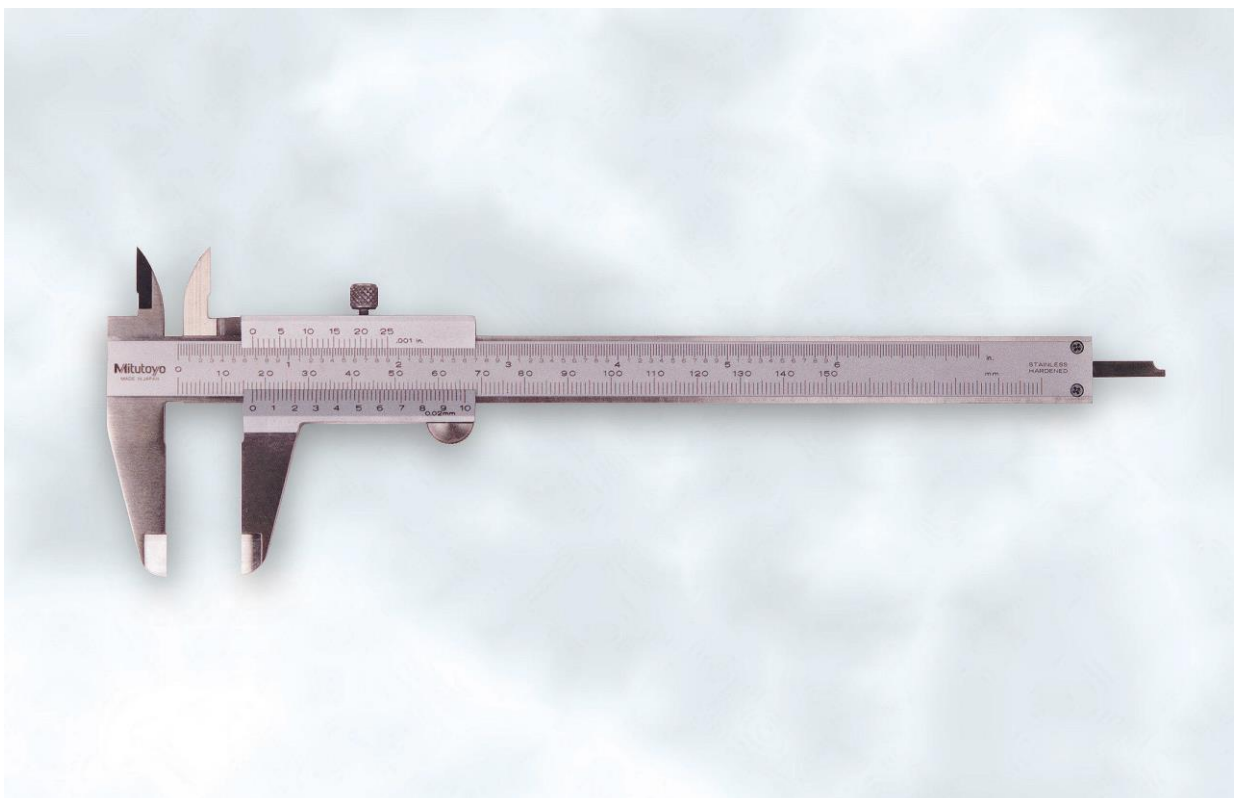
U daljnim poglavljima opisana su tipična ručna mjerila dužine koja se koriste u Laboratoriju za precizna mjerenja dužina Fakulteta strojarstva i brodogradnje, njihova podjela prema konstrukcijskim izvedbama, postupak umjeravanja tipičnih ručnih mjerila te je poseban naglasak na procjeni mjerne nesigurnosti kod primjene pomičnog mjerila i mikrometra.

4.1. POSTUPAK ZA UMJERAVANJE POMIČNIH MJERILA [10]

4.1.1. Područje primjene

Pomično mjerilo je mjerni instrument koji se sastoji od mjerne skale, pomične skale i kljunova za vanjske i unutrašnje mjere. Osim mehaničkog pomičnog mjerila izrađuju se pomično mjerilo s mjernom urom i pomično mjerilo s digitalnim pokazivačem mjere. Tipično pomično mjerilo može mjeriti unutrašnji i vanjski promjer te dubinu.

Pomična mjerila se izrađuju s mjernim područjem od 100 mm to 3000 mm. Općenito, pomična mjerila s mjernim područjem od 300 mm ili manje se svrstavaju u mala pomična mjerila, a ona s većim mjernim područjem se svrstavaju u velika pomična mjerila. Postupak umjeravanja je namijenjen umjeravanju konvencionalnih i digitalnih pomičnih mjerila mjernog područja od 0 mm do 1000 mm. Uobičajeno mjerno područje za pomično mjerilo je 0.05 mm, za pomično mjerilo s mjernom urom je 0.02 mm te za pomično mjerilo s digitalnim pokazivačem mjere 0.01 mm.



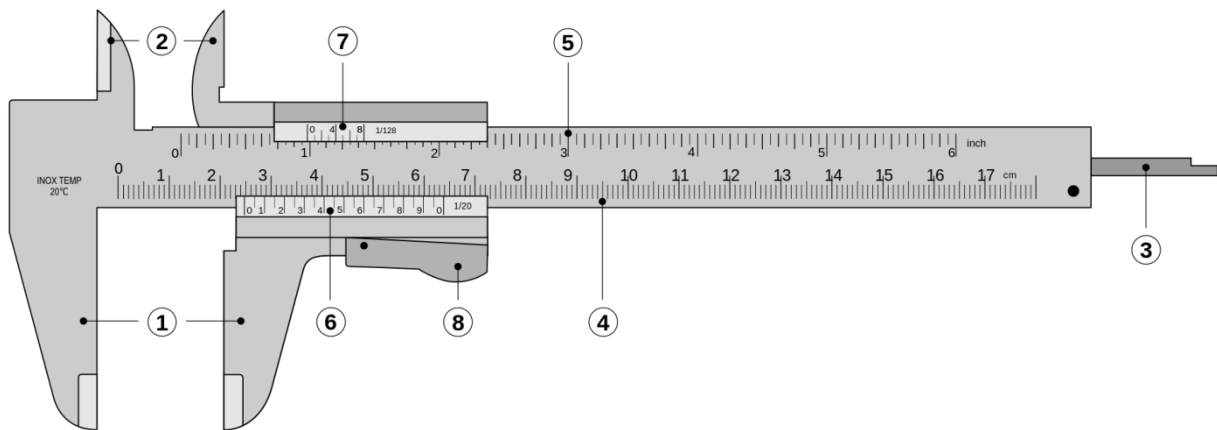
Slika 12. Pomično mjerilo [6]

4.1.2. Norme i referentni dokumenti

Za potpuno razumijevanje i primjenu ovog postupka potrebno je koristiti slijedeće norme i referencijske dokumente:

- ISO 3599 (1976): Vernier callipers reading to 0,1 and 0,05 mm.
- ISO 6906 (1984): Vernier callipers reading to 0,02 mm.
- DIN 862 (1988) : Meßschieber, Anforderungen, Prüfung.

4.1.3. Nazivlje



Slika 13. Dijelovi pomičnog mjerila [10]

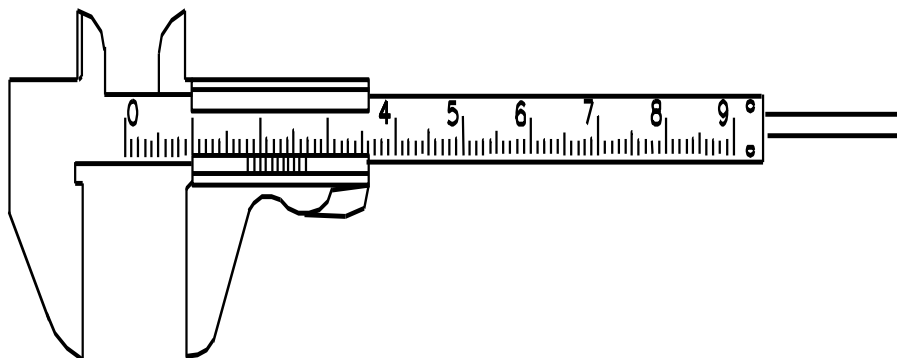
Dijelovi pomičnog mjerila:

1. Mjerni šiljci za vanjske mjere
2. Mjerni šiljci za unutrašnje mjere
3. Produžetak za mjerenje dubine
4. Nepomični dio sa skalom u mm
5. Nepomični dio sa skalom u inčima
6. Pomični dio s skalom za mjerenje 1/10 mm
7. Pomični dio s skalom za mjerenje u inčima
8. Kočnica za pomičnu skalu

4.1.4. Tipovi pomičnih mjerila

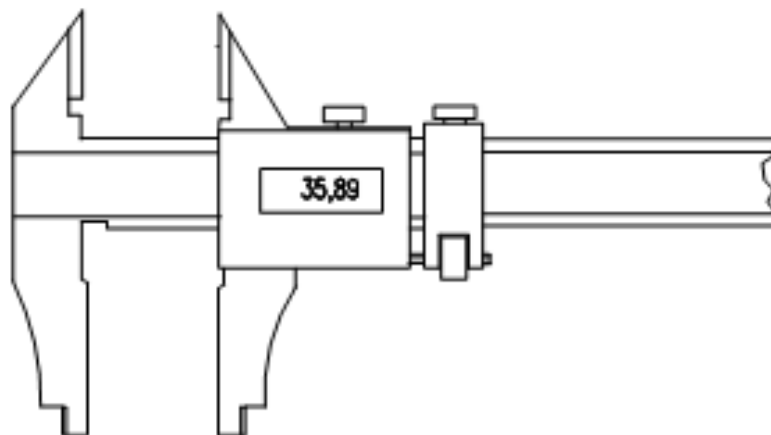
Tipovi pomičnih mjerila za koje se može primijeniti postupak su slijedeći:

Univerzalno pomično mjerilo tipa 1A i 2A prema DIN 862 (slika 14):



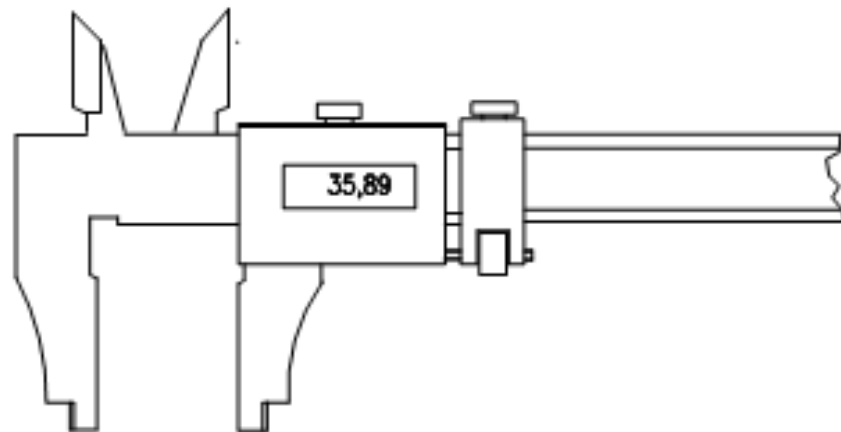
Slika 14. Univerzalno pomično mjerilo [10]

Pomično mjerilo tipa B prema DIN 862 (slika 15):



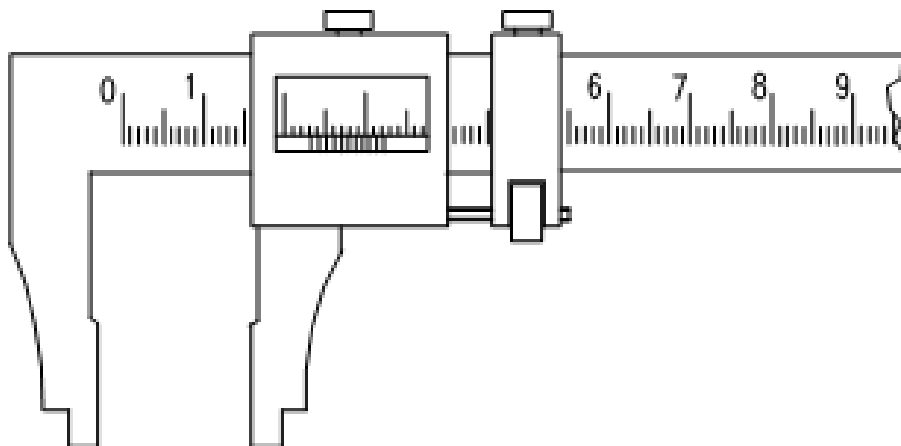
Slika 15. Pomično mjerilo tipa B prema DIN 862 [10]

Pomično mjerilo tipa D prema DIN 862 (slika 16):



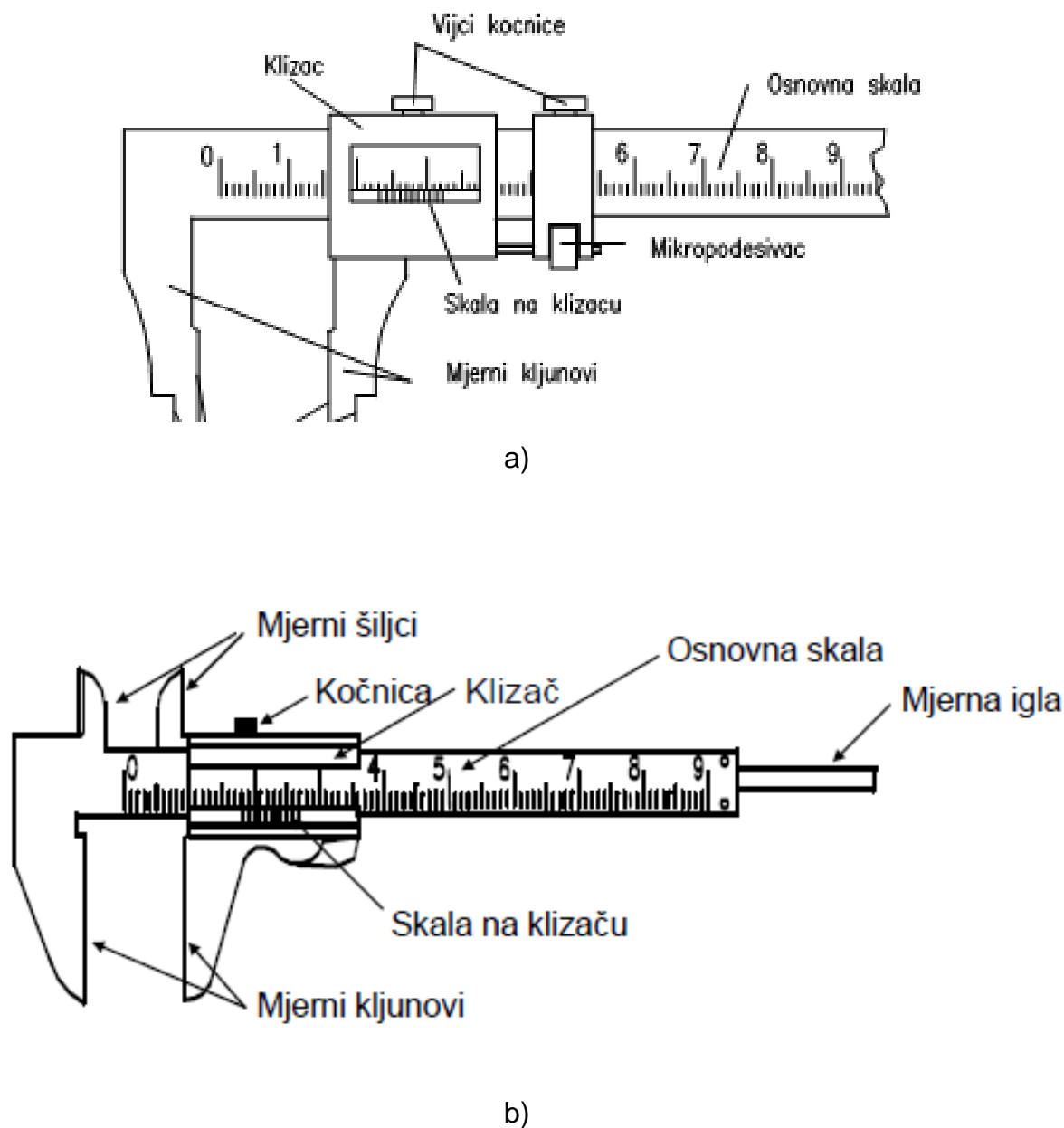
Slika 16. Pomično mjerilo tipa D prema DIN 862 [10]

Pomično mjerilo tipa E prema DIN 862 (slika 17):



Slika 17. Pomično mjerilo tipa E prema DIN 862 [10]

Nazivlje vezano uz sastavne dijelove pomičnog mjerila, a koje će se koristiti u postupku umjeravanja, naznačeno je na slici 18 (a i b):



Slika 18. Sastavni dijelovi pomičnog mjerila [10]

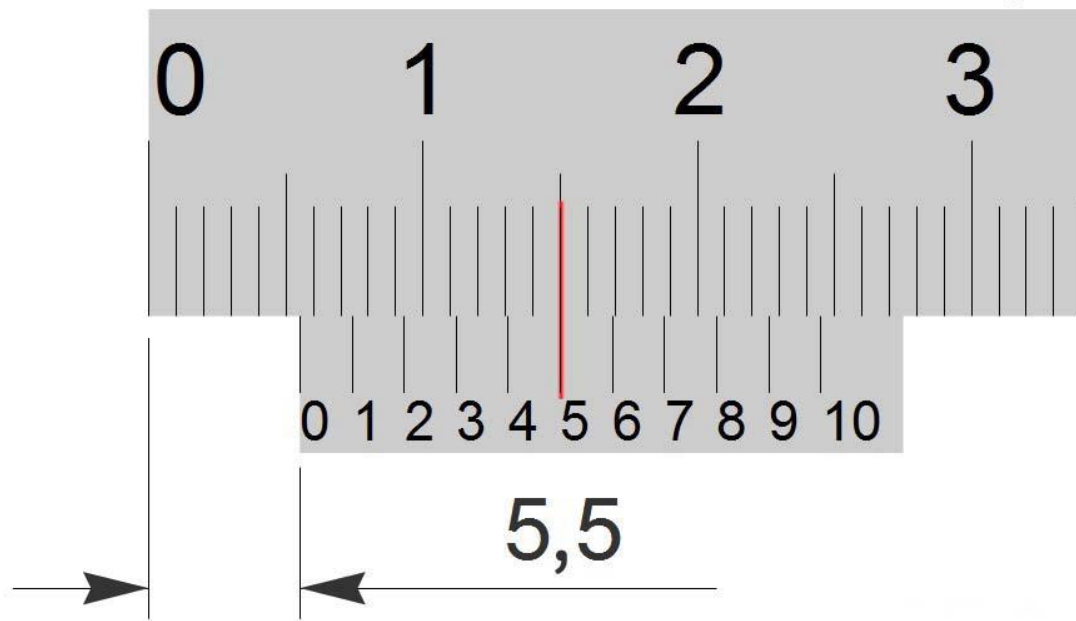
4.1.5 Postupak očitavanja pomičnog mjerila

Mjerenje pomičnim mjerilom uključuje upotrebu dvije skale, osnovne skale i pomične skale. Pomična skala omogućuje očitati mjerenja koja su manja nego intervali između gradacije na osnovnoj skali. To se postiže s manjim razmakom gradacije pomoćne skale nego što je na osnovnoj skali. Da bi postigli valjan rezultat mjerenja treba naći najbližu gradaciju na pomoćnoj skali koja je najbliže poravnata s gradacijom na osnovnoj skali. Primjeri gradacije osnovne i pomoćne skale su prikazani u tablici 2.

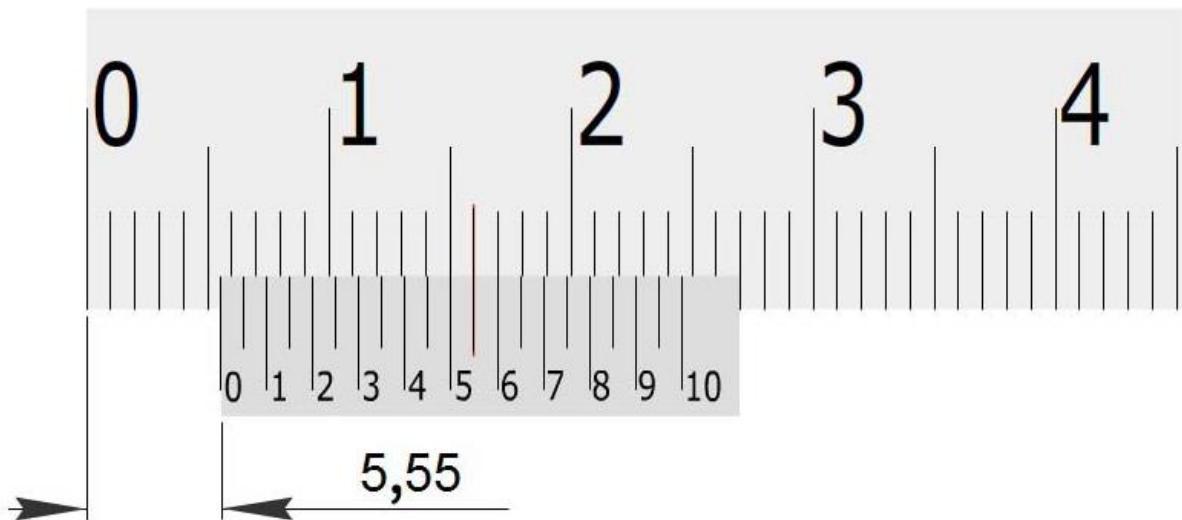
Tablica 2. Gradacije osnovne i pomoćne skale pomičnog mjerila [4]

Podjela osnovne skale	gradacija pomične skale	razlučivost pomične skale
0,5 mm	25 podjela na 12 mm	0,02 mm
	25 podjela na 24,5 mm	0,02 mm
1,0 mm	50 podjela na 49 mm	0,02 mm
	20 podjela na 19 mm	0,05 mm
	20 podjela na 39 mm	0,05 mm

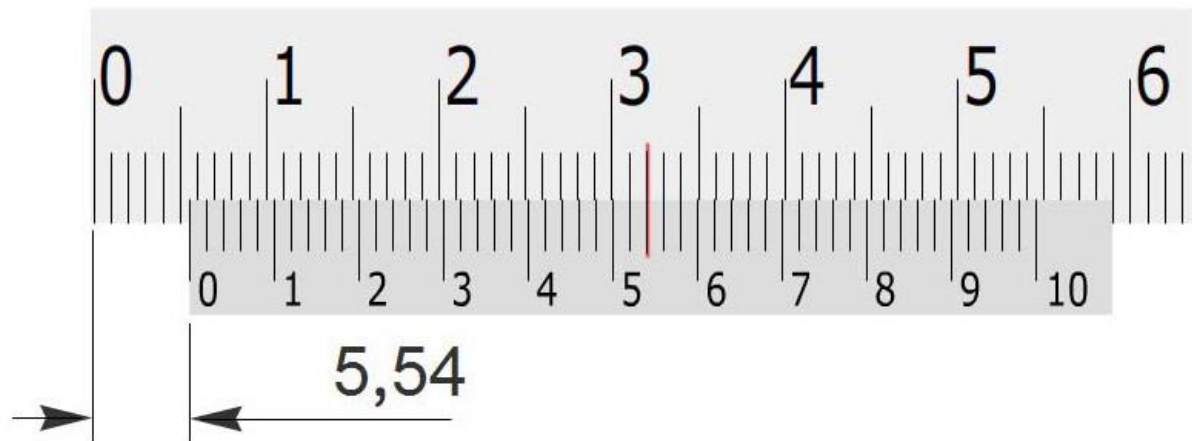
Klasična pomična mjerila mogu imati jednu od tri rezolucije očitavanja (0,1 mm; 0,05 mm ili 0,02 mm), s obzirom na podjelu skale na klizaču mjerila. Digitalna pomična mjerila imaju rezoluciju očitavanja 0,01 mm. Na slikama 19. do 21. prikazan je način određivanja očitavanja na klasičnim pomičnim mjerilima različitih rezolucija.



Slika 19. Prikaz očitavanja na klasičnom pomičnom mjerilu rezolucije 0,1 mm [14]



Slika 20. Prikaz očitavanja na klasičnom pomičnom mjerilu rezolucije 0,05 mm [14]



Slika 21. Prikaz očitavanja na klasičnom pomičnom mjerilu rezolucije 0,02 mm [14]

4.1.6. Priprema za provedbu umjeravanja

Mjerne površine mjerila i uređaja treba očistiti i odstraniti masnoću korištenjem medicinskog benzina, pamučne vate i čiste pamučne krpe.

4.1.7. Prethodna ispitivanja

Potrebno je provjeriti:

- postojanje identifikacijskih oznaka pomičnog mjerila (serijski broj i/ili tvornički broj i/ili interna oznaka donosioca mjerila)
- stanje mjernih površina (korozija, oštećenja, istrošenost i dr.)
- stanje mjernih skala (sve linije skala su dobro uočljive)
- Provjeriti funkcionalnost kočnice
- Provjeriti funkcionalnost mikropodešivača
- Provjeriti ravnomjernost klizanja klizača

Rezultate ispitivanja prema točkama upisati u *Radnu podlogu*.

U slučaju da pomično mjerilo ne zadovoljava zahtjeve, postupak umjeravanja se ne provodi.

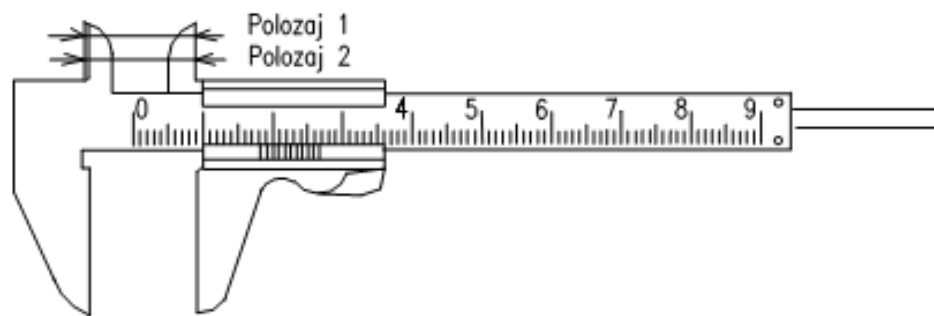
4.1.8. Provedba umjeravanja

Umjeravanje provoditi samo u slučaju ako je temperatura okoliša $20\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$.

4.1.8.1. Mjerenje neparalelnosti mjernih površina

Neparalelnost mjernih površina za unutarnja mjerenja utvrditi mjerenjem udaljenosti mjernih površina primjenom pasametra.

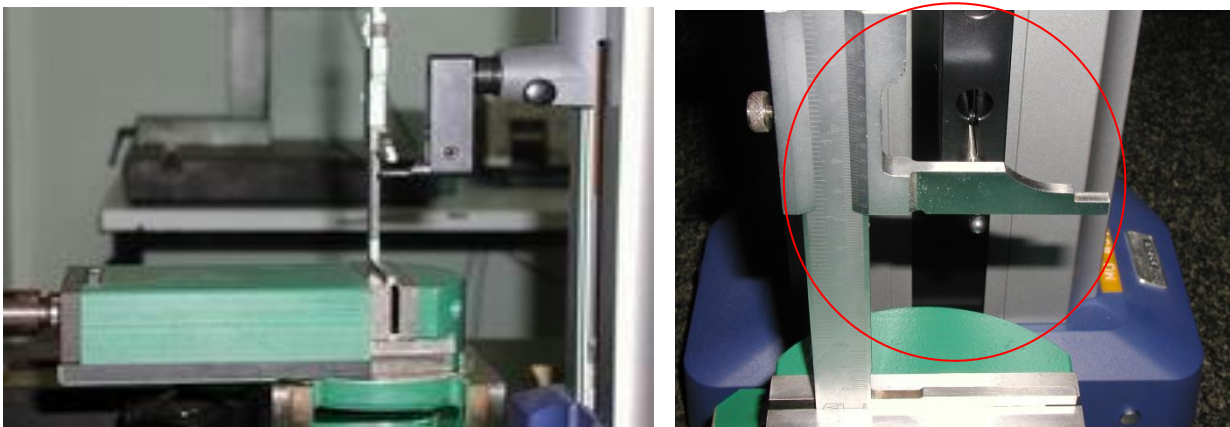
Mjerenje izvršiti na dva mjesta uzduž mjernih površina, a neparalelnost izraziti kao razliku dobivenih rezultata mjerenja (slika 22). Rezultate mjerenja upisati u *Radnu podlogu*.



Slika 22. Mjerenje neparalelnosti površina za unutarnja mjerenja [10]

Neparalelnost mjernih površina za vanjska mjerenja utvrditi mjerenjem udaljenosti mjernih površina (vrh, korijen kljunova) primjenom digitalnog visinomjera, mjerne ploče i stezne naprave (slika 23).

Slika 23. Mjerenje neparalelnosti mjernih površina za vanjska mjerenja [10]



Tablica 3. Mjerna mjesta (pozicije) [10]

Mjerno područje pomičnog mjerila	Vrijednosti u mm
	Mjerna mjesta (pozicije)
0 - 150	0, 30, 70, 100, 150
0 - 200	0, 30, 70, 150, 200
0 - 300	0, 70, 150, 200, 300
0 - 500	0, 70, 150, 300, 500
0 – 1000	0, 250, 500, 750, 1000

Rezultate mjerenja upisati u *Radnu podlogu*.

Za utvrđivanje mjerne pogreške pri unutarnjim mjerenjima izvršiti mjerenje promjera kontrolnog prstena.

Utvrđena razlika izmjerene i referentne vrijednosti je mjerna pogreška.

Rezultate mjerenja upisati u *Radnu podlogu*.

Utvrđivanje mjerne pogreške pri korištenju mjerne igle (pomično mjerilo tipa 1A i 2B) provesti primjenom planparalelnih graničnih mjerki, i mjerne ploče.

Mjerenje provesti u jednom položaju klizača (poželjno u području od 100 do 150 mm).

Rezultate mjerenja upisati u *Radnu podlogu*.

4.1.9. Obrada i prikazivanje rezultata mjerenja

U slučaju da pomično mjerilo ne zadovoljava zahtjeve, korisniku se izdaje samo prva stranica *Radne podloge* gdje se oznaci pridodaje slovna oznaka *PI*.

Radnu podlogu PI potpisuje voditelj Laboratorija.

Po provedenom umjeravanju rezultate treba usporediti sa dopuštenim odstupanjima prema odgovarajućoj normi.

U slučaju da je rezultat mjerenja izvan granica dopuštenih odstupanja, mjerenje treba ponoviti.

Ako se potvrde prethodni rezultati, u *Potvrdi o umjeravanju* korisniku mjerila treba napomenuti da su odstupanja veća od zahtjeva normi.

4.1.10. Proračun za iskazivanje mjerne nesigurnosti

Matematički model mjerenja:

$$E_x = l_{ix} - l_s + \delta l_{ix} + \delta l_m + L_s \cdot \bar{\alpha} \cdot \Delta t, \quad (7.15)$$

gdje je:

- l_{ix} - očitavanje pomičnog mjerila
- l_s - duljina etalona
- $\bar{\alpha}$ - prosječni koeficijent toplinskog širenja pomičnog mjerila i etalona
- Δt - razlika temperatura pomičnog mjerila i etalona
- δl_{ix} - korekcija zbog procijene očitavanja na skali pomičnog mjerila
- δl_m - korekcija zbog mehaničkih utjecaja i Abbeovog principa
- L_s - nominalna duljina etalona

Sastavnice standardne nesigurnosti u postupku umjeravanja pomičnog mjerila prikazane su u Tablicama 4 i 5.

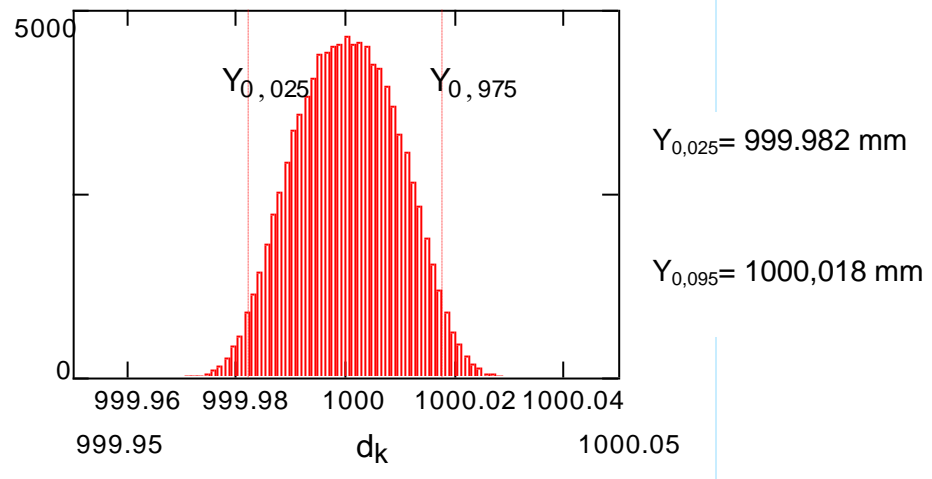
Tablica 4. Sastavnice standardne nesigurnosti u postupcima umjeravanja digitalnog i konvencionalnog pomičnog mjerila rezolucije 0,02 mm [10]

Sastavnica standardne mjerne nesigurnosti	Izvor nesigurnosti	Iznos standardne nesigurnosti	Koeficijent osjetljivosti c_i	Razdioba	Doprinos mjernoj nesigurnosti, μm , L u m
$u(l_{ix})$	Ponovljivost mjerenja	$3,46+3,46 \cdot L \mu\text{m}$	1	Normalna	$3,46+3,46 \cdot L$
$u(l_s)$	Nesigurnost umjeravanja mjerke	$0,1+1 \cdot L_s \mu\text{m}$	1	Normalna	$0,1+1 \cdot L_s$
$u(\Delta t)$	Razlika temperatura	$0,289 \text{ }^\circ\text{C}$	$L \cdot \bar{\alpha}$	Pravokutna	$0,289 \cdot 11,5 L_s$
$u(\delta l_{ix})$	Očitavanje skale	$2,89 \mu\text{m}$	1	Pravokutna	2,89
$u(\delta l_m)$	Abbeova pogreška i mehanički utjecaji	$1,732+2,309 \cdot L \mu\text{m}$	1	Pravokutna	$1,732+2,309 \cdot L$
Sastavljena mjerna nesigurnost u_c :		$u_c=(4,8+4,5L) \mu\text{m}$, L u m			
Linearizirana proširena mjerna nesigurnost U , $k=2$, $P=95\%$:		$U=(10,0+9,0L) \mu\text{m}$, L u m			

Tablica 5. Sastavnice standardne nesigurnosti u postupcima umjeravanja pomičnog mjerila [10]

Sastavnica standardne mjerne nesigurnosti	Izvor nesigurnosti	Iznos standardne nesigurnosti	Koeficijent osjetljivosti i_{c_i}	Razdioba	Doprinos mjernoj nesigurnosti, μm , L u m
$u(l_{ix})$	Ponovljivost mjerenja	$3,46+3,46 \cdot L \mu\text{m}$	1	Normalna	$3,46+3,46 \cdot L$
$u(l_z)$	Nesigurnost umjeravanja mjerke	$0,1+1 \cdot L_s \mu\text{m}$	1	Normalna	$0,1+1 \cdot L_s$
$u(\Delta t)$	Razlika temperatura	$0,289 \text{ } ^\circ\text{C}$	$L \cdot \bar{\alpha}$	Pravokutna	$0,289 \cdot 11,5 L_s$
$u(\delta l_{ix})$	Očitanje skale	$5,773 \mu\text{m}$	1	Pravokutna	$5,773$
$u(\delta l_m)$	Abbeova pogreška i mehanički utjecaji	$1,732+2,309 \cdot L \mu\text{m}$	1	Pravokutna	$1,732+2,309 \cdot L$
Sastavljena mjerna nesigurnost u_c :			$u_c=(7,0+3,5L) \mu\text{m}$, L u m		
Linearizirana proširena mjerna nesigurnost U , $k=2$, $P=95\%$:			$U=(14,0+7,0L) \mu\text{m}$, L u m		

Funkcije gustoće vjerojatnosti za navedena pomična mjerila prikazane su slikama 25. i 26.

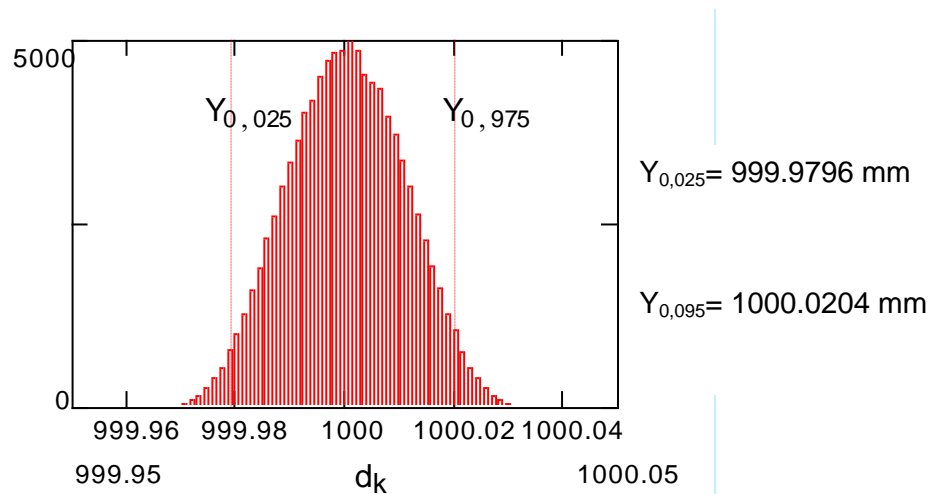


Slika 25. Funkcija gustoće vjerojatnosti $g(L_x)$ za pomično mjerilo rezolucije 0,02 mm i mjernog područja 1000 mm [10]

Procijenjeno standardno odstupanje izlazne veličine $g(L_x)$ za pomično mjerilo rezolucije 0,02 mm i mjernog područja 1000 mm iznosi 1,42 μm .

Izlazna veličina nalazi se unutar intervala:

$$(Y_{0,025} = 999,982 \text{ mm}; Y_{0,975} = 1000,018 \text{ mm}) \text{ uz } P = 95\%.$$



Slika 26. Funkcija gustoće vjerojatnosti $g(L_x)$ za pomično mjerilo mjernog područja 1000 mm i rezolucija 0,05 mm i 0,1 mm [10]

Procijenjeno standardno odstupanje izlazne veličine $g(L_x)$ za pomično mjerilo mjernog područja 1000 mm i rezolucija 0,05 mm i 0,1 mm iznosi 10,6 μm .

Izlazna veličina nalazi se unutar intervala:

$$(Y_{0,025} = 999,9796 \text{ mm}; Y_{0,975} = 1000,0204 \text{ mm}) \text{ uz } P = 95\%.$$

Proširena mjerna nesigurnost:

Digitalna i konvencionalna pomična mjerila rezolucije 0,02 mm:

$$U = (10+9L) \mu\text{m}, L \text{ u m}; k = 2, P = 95\%$$

Pomična mjerila rezolucije 0,05 mm i 0,1 mm:

$$U = (14+7L) \mu\text{m}, L \text{ u m}; k = 2, P = 95\%$$

4.2. POSTUPAK ZA UMJERAVANJE MIKROMETARA ZA VANJSKA MJERENJA [11]

4.2.1. Područje primjene

Postupak je namijenjen ispitivanju mikrometra za vanjska mjerenja mjernog područja od 0 mm do 500 mm.

Prema ovom postupku nema razlike u postupku umjeravanja mikrometra s konvencionalnim mjernim skalama i mikrometra s digitalnim očitanjem.

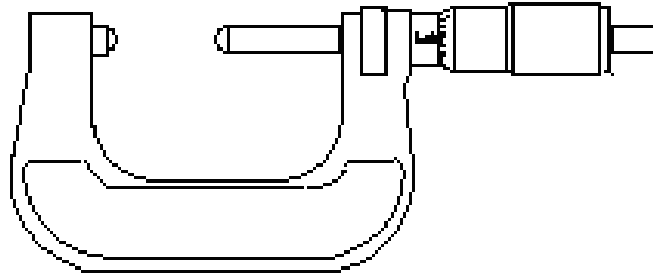
Tipovi mikrometra za koje se može primijeniti ovaj postupak provjere mikrometra za vanjska mjerenja su slijedeći:

Mikrometar za vanjska mjerenja sa ravnim mjernim površinama (slika 27):



Slika 27. Mikrometar za vanjska mjerenja sa ravnim mjernim površinama [11]

Mikrometar za vanjska mjerenja s kuglastim mjernim površinama (slika 28):



Slika 28. Mikrometar za vanjska mjerenja s kuglastim mjernim površinama [11]

Mikrometar za vanjska mjerenja s nožastim mjernim površinama, (slika 29):



Slika 29. Mikrometar za vanjska mjerenja s nožastim mjernim površinama [11]

Mikrometar s tanjurićima, (slika 30):



Slika 30. Mikrometar sa tanjurićima [11]

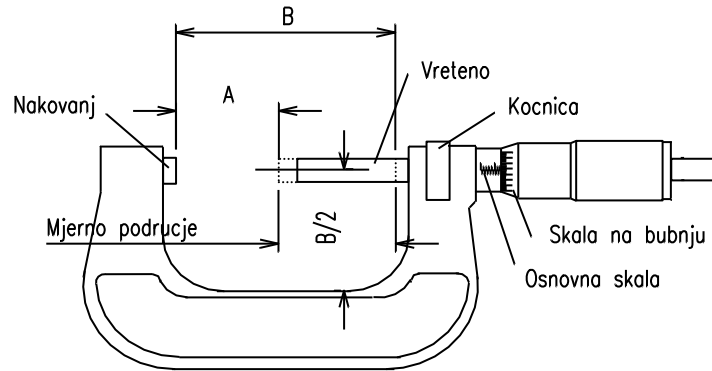
Mikrometar za vanjska mjerenja s promjenjivim nakovnjem, (slika 31):



Slika 31. Mikrometar za vanjska mjerenja s promjenjivim nakovnjem [11]

4.2.2. Nazivlje

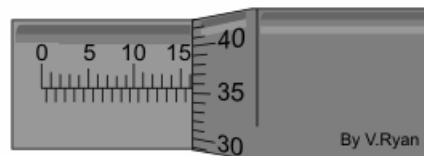
Nazivlje vezano uz sastavne dijelove mikrometra za vanjska mjerenja, a koje će se koristiti u ovom postupku, naznačeno je na slici 32.



Slika 32. Sastavni dijelovi mikrometra za vanjska mjerenja [11]

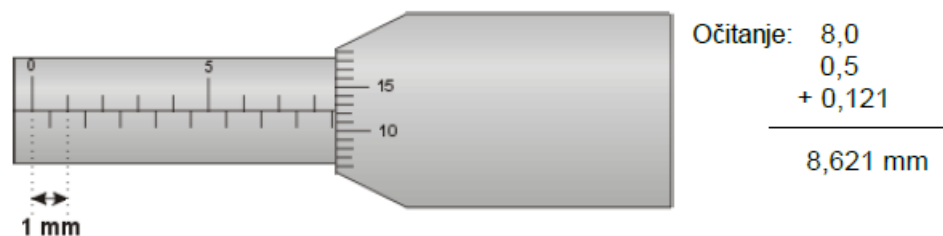
Klasični mikrometar ima rezoluciju očitavanja 0,01 mm, a treće decimalno mjesto se procjenjuje. Digitalni mikrometri imaju rezoluciju očitavanja 0,001 mm.

Na slikama 33. i 34. prikazan je način određivanja očitavanja na klasičnom mikrometru.



$$\begin{array}{r} \text{Očitavanje: } 16,0 \\ + 0,355 \\ \hline 16,355 \text{ mm} \end{array}$$

Slika 33. Prikaz očitavanja na klasičnom mikrometru [14]



$$\begin{array}{r} \text{Očitavanje: } 8,0 \\ 0,5 \\ + 0,121 \\ \hline 8,621 \text{ mm} \end{array}$$

Slika 34. Prikaz očitavanja na klasičnom mikrometru [14]

4.2.3. Priprema za provedbu umjeravanja

Mjerne površine treba očistiti, te odstraniti masnoću korištenjem medicinskog benzina, pamučne vate i čiste pamučne krpe.

4.2.4. Prethodna ispitivanja

Potrebno je provjeriti:

- postojanje identifikacijskih oznaka mikrometra (serijski broj i/ili tvornički broj i/ili interna oznaka donosioca mjerila).
- stanje mjernih površina (korozija, oštećenja, istrošenost i dr.).
- stanje mjernih skala (linije i brojevi dobro uočljivi).
- funktionalnost kočnice.
- ravnomjernost okretanja vretena duž cijelog mjernog područja.
- Podesiti mikrometar na 0.

Rezultate ispitivanja prema točkama upisati u *Radnu podlogu*.

U slučaju da mikrometar ne zadovoljava zahtjeve, postupak umjeravanja se ne provodi.

4.2.5. Provedba umjeravanja

Umjeravanje provoditi samo u slučaju ako je temperatura okoliša $20\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$.

4.2.5.1 Provjera mjerne sile

Primjenom naprave sa nastavcima za mjerenje sile provjeriti iznos mjerne sile. Utvrđeni iznos mjerne sile mikrometra upisati u *Radnu podlogu*.

4.2.5.2. Mjerenje neravnosti mjernih površina

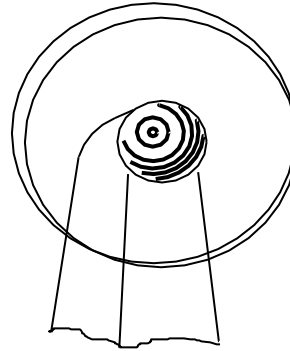
Mjerenje neravnosti mjernih površina (samo za mikrometre) provesti primjenom kontrolnog stakla RET 23-100, (slika 35).

Primjer na slici:

Broj interferencijskih kolobara (pruga)

$$k = 5$$

$$\text{Neravnost} = k \times 0,3 = 1,5 \mu\text{m}$$



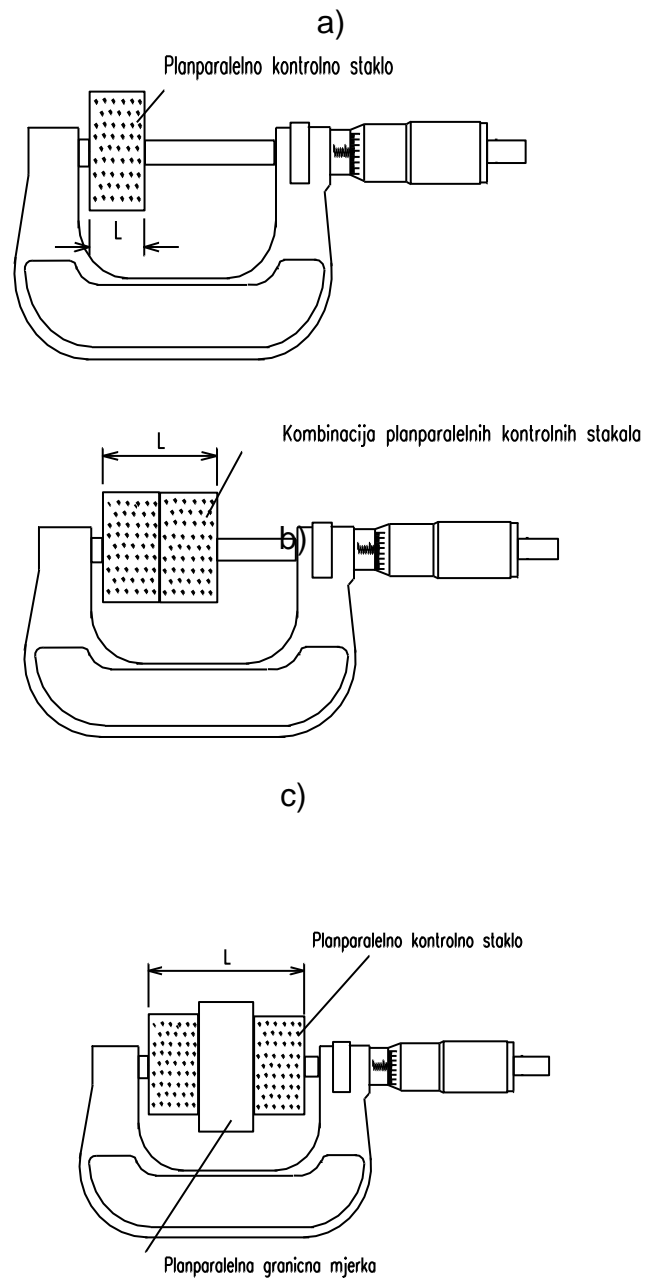
Slika 35. Mjerenje neravnosti mjernih površina [11]

Očitati broj interferencijskih pruga na mjernoj površini nakovnja, odnosno mjernoj površini vretena.

Utvrđeni broj interferencijskih pruga za mjernu površinu nakovnja, odnosno mjernu površinu vretena pomnožiti sa $0,3 \mu\text{m}$, te iznos upisati u *Radnu podlogu* i usporediti s dopuštenim odstupanjem od ravnoće.

4.2.5.3. Mjerenje neparalelnosti mjernih površina

Za mikrometre ovisno o mjernom području, mjerenje neparalelnosti mjernih površina provesti primjenom planparalelnih kontrolnih stakala (slika 36 a), primjenom kombinacije planparalelnih kontrolnih stakala (slika 36 b) ili primjenom kombinacije planparalelnih graničnih mjerki i planparalelnih kontrolnih stakala (slika 36 c).



Slika 36 a, b i c Mjerenje neparalelnosti mjernih površina [11]

Osigurati da se mjerenje neparalelnosti provede za približno svaku četvrtinu okretaja vretena mikrometra.

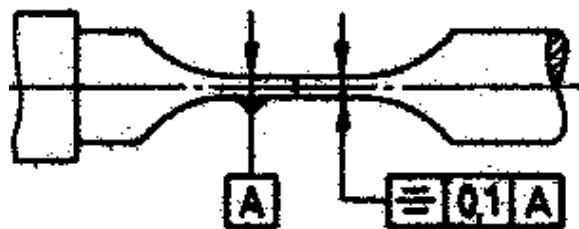
Brojanje interferencijskih pruga na mjernoj površini nakovnja i mjernoj površini vretena provesti u položaju stakla koji na jednoj od površina mikrometra rezultira najmanjim brojem pruga (postići laganim kružnim pomicanjem stakla).

Dobiveni broj pruga množiti sa $0,3 \mu\text{m}$ kako bi se dobio iznos odstupanja od paralelnosti. Utvrđene vrijednosti upisati u *Radnu podlogu*.

Mjerenje neparalelnosti mjernih površina provoditi za mikrometre mjernog područja do uključivo 100 mm.

4.2.5.4. Mjerenje nesimetričnosti položaja mjernih površina

Za mikrometre za vanjska mjerenja s kuglastim mjernim površinama (slika 28) izvršiti mjerenje nesimetričnosti mjernih površina u odnosu na os mikrometra (os vretena) uz primjenu Univerzalnog mjernog mikroskopa (slika 37).



Slika 37. Definicija simetričnog položaja mjernih površina mikrometra za vanjska mjerenja s nožastim mjernim površinama [11]

Utvrđiti položaj simetrane nakovnja i vretena. Razlika u položajima simetrana je nesimetričnost mjernih površina.

Utvrđenu vrijednost upisati u *Radnu podlogu*.

4.2.6. Mjerna pogreška F

Razlika izmjerene vrijednosti planparalelne granične mjerke i nazivne vrijednosti je mjerna pogreška F mikrometra u određenoj točki.

Utvrđivanje mjerne pogreške F provesti u raznim točkama (najmanje 9) mjernog područja mikrometra. Preporučuje se primjena graničnih mjerki GMD 11-351 i/ili GMD 10-302 sa GMD 12-356 (kombinacija graničnih mjerki) slijedećih dužina:

A; A+2,5; A+5,1; A+7,7; A+10,3; A+12,9; A+15,0; A+17,6; A+20,2; A+22,8 i A+25 mm

(A - donja granica mjernog područja mikrometra).

Mjerenje u svakoj točki ponoviti po dva puta, te izračunati pripadne aritmetičke sredine (pogreška F).

Prilikom utvrđivanja mjerne pogreške mikrometar postaviti u odgovarajući stalak za mikrometre.

Utvrđene iznose mjernih pogrešaka, upisati u *Radnu podlogu*.

Vrijednost f_{max} računati kao raspon vrijednosti mjernih pogrešaka F , te izračunat iznos upisati u *Radnu podlogu*.

4.2.7. Obrada i prikazivanje rezultata mjerenja

U slučaju da mikrometar ne zadovoljava zahtjeve, korisniku se izdaje samo prva stranica *Radne podloge* gdje se oznaci pridodaje slovna oznaka *PI*. *Radnu podlogu PI* potpisuje voditelj Laboratorija.

Po provedenom umjeravanju rezultate treba usporediti sa dopuštenim odstupanjima prema odgovarajućoj normi. U slučaju da je rezultat mjerenja izvan granica dopuštenih odstupanja, mjerenje treba ponoviti.

Ako se potvrde prethodni rezultati, u *Potvrdi o umjeravanju* korisniku mjerila treba napomenuti da su odstupanja veća od zahtjeva normi.

4.2.8. Proračun za iskazivanje mjerne nesigurnosti

Matematički model mjerenja:

$$E_x = l_{ix} - l_s + \delta l_{ix} + \delta l_m + \delta l_0 + L_s \cdot \bar{\alpha} \cdot \Delta t \quad (11.16)$$

gdje je:

- l_{ix} - očitavanje mikrometra
- l_s - duljina etalona
- $\bar{\alpha}$ - prosječni koeficijent toplinskog širenja mikrometra i etalona
- Δt - razlika temperatura mikrometra i etalona
- δl_{ix} - korekcija zbog procijene očitavanja na skali mikrometra
- δl_m - korekcija zbog mehaničkih utjecaja
- δl_0 - korekcija zbog postavljanja na nulu
- L_s - nominalna duljina etalona

Sastavnice standardne nesigurnosti u postupku umjeravanja mikrometara za vanjska mjerenja prikazane su u Tablicama 6. i 7.

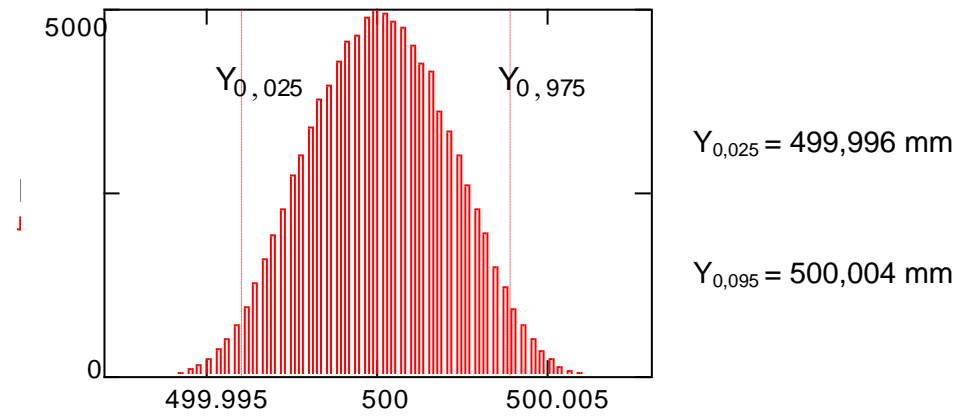
Tablica 6. Sastavnice standardne nesigurnosti u postupcima umjeravanja mikrometra za vanjska mjerenja rezolucije 0,01 mm [11]

Sastavnica standardne mjerne nesigurnosti	Izvor nesigurnosti	Iznos standardne nesigurnosti	Koeficijent osjetljivosti c_i	Razdioba	Doprinos mjernoj nesigurnosti, μm , L u m
$u(l_{ix})$	Mjerna ponovljivost	0,289 μm	1	Normalna	0,289
$u(L_{ref})$	Duljina etalona	0,46 μm	-1	Normalna	-0,46
$u(\Delta t)$	Razlika temperatura	0,173 $^{\circ}\text{C}$	$L_x \cdot \bar{\alpha}$	Pravokutna	0,173-11,5 L_x
$u(\delta l_{ix})$	Očitanje skale	0,578 μm	1	Pravokutna	0,578
$u(\delta l_m)$	Mehanički utjecaji	0,578+1,73 L μm	1	Pravokutna	0,578+1,73 L
$u(l_0)$	Postavljanje na nulu	0,578 μm	1	Pravokutna	0,578
Sastavljena mjerna nesigurnost u_c :			$u_c=(1,0+2,0L)$ μm , L u m		
Linearizirana proširena mjerna nesigurnost U, $k=2$, $P=95\%$:			$U = (2,0+4,0L)$ μm, L u m		

Tablica 7. Sastavnice standardne nesigurnosti u postupcima umjeravanja mikrometra za vanjska mjerenja rezolucije 0,001 mm [11]

Sastavnica standardne mjerne nesigurnosti	Izvor nesigurnosti	Iznos standardne nesigurnosti	Koeficijent osjetljivosti c_i	Razdioba	Doprinos mjernoj nesigurnosti, μm , L u m
$u(l_{ix})$	Mjerna ponovljivost	0,173 μm	1	Normalna	0,173
$u(L_{ref})$	Duljina etalona	0,46 μm	-1	Normalna	-0,46
$u(\Delta t)$	Razlika temperatura	0,173 $^{\circ}\text{C}$	$L_x \cdot \bar{\alpha}$	Pravokutna	0,173-11,5 L_x
$u(\delta l_{ix})$	Očitanje skale	0,145 μm	1	Pravokutna	0,145
$u(\delta l_m)$	Mehanički utjecaji	0,578+1,73 L μm	1	Pravokutna	0,578+1,73 L
$u(l_0)$	Postavljanje na nulu	0,173 μm	1	Pravokutna	0,173
Sastavljena mjerna nesigurnost u_c :			$u_c=(0,6+2,5L)$ μm , L u m		
Linearizirana proširena mjerna nesigurnost U, $k=2$, $P=95\%$:			$U = (1,2+5,0L)$ μm, L u m		

Funkcije gustoće vjerojatnosti za navedene mikrometre prikazane su slikama 38. i 39.

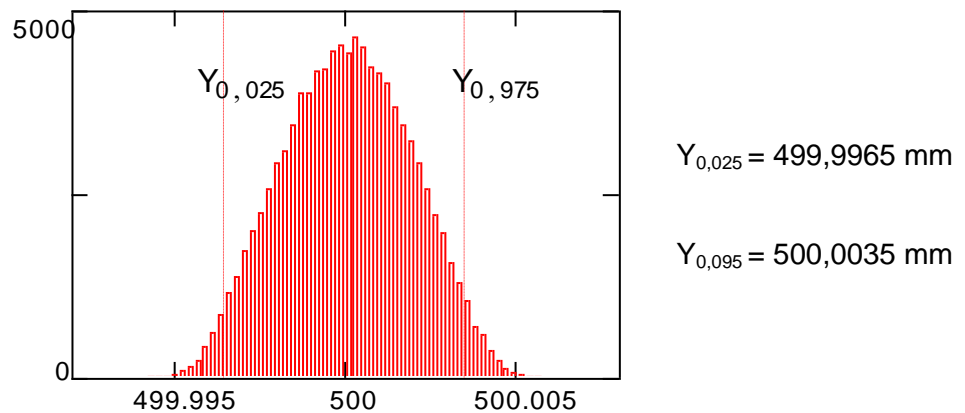


Slika 38. Funkcija gustoće vjerojatnosti $g(L_x)$ mikrometra za vanjska mjerenja mjernog područja 500 mm i rezolucije 0,01 mm [11]

Procijenjeno standardno odstupanje izlazne veličine $g(L_{dx})$ za mikrometar rezolucije 0,01 mm i mjernog područja do 500 mm iznosi 2,05 μm .

Izlazna veličina nalazi se unutar intervala:

$$(Y_{0,025} = 499,9965 \text{ mm}; Y_{0,095} = 500,0035 \text{ mm}), P=95 \text{ \%}.$$



Slika 39. Funkcija gustoće vjerojatnosti $g(L_x)$ mikrometra za vanjska mjerenja mjernog područja do 500 mm i rezolucija 0,001 mm [11]

Procijenjeno standardno odstupanje izlazne veličine $g(L_x)$ za mikrometar rezolucije 0,001 mm i mjernog područja do 500 mm iznosi 1,88 μm .

Izlazna veličina nalazi se unutar intervala:

$$(Y_{0,025} = 499,9965 \text{ mm}; Y_{0,095} = 500,0035 \text{ mm}), P = 95 \%$$

Proširena mjerna nesigurnost:

Mikrometar rezolucije 0,01 mm:

$$U = (2,0+4,0L) \mu\text{m}, L \text{ u m}; k=2, P = 95\%$$

Mikrometar rezolucije 0,001 mm:

$$U = (1,2+5,0L) \mu\text{m}, L \text{ u m}; k=2, P = 95\%$$

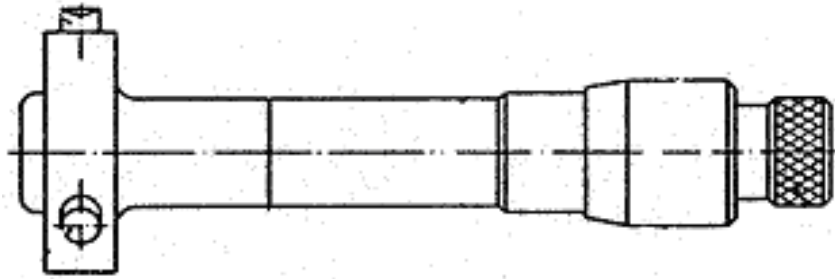
4.3. POSTUPAK ZA UMJERAVANJE TROKRAKIH MIKROMETARA [12]

4.3.1. Područje primjene

Postupak je namijenjen umjeravanju trokrakih mikrometara za unutrašnja mjerenja mjernog područja do 200 mm.

Prema ovom postupku nema razlike u umjeravanju trokrakih mikrometara s konvencionalnim mjernim skalama u odnosu na trokrake mikrometre s digitalnim očitanjem.

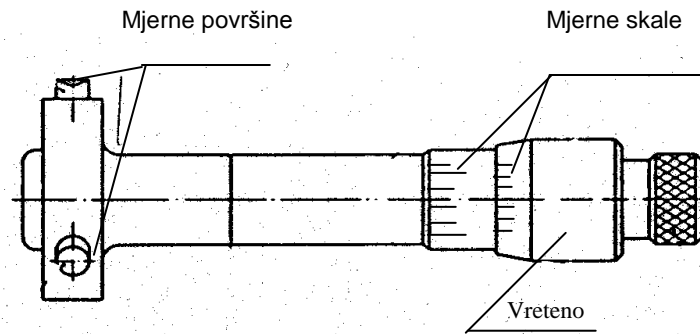
Tip mikrometara za koje se može primijeniti postupak umjeravanja prikazan je na slici 40.



Slika 40. Trokraki mikrometar za provrte [12]

4.3.2. Nazivlje

Nazivlje vezano uz sastavne elemente trokrakih mikrometara, a koje će se koristiti u ovom postupku, naznačeno je na slici 41.



Slika 41. Sastavni dijelovi trokrakog mikrometra [12]

4.3.3. Priprema za provedbu umjeravanja

Mjerne površine graničnih mjerila za provrte očistiti korištenjem medicinskog benzina ili trikloretilena, pamučne vate i meke četkice. Nakon čišćenja mjerne površine obrisati jelenjom kožom.

4.3.4. Prethodna ispitivanja

Potrebno je provjeriti:

- postojanje identifikacijskih oznaka mikrometra (serijski broj i/ili tvornički broj i/ili interna oznaka donosioca mjerila)
- stanje mjernih površina (korozija, istrošenost, oštećenja i dr.)
- stanje mjernih skala (sve linije skala su dobro uočljive).
- funkcionalnost kočnice
- ravnomjernost okretanja vretena duž cijelog mjernog područja.

Rezultate ispitivanja upisati u *Radnu podlogu*.

U slučaju da mikrometar ne zadovoljava zahtjeve, postupak umjeravanja se ne provodi.

4.3.5. Provedba umjeravanja

Umjeravanje provoditi samo u slučaju ako je temperatura okoliša $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}$.

Podesiti trokraki mikrometar na vrijednost donje/gornje granice mjernog područja. Mikrometar podesiti sa referencijskim prstenom, oznaka RET 50-130 ... RET 116-223.

4.3.5.1. Utvrđivanje pogreške f_{max}

Pogreška f_{max} je razlika aritmetičkih sredina najvećeg i najmanjeg odstupanja mikrometra dobivenih mjerenjem niza pet kontrolnih prstenova.

Mjerenje kontrolnih prstenova (pronalaženje pogreške mjerenja mikrometra) ponoviti tri puta. Očitavanja vršiti uz primjenu lupe sa osvjetljenjem.

Promjere kontrolnih prstenova odabrati tako da su su jednoliko raspoređeni duž mjernog područja mikrometra.

Rezultate mjerenja upisati u *Radnu podlogu*.

4.3.5.2. Ponovljivosti mjerenja f_w

Ponovljivost rezultata mjerenja utvrđuje se ponavljanjem mjerenja kontrolnog prstena (5 puta). Utvrđen raspon 5 očitavanja predstavlja je ponovljivost mjerenja.

Rezultate mjerenja upisati u *Radnu podlogu*.

4.3.6. Obrada i prikazivanje rezultata mjerenja

U slučaju da mikrometar ne zadovoljava zahtjeve, korisniku se izdaje samo prva stranica *Radne podloge* gdje se oznaci pridodaje slovna oznaka *PI*.

Radnu podlogu PI potpisuje voditelj Laboratorija.

Po provedenom umjeravanju rezultate treba usporediti sa dopuštenim odstupanjima prema odgovarajućoj normi.

U slučaju da je rezultat mjerenja izvan granica dopuštenih odstupanja, mjerenje treba ponoviti.

Ako se potvrde prethodni rezultati, u *Potvrdi o umjeravanju* korisniku mjerila treba napomenuti da su odstupanja veća od zahtjeva normi.

4.3.7. Proračun za iskazivanje mjerne nesigurnosti

Matematički model mjerenja:

$$E_x = d_{ix} - d_s + \delta d_{ix} + \delta d_m + \delta d_0 + D_s \cdot \bar{\alpha} \cdot \Delta t, \quad (9.16)$$

gdje je:

d_{ix} - očitavanje mikrometra

d_s - promjer etalonskog prstena

$\bar{\alpha}$ - prosječni koeficijent toplinskog širenja mikrometra i etalonskog prstena

Δt - razlika temperatura mikrometra i etalonskog prstena

δd_{ix} - korekcija zbog procijene očitavanja na skali mikrometra

δd_m - korekcija zbog mehaničkih utjecaja

δd_0 - korekcija zbog postavljanja na nulu

D_s - nominalna duljina etalonskog prstena

Sastavnice standardne nesigurnosti u postupku umjeravanja trokrakih mikrometara prikazane su u tablicama 8. i 9.

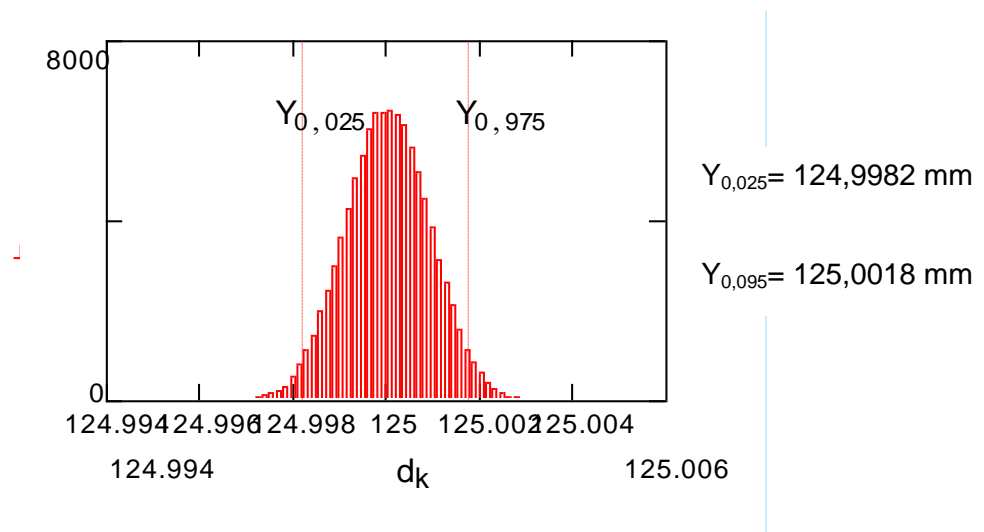
Tablica 8. Sastavnice standardne nesigurnosti u postupcima umjeravanja digitalnog mikrometra rezolucije 0,001 mm [12]

Sastavnica standardne mjerne nesigurnosti	Izvor nesigurnosti	Iznos standardne nesigurnosti	Koeficijent osjetljivosti c_i	Razdioba	Doprinos mjernoj nesigurnosti, μm , L u m
$u(d_{ix})$	Mjerna ponovljivost	0,173 μm	1	Normalna	0,173
$u(d_s)$	Promjer etalonskog prstena	0,3+0,35 L_s μm	1	Normalna	0,3+0,35 L_s
$u(\Delta t)$	Razlika temperatura	0,173 $^{\circ}\text{C}$	$L_x \cdot \bar{\alpha}$	Pravokutna	0,173-11,5 L_s
$u(\delta d_{ix})$	Očitanje skale	0,145 μm	1	Pravokutna	0,145
$u(\delta d_m)$	Mehanički utjecaji	0,578+1,73 L μm	1	Pravokutna	0,578+1,73 L
$u(d_0)$	Postavljanje na nulu	0,173 μm	1	Pravokutna	0,173
Sastavljena mjerna nesigurnost u_c :			$u_c=(0,72 +1,84L)$ μm , L u m		
Linearizirana proširena mjerna nesigurnost U, $k=2$, $P=95\%$:			$U = (1,5 +4,0L)$ μm, L u m		

Tablica 9. Sastavnice standardne nesigurnosti u postupcima umjeravanja mikrometra rezolucije 0,01 mm [12]

Sastavnica standardne mjerne nesigurnosti	Izvor nesigurnosti	Iznos standardne nesigurnosti	Koeficijent osjetljivosti c_i	Razdioba	Doprinos mjernoj nesigurnosti, μm , L u m
$u(d_{ix})$	Mjerna ponovljivost	0,289 μm	1	Normalna	0,289
$u(d_s)$	Promjer etalonskog prstena	0,3+0,35 L_s μm	1	Normalna	0,3+0,35 L_s
$u(\Delta t)$	Razlika temperatura	0,173 $^{\circ}\text{C}$	$L_x \cdot \bar{\alpha}$	Pravokutna	0,173-11,5 L_s
$u(\delta d_{ix})$	Očitanje skale	0,578 μm	1	Pravokutna	0,578
$u(\delta d_m)$	Mehanički utjecaji	0,578+1,73 L μm	1	Pravokutna	0,578+1,73 L
$u(d_0)$	Postavljanje na nulu	0,578 μm	1	Pravokutna	0,578
Sastavljena mjerna nesigurnost u_c :			$u_c=(1,1+1,33L)$ μm , L u m		
Linearizirana proširena mjerna nesigurnost U, $k=2$, $P=95\%$:			$U = (2,2+3,0L)$ μm, L u m		

Funkcije gustoće vjerojatnosti za navedene mikrometre prikazane su slikama 42 i 43.

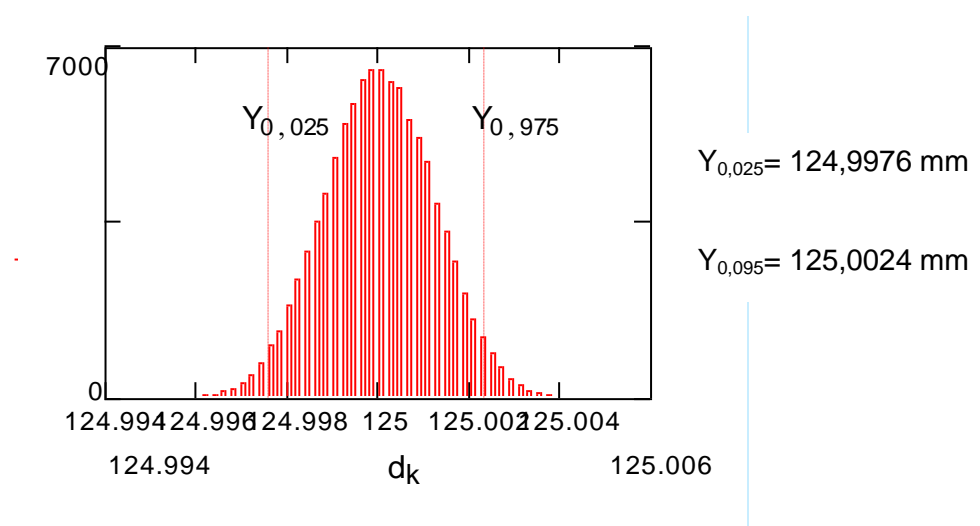


Slika 42. Funkcija gustoće vjerojatnosti $g(d_x)$ za mikrometar rezolucije 0,001 mm i mjernog područja 125 mm [12]

Procijenjeno standardno odstupanje izlazne veličine $g(d_x)$ za mikrometar rezolucije 0,001 mm i mjernog područja 125 mm iznosi 0,91 μm .

Izlazna veličina nalazi se unutar intervala:

$$(Y_{0,025} = 124,9982 \text{ mm}; Y_{0,095} = 125,0018 \text{ mm}), P=95 \text{ \%}.$$



Slika 43. Funkcija gustoće vjerojatnosti $g(d_x)$ za mikrometar rezolucije 0,01 mm i mjernog područja 125 mm [12]

Procijenjeno standardno odstupanje izlazne veličine $g(d_x)$ za mikrometar rezolucije 0,01 mm i mjernog područja 125 mm iznosi 1,22 μm .

Izlazna veličina nalazi se unutar intervala:

$$(Y_{0,025} = 124,9976 \text{ mm}; Y_{0,095} = 500,0024 \text{ mm}), P=95 \%$$

Proširena mjerna nesigurnost:

Trokraki mikrometar rezolucije 0,001 mm:

$$U = (1,5+4,0L) \mu\text{m}, L \text{ u m}; k=2, P=95\%$$

Trokraki mikrometar rezolucije 0,01 mm:

$$U = (2,2+3,0L) \mu\text{m}, L \text{ u m}; k=2, P=95\%$$

4.4. POSTUPAK ZA UMJERAVANJE KOMPARATORA [7]

4.4.1. Područje primjene

Komparator je precizni mjerni instrument koji se koristi za kontrolu grešaka oblika predmeta kao i za uporedna mjerenja (utvrđivanje razlike) mjera predmeta koji se kontrolira i odabranog etalona.

Komparator pokazuje odstupanje od mjere, a ne samu mjeru. Često se kontroliraju odstupanja od oblika i položaja obradenih površina: kružnost, pravocrtost, ravnost, paralelnost, okomitost, kružnost i ravnost vrtnje.

Postupak je namijenjen umjeravanju komparatora mjernog područja do ± 1 mm s rezolucijom od 5 μm , 2 μm , 1 μm ili 0,5 μm .

4.4.2. Nazivlje

Nazivlje vezano uz sastavne elemente komparatora, a koje će se koristiti u ovom postupku, naznačeno je na slici 44.



Slika 44. Sastavni dijelovi komparatora [7]

4.4.3. Priprema za provedbu umjeravanja

Mjerne površine treba očistiti i odstraniti masnoću korištenjem medicinskog benzina, pamučne vate i čiste pamučne krpe. Čišćenje (pranje) provodi se u prostoriji A-102-1.

4.4.4. Prethodna ispitivanja

Potrebno je provjeriti:

- postojanje identifikacijskih oznaka (proizvođač, serijski broj, mjerno područje, vrijednost podjele)
- stanje mjernih skala (crte podjele, brojevi dobro uočljivi)
- izmjenjivost mjernih kapica
- funkcionalnu ispravnost tolerancijskih indikatora
- ravnomjernost kretanja kazaljki, odnosno kretanja mjernog ticala
- postavljanje nultog položaja zakretanjem mjerne skale
- ispitivanja prema točkama upisati u *Radnu podlogu*

U slučaju da komparator ne zadovoljava zahtjeve, postupak umjeravanja se ne provodi.

4.4.5. Provedba umjeravanja

Umjeravanje provoditi samo u slučaju ako je temperatura okoliša $20\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$.

4.4.5.1 Utvrđivanje mjerne pogreške komparatora

Utvrđivanje pogreške komparatora provodi se na uređaju za ispitivanje mjernih ura.

Ako komparator ima rezoluciju $\leq 1\text{ }\mu\text{m}$, mjerenje se vrši korištenjem univerzalnog uređaja za mjerenje duljina.

Utvrđivanje pogreške komparatora vršiti u koracima od 10 podjela skale.

Provjera se obavlja na svakih 10 μm ; uz 5 μm na svakih 50 μm , uz kontinuirano uvlačenje i izvlačenje mjernog ticala kroz čitavo mjerno područje komparatora.

Točke u kojima su utvrđene najveće pogreške provjeravaju se ponovo.

Mjerenje se vrši u području od ± 5 podjela oko tih točaka i to u koracima od 1 podjele skale. Razlika između najveće pozitivne i negativne pogreške predstavlja ukupnu mjernu pogrešku (f_{ges}).

Rezultate mjerenja upisati u *Radnu podlogu*.

4.4.5.2. Utvrđivanje ponovljivosti komparatora

Ponovljivost komparatora određuje se temeljem mjerenja na uređaju za ispitivanje mjernih ura ili na Univerzalnom uređaju za mjerenje duljina .

Pet ponovljenih mjerenja izvršiti na proizvoljno odabranom djelu mjernog područja. Rezultat je najveća razlika izmjerenih vrijednosti (f_w).

Rezultat mjerenja upisati u *Radnu podlogu*.

4.4.5.3. Utvrđivanje mjerne sile

Mjerna sila komparatora se mjeri samo u slučaju nejednolikog uvlačenja i izvlačenja mjernog ticala. Mjerna sila mjeri se pomoću tehničke vage.

Mjernu silu mjeriti na početku, sredini i pri kraju mjernog područja komparatora. Rezultat je srednja vrijednost tih mjerenja (f_k).

Rezultate mjerenja upisati u *Radnu podlogu*.

4.4.6. Obrada i prikazivanje rezultata mjerenja

U slučaju da komparator ne zadovoljava zahtjeve, korisniku se izdaje samo prva stranica *Radne podloge* gdje se oznaci pridodaje slovna oznaka *PI*. *Radnu podlogu PI* potpisuje voditelj Laboratorija.

Po provedenom umjeravanju rezultate treba usporediti sa dopuštenim odstupanjima prema odgovarajućoj normi.

U slučaju da je rezultat mjerenja izvan granica dopuštenih odstupanja, mjerenje treba ponoviti. Ako se potvrde prethodni rezultati, u *Potvrdi o umjeravanju* korisniku mjerila treba napomenuti da su odstupanja veća od zahtjeva normi.

4.4.7. Proračun za iskazivanje mjerne nesigurnosti

Matematički model mjerenja:

$$E_x = l_{ix} - l_s + \delta l_{ix} + \delta l_m + \delta l_0 + l_s \cdot \bar{\alpha} \cdot \Delta t \quad (4.11)$$

gdje je:

- l_{ix} - očitavanje komparatora
- l_s - duljina očitana na uređaju za umjeravanje ura / Univerzalnom mjernom uređaju
- $\bar{\alpha}$ - prosječni koeficijent toplinskog širenja
- δl_{ix} - korekcija zbog procijene očitavanja na skali komparatora
- Δt - razlika temperatura komparatora i mjernog instrumenta
- δl_m - necentriranost komparatora na uređaju
- δl_0 - korekcija zbog postavljanja kazaljke na nulu

Sastavnice standardne nesigurnosti u postupku umjeravanja komparatora prikazane su u Tablicama 10. i 11.

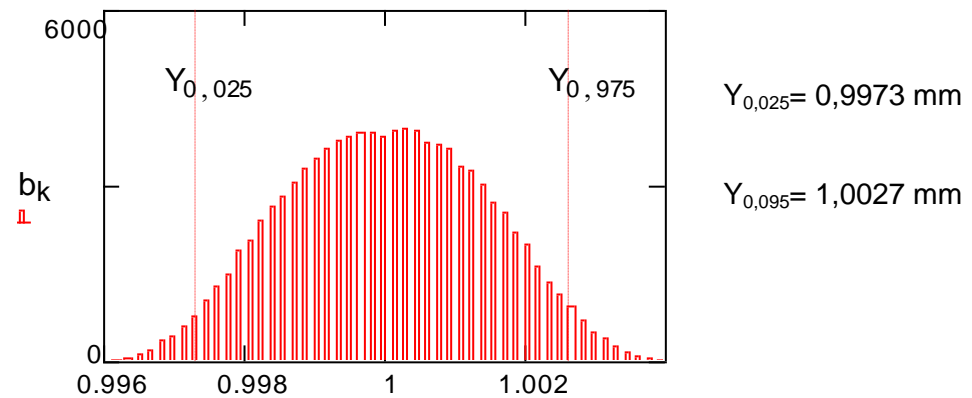
Tablica 10. Sastavnice standardne nesigurnosti u postupcima umjeravanja komparatora rezolucije 0,005 mm i mjernog područja do 1 mm [7]

Sastavnica standardne mjerne nesigurnosti	Izvor nesigurnosti	Iznos standardne nesigurnosti	Koeficijent osjetljivosti c_i	Razdioba	Doprinos mjernoj nesigurnosti, μm , L u m
$u(l_{ix})$	Ponovljivost mjerenja	1,156 μm	1	Normalna	1,156
$u(l_s)$	Uređaj za umjeravanje ura	0,05+1,25L μm	1	Normalna	0,05+1,25L
$u(\Delta t)$	Razlika temperatura	0,116 $^\circ\text{C}$	$L_s \cdot \bar{\alpha}$	Pravokutna	0,116·11,5L _s
$u(\delta l_{ix})$	Očitanje	0,578 μm	1	Pravokutna	0,578
$u(\delta l_m)$	Necentriranost	0,116+1,73L μm	1	Pravokutna	0,116+1,73L
$u(\delta l_0)$	Postavljanje na nulu	0,578 μm	1	Pravokutna	0,578
Sastavljena mjerna nesigurnost u_c :				$u_c=1,42 \mu\text{m}$	
Linearizirana proširena mjerna nesigurnost U, $k=2$, $P=95\%$:				$U = 2,9 \mu\text{m}$	

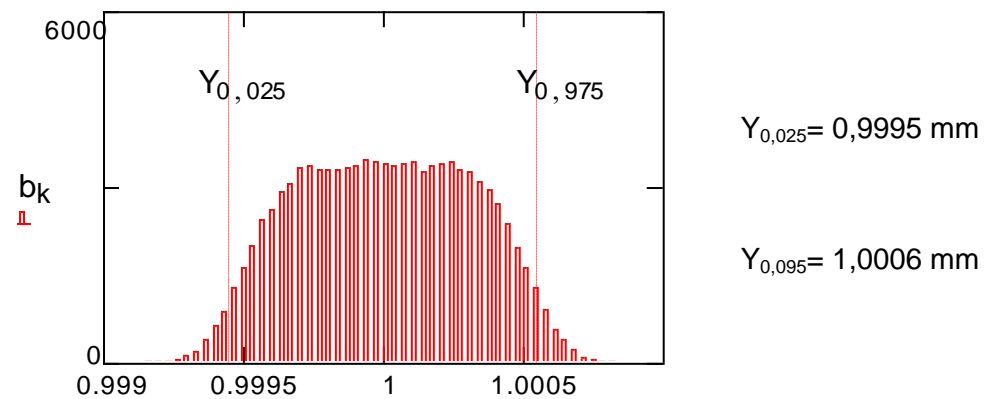
Tablica 11. Sastavnice standardne nesigurnosti u postupcima umjeravanja komparatora rezolucije 0,002; 0,001 i 0,0005 mm i mjernog područja do 1 mm [7]

Sastavnica standardne mjerne nesigurnosti	Izvor nesigurnosti	Iznos standardne nesigurnosti	Koeficijent osjetljivosti c_i	Razdioba	Doprinos mjernoj nesigurnosti, μm , L u m
$u(l_{ix})$	Ponovljivost mjerenja	0,289 μm	1	Normalna	0,289
$u(l_s)$	Univerzalni uređaj za mjerenje duljina	0,05+1,25L μm	1	Normalna	0,05+1,25L
$u(\Delta t)$	Razlika temperatura	0,116 $^\circ\text{C}$	$L_s \cdot \bar{\alpha}$	Pravokutna	0,116·11,5L _s
$u(\delta l_{ix})$	Očitanje	0,058 μm	1	Pravokutna	0,058
$u(\delta l_m)$	Necentriranost	0,116+1,73L μm	1	Pravokutna	0,116+1,73L
$u(\delta l_0)$	Postavljanje na nulu	0,058 μm	1	Pravokutna	0,058
Sastavljena mjerna nesigurnost u_c :				$u_c=0,33 \mu\text{m}$	
Linearizirana proširena mjerna nesigurnost U, $k=2$, $P=95\%$:				$U = 0,7 \mu\text{m}$	

Funkcije gustoće vjerojatnosti za navedene komparatore prikazane su slikama 45. i 46.



Slika 45. Funkcija gustoće vjerojatnosti $g(L_x)$ za komparator rezolucije 0,005 mm i mjernog područja 1 mm [7]



Slika 46. Funkcija gustoće vjerojatnosti $g(L_x)$ za komparator rezolucije 0,002; 0,001 i 0,0005 mm i mjernog područja 1 mm [7]

Procijenjeno standardno odstupanje izlazne veličine $g(L_x)$ za komparator rezolucije 0,005 mm i mjernog područja 1 mm iznosi 1,41 μm .

Izlazna veličina nalazi se unutar intervala:

$$(Y_{0,025} = 0,9973 \text{ mm}; Y_{0,095} = 1,0027 \text{ mm}), P=95 \%$$

Procijenjeno standardno odstupanje izlazne veličine $g(L_x)$ za komparator rezolucije 0,002; 0,001 i 0,0005 mm i mjernog područja 1 mm iznosi 0,31 μm . Izlazna veličina nalazi se unutar intervala:

$$(Y_{0,025} = 0,9995 \text{ mm}; Y_{0,095} = 1,0006 \text{ mm}), P=95 \text{ \%}.$$

Proširena mjerna nesigurnost:

Komparator rezolucije 0,005 mm i mjernog područja 1 mm:

$$\mathbf{U = 2,9 \mu\text{m}, k=2, P=95\%}$$

Komparator rezolucije 0,002; 0,001 i 0,0005 mm i mjernog područja 1 mm:

$$\mathbf{U = 0,7 \mu\text{m}, k=2, P=95\%}$$

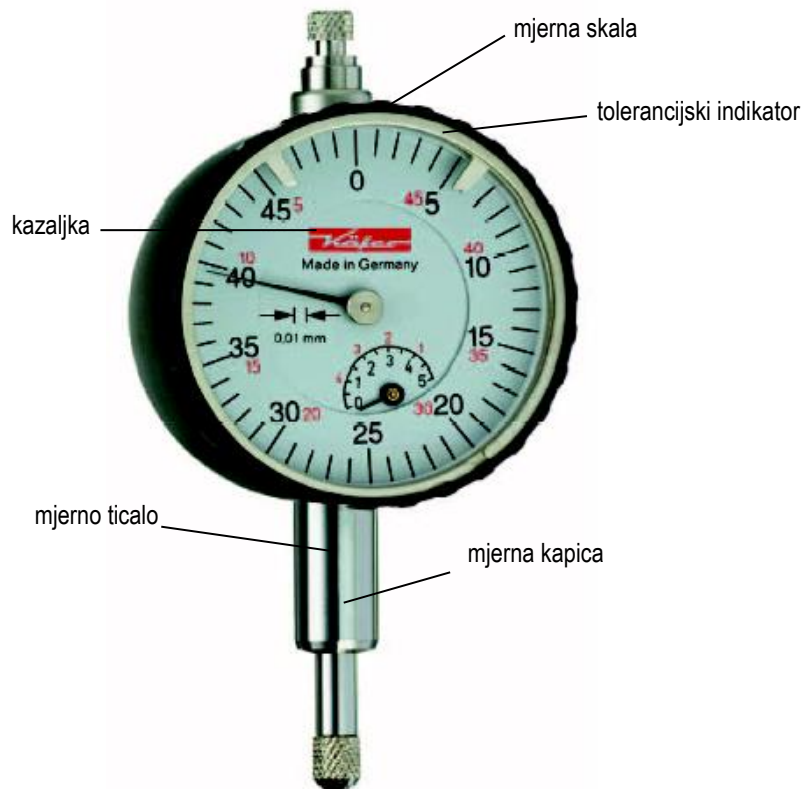
4.5. POSTUPAK ZA UMJERAVANJE MJERNIH URA [8]

4.5.1. Područje primjene

Postupak je namijenjen umjeravanju analognih i digitalnih mjernih ura mjernog područja ≤ 100 mm.

4.5.2. Nazivlje

Nazivlje vezano uz sastavne elemente mjerne ure, a koje će se koristiti u ovom postupku naznačeno je na slici 12.



Slika 47. Dijelovi analogne mjerne ure [8]

4.5.3. Priprema za provedbu umjeravanja

Mjerne površine treba očistiti, te odstraniti masnoću korištenjem medicinskog benzina, pamučne vate i čiste pamučne krpe.

Potrebno je provjeriti:

- postojanje identifikacijskih oznaka (proizvođač, oznaka, mjerno područje, vrijednost podjele)
- stanje mjernih skala (crte podjele, brojevi dobro uočljivi)
- izmjenjivost mjernih kapica
- funkcionalnu ispravnost tolerancijskih indikatora
- ravnomjernost kretanja kazaljki, odnosno kretanja mjernog ticala
- postavljanje nultog položaja zakretanjem mjerne skale

Rezultate ispitivanja prema točkama upisati u *Radnu podlogu*.

U slučaju da mjerna ura ne zadovoljava zahtjeve, postupak umjeravanja se ne provodi.

4.5.4. Provedba umjeravanja

Umjeravanje provoditi samo u slučaju ako je temperatura okoliša $20\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$.

4.5.4.1. Utvrđivanje mjerne pogreške u mjernom području $\leq 10\text{ mm}$

Utvrđivanje pogreške mjerne ure provodi se na uređaju za ispitivanje mjernih ura. Za mjerne ure rezolucije $\leq 1\text{ }\mu\text{m}$, mjerenje se vrši na univerzalnom uređaju za mjerenje duljina. Provesti očitavanja u intervalima po dvije desetinke u području od 0 mm do 1 mm, a do kraja mjernog područja u deset mjernih točaka definiranih u Tablici 12.

Tablica 12. Mjerne točke pri umjeravanju mjerne ure [8]

Mjerno mjesto	Mjerne točke s obzirom na mjerno područje ure, mm								
	3	5	10	12,7	20	25	30	50	100
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
5	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
6	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
7	1,2	1,4	1,9	2,2	2,9	3,4	3,9	5,9	10,9
8	1,4	1,8	2,8	3,4	4,8	5,8	6,8	10,8	20,8
9	1,6	2,2	3,7	4,6	6,7	8,2	9,7	15,7	30,7
10	1,8	2,6	4,6	5,8	8,6	10,6	12,6	20,6	40,6
11	2,0	3,0	5,5	7,0	10,5	13,0	15,5	25,5	50,5
12	2,2	3,4	6,4	8,2	12,4	15,4	18,4	30,4	60,4
13	2,4	3,8	7,3	9,4	14,3	17,8	21,3	35,3	70,3
14	2,6	4,2	8,2	10,6	16,2	20,2	24,2	40,2	80,2
15	2,8	4,6	9,1	11,8	18,1	22,6	27,1	45,1	90,1
16	3,0	5,0	10,0	12,7	20,0	25,0	30,0	50,0	100,0

Sva očitavanja provesti pri uvlačenju i izvlačenju ticala.

Razlika između najveće pozitivne i negativne pogreške predstavlja ukupnu mjernu pogrešku (f_{ges}).

Rezultate mjerenja upisati u *Radnu podlogu*.

4.5.4.2. Utvrđivanje pogreške u mjernom području ≤ 100 mm

Utvrđivanje pogreške mjerne ure provodi se na uređaju za ispitivanje mjernih ura.

Provesti očitavanja u mjernom području uređaja (≤ 10 mm). Nakon toga uređaj postaviti u nulti položaj i korištenjem planparalelne granične mjerke provesti daljnja očitavanja u mjernom području iznad 10 mm. Razlika između najveće pozitivne i negativne pogreške predstavlja ukupnu mjernu pogrešku (f_{ges}).

Rezultate mjerenja upisati u *Radnu podlogu*.

4.5.4.3. Ponovljivost

Ponovljivost valja odrediti temeljem mjerenja na uređaju za ispitivanje mjernih ura.

Pet ponovljenih mjerenja izvršiti na proizvoljno odabranom dijelu mjernog područja.

Rezultat je najveća razlika izmjerenih vrijednosti (f_w).

Rezultat mjerenja upisati u *Radnu podlogu*.

4.5.4.4. Mjerna sila

Utvrđivanje mjerne sile mjeri se samo u slučaju nejednolikog uvlačenja i izvlačenja mjernog ticala.

Mjerna sila mjeri se pomoću tehničke vage.

Mjernu silu mjeriti na početku, sredini i pri kraju mjernog područja ure. Rezultat je srednja vrijednost tih mjerenja (f_k).

Rezultate mjerenja upisati u *Radnu podlogu*.

4.5.5. Obrada i prikazivanje rezultata mjerenja

U slučaju da mjerna ura ne zadovoljava zahtjeve, korisniku se izdaje samo prva stranica *Radne podloge* gdje se oznaci pridodaje slovna oznaka *PI*. *Radnu podlogu PI* potpisuje voditelj Laboratorija.

Po provedenom umjeravanju rezultate treba usporediti sa dopuštenim odstupanjima prema odgovarajućoj normi. U slučaju da je rezultat mjerenja izvan granica dopuštenih odstupanja, mjerenje treba ponoviti. Ako se potvrde prethodni rezultati, u *Potvrdi o umjeravanju* korisniku mjerila treba napomenuti da su odstupanja veća od zahtjeva normi.

4.5.6. Proračun za iskazivanje mjerne nesigurnosti

Matematički model mjerenja:

$$E_x = l_{ix} - l_s + \delta l_{ix} + \delta l_m + \delta l_0 + L_s \cdot \bar{\alpha} \cdot \Delta t, \text{ za ure mjernog područja do 10 mm} \quad (5.12)$$

$$E_x = l_{ix} - l_s + L_s + \delta l_{ix} + \delta l_m + \delta l_0 + L_s \cdot \bar{\alpha} \cdot \Delta t, \text{ za ure mjernog područja od 10 mm do 100 mm} \quad (5.13)$$

gdje je:

- l_{ix} - očitavanje mjerne ure
- l_s - duljina očitana na uređaju
- $\bar{\alpha}$ - prosječni koeficijent toplinskog širenja
- Δt - razlika temperatura ure i mjernog instrumenta
- δl_{ix} - korekcija zbog procijene očitavanja na skali mjerne ure
- δl_m - necentriranost ure na uređaju
- δl_0 - korekcija zbog postavljanja na nulu
- L_s - nominalna duljina etalona

Sastavnice standardne nesigurnosti u postupku umjeravanja mjernih ura prikazane su u tablicama 13, 14, 15 i 16.

Tablica 13. Sastavnice standardne nesigurnosti u postupcima umjeravanja digitalne mjerne ure rezolucije 0,001 mm i mjernog područja do 10 mm [8]

Sastavnica standardne mjerne nesigurnosti	Izvor nesigurnosti	Iznos standardne nesigurnosti	Koeficijent osjetljivosti c_i	Razdioba	Doprinos mjernoj nesigurnosti, μm , L u m
$u(l_{ix})$	Ponovljivost mjerenja	0,347 μm	1	Normalna	0,347
$u(l_s)$	Uređaj za umjeravanje ura	0,25 μm	1	Normalna	0,25
$u(\Delta t)$	Razlika temperatura	0,116 $^{\circ}\text{C}$	$L_s \cdot \bar{\alpha}$	Pravokutna	0,116·11,5 L_s
$u(\delta l_{ix})$	Očitanje	0,058 μm	1	Pravokutna	0,058
$u(\delta l_m)$	Necentriranost	0,116+1,73 L μm	1	Pravokutna	0,116+1,73 L
$u(\delta l_0)$	Postavljanje na nulu	0,058 μm	1	Pravokutna	0,058
Sastavljena mjerna nesigurnost u_c :					$u_c=0,45 \mu\text{m}$
Linearizirana proširena mjerna nesigurnost U, $k=2$, $P=95\%$:					$U = 1,0 \mu\text{m}$

Tablica 14. Sastavnice standardne nesigurnosti u postupcima umjeravanja analogne mjerne ure rezolucije 0,01 mm i mjernog područja do 10 mm [8]

Sastavnica standardne mjerne nesigurnosti	Izvor nesigurnosti	Iznos standardne nesigurnosti	Koeficijent osjetljivosti c_i	Razdioba	Doprinos mjernoj nesigurnosti, μm , L u m
$u(l_{ix})$	Ponovljivost mjerenja	1,156 μm	1	Normalna	1,157
$u(l_s)$	Uređaj za umjeravanje ura	0,25 μm	1	Normalna	0,25
$u(\Delta t)$	Razlika temperatura	0,116 $^{\circ}\text{C}$	$L_s \cdot \bar{\alpha}$	Pravokutna	0,116·11,5 L_s
$u(\delta l_{ix})$	Očitanje	0,578 μm	1	Pravokutna	0,578
$u(\delta l_m)$	Necentriranost	0,116+1,73 L μm	1	Pravokutna	0,116+1,73 L
$u(\delta l_0)$	Postavljanje na nulu	0,578 μm	1	Pravokutna	0,578
Sastavljena mjerna nesigurnost u_c :					$u_c=1,44 \mu\text{m}$
Linearizirana proširena mjerna nesigurnost U, $k=2$, $P=95\%$:					$U = 3,0 \mu\text{m}$

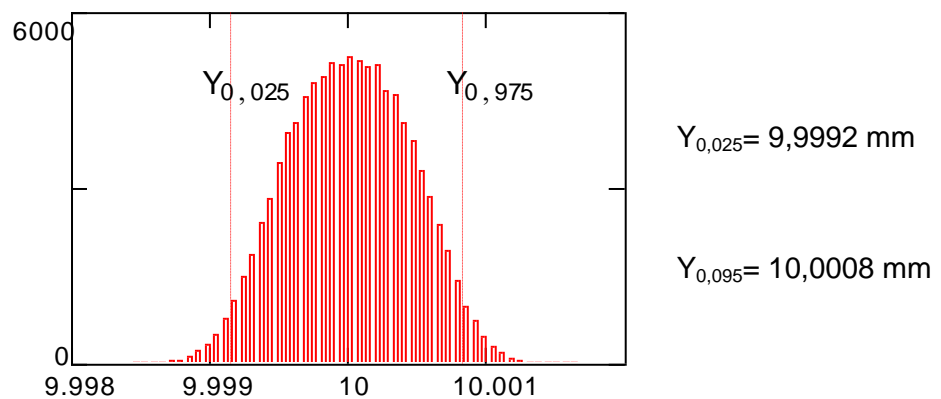
Tablica 15. Sastavnice standardne nesigurnosti u postupcima umjeravanja digitalne mjerne ure rezolucije 0,001 mm i mjernog područja 100 mm [8]

Sastavnica standardne mjerne nesigurnosti	Izvor nesigurnosti	Iznos standardne nesigurnosti	Koeficijent osjetljivosti c_i	Razdioba	Doprinos mjernoj nesigurnosti, μm , L u m
$u(l_{ix})$	Ponovljivost mjerenja	0,347 μm	1	Normalna	0,347
$u(l_s)$	Uređaj za umjeravanje ura	0,25 μm	1	Normalna	0,25
$u(\Delta t)$	Razlika temperatura	0,173 $^{\circ}\text{C}$	$L_s \cdot \bar{\alpha}$	Pravokutna	0,173·11,5 L_s
$u(\delta l_{ix})$	Očitanje	0,058 μm	1	Pravokutna	0,058
$u(\delta l_m)$	Necentriranost	0,116+1,73 L μm	1	Pravokutna	0,116+1,73 L
$u(\delta l_0)$	Postavljanje na nulu	0,058 μm	1	Pravokutna	0,058
$u(L_s)$	Nesigurnost umjeravanja mjerke	0,1+1 L μm	1	Pravokutna	0,1+1 L
Sastavljena mjerna nesigurnost u_G :			$u_G=(0,44+1,0L)$ μm , L u m		
Linearizirana proširena mjerna nesigurnost U, $k=2$, $P=95\%$:			$U=(1,0+2,0L)$ μm, L u m		

Tablica 16. Sastavnice standardne nesigurnosti u postupcima umjeravanja analogne mjerne ure rezolucije 0,01 mm i mjernog područja 100 mm [8]

Sastavnica standardne mjerne nesigurnosti	Izvor nesigurnosti	Iznos standardne nesigurnosti	Koeficijent osjetljivosti c_i	Razdioba	Doprinos mjernoj nesigurnosti, μm , L u m
$u(l_{ix})$	Ponovljivost mjerenja	1,156 μm	1	Normalna	1,156
$u(l_s)$	Uređaj za umjeravanje ura	0,25 μm	1	Normalna	0,25
$u(\Delta t)$	Razlika temperatura	0,173 $^{\circ}\text{C}$	$L_s \cdot \bar{\alpha}$	Pravokutna	0,173·11,5 L_s
$u(\delta l_{ix})$	Očitanje	0,578 μm	1	Pravokutna	0,578
$u(\delta l_m)$	Necentriranost	0,116+1,73 L μm	1	Pravokutna	0,116+1,73 L
$u(\delta l_0)$	Postavljanje na nulu	0,578 μm	1	Pravokutna	0,578
$u(L_s)$	Nesigurnost umjeravanja mjerke	0,1+1 L	1	Pravokutna	0,1+1 L
Sastavljena mjerna nesigurnost u_G :			$u_G=(1,43+0,56L)$ μm , L u m		
Linearizirana proširena mjerna nesigurnost U, $k=2$, $P=95\%$:			$U=(3,0+1,5L)$ μm, L u m		

Funkcije gustoće vjerojatnosti za navedene mjerne ure prikazane su slikama 48, 49, 50 i 51.

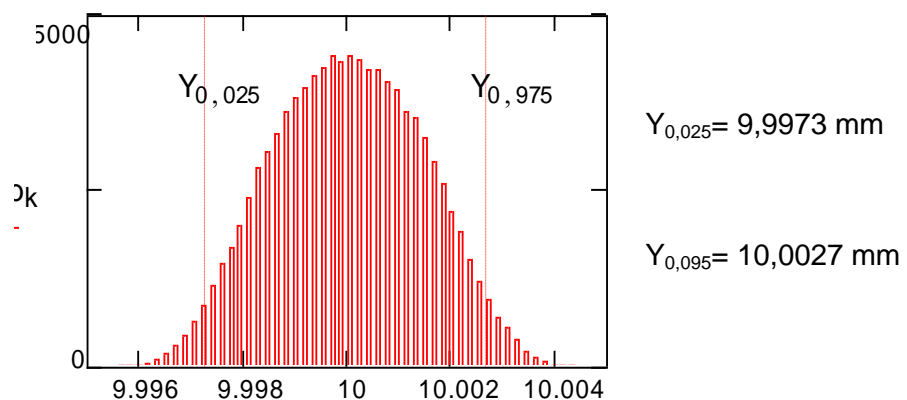


Slika 48. Funkcija gustoće vjerojatnosti $g(L_x)$ za digitalnu uru rezolucije 0,001 mm i mjernog područja 10 mm [8]

Procijenjeno standardno odstupanje izlazne veličine $g(L_x)$ za digitalnu mjernu uru rezolucije 0,001 mm i mjernog područja 10 mm iznosi 0,5 μm .

Izlazna veličina nalazi se unutar intervala:

$$(Y_{0,025} = 9,9992 \text{ mm}; Y_{0,095} = 10,0008 \text{ mm}), P=95 \text{ \%}.$$

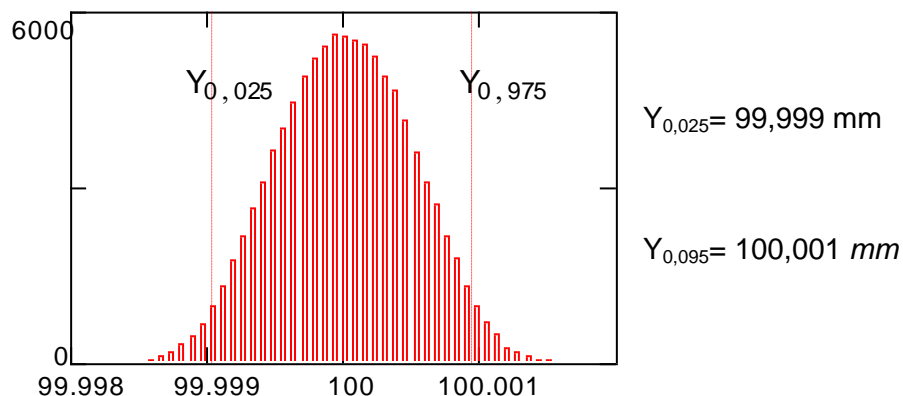


Slika 49. Funkcija gustoće vjerojatnosti $g(L_x)$ za analognu uru rezolucije 0,01 mm i mjernog područja 10 mm [8]

Procijenjeno standardno odstupanje izlazne veličine $g(L_x)$ za analognu mjernu uru rezolucije 0,01 mm i mjernog područja 10 mm iznosi 1,46 μm .

Izlazna veličina nalazi se unutar intervala:

$$(Y_{0,025} = 9,9973 \text{ mm}; Y_{0,095} = 10,0027 \text{ mm}), P=95 \text{ \%}.$$

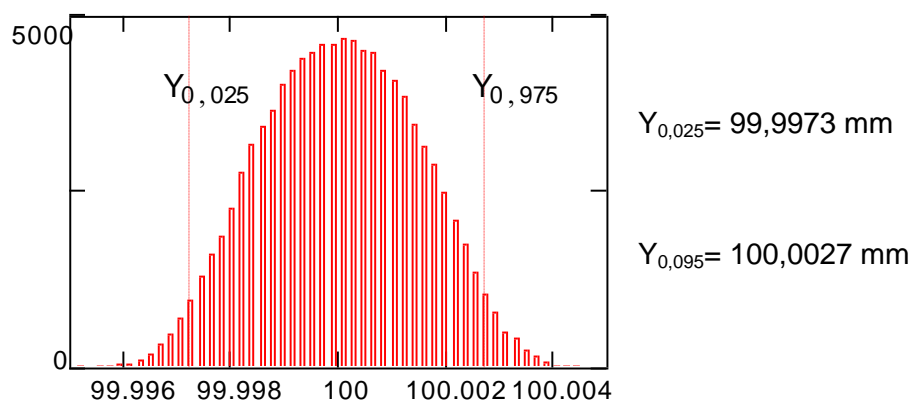


Slika 50. Funkcija gustoće vjerojatnosti $g(L_x)$ za digitalnu uru rezolucije 0,001 mm i mjernog područja 100 mm [8]

Procijenjeno standardno odstupanje izlazne veličine $g(L_x)$ za digitalnu mjernu uru rezolucije 0,001 mm i mjernog područja 100 mm iznosi $0,5 \mu\text{m}$.

Izlazna veličina nalazi se unutar intervala:

$$(Y_{0,025} = 99,999 \text{ mm}; Y_{0,095} = 100,001 \text{ mm}), P=95 \text{ \%}.$$



Slika 51. Funkcija gustoće vjerojatnosti $g(L_x)$ za analognu uru rezolucije 0,01 mm i mjernog područja 100 mm [8]

Procijenjeno standardno odstupanje izlazne veličine $g(L_x)$ za analognu mjernu uru rezolucije 0,01 mm i mjernog područja 100 mm iznosi 1,42 μm .

Izlazna veličina nalazi se unutar intervala:

$$(Y_{0,025} = 99,9973 \text{ mm}; Y_{0,095} = 100,0027 \text{ mm}), P=95 \%$$

Proširena mjerna nesigurnost:

Digitalna mjerna ura rezolucije 0,001 mm i mjernog područja 10 mm:

$$U = 1,0 \mu\text{m}, k=2, P=95\%$$

Analogna mjerna ura rezolucije 0,01 mm i mjernog područja 10 mm:

$$U = 3,0 \mu\text{m}, k=2, P=95\%$$

Digitalna mjerna ura rezolucije 0,001 mm i mjernog područja 100 mm:

$$U = (1,0+2,0L) \mu\text{m}, L \text{ u m}; k=2, P=95\%$$

Analogna mjerna ura rezolucije 0,01 mm i mjernog područja 100 mm:

$$U = (3,0+1,5L) \mu\text{m}, L \text{ u m}; k=2, P=95\%$$

4.6. POSTUPAK ZA UMJERAVANJE MJERILA DEBLJINE S MJERNOM UROM [9]

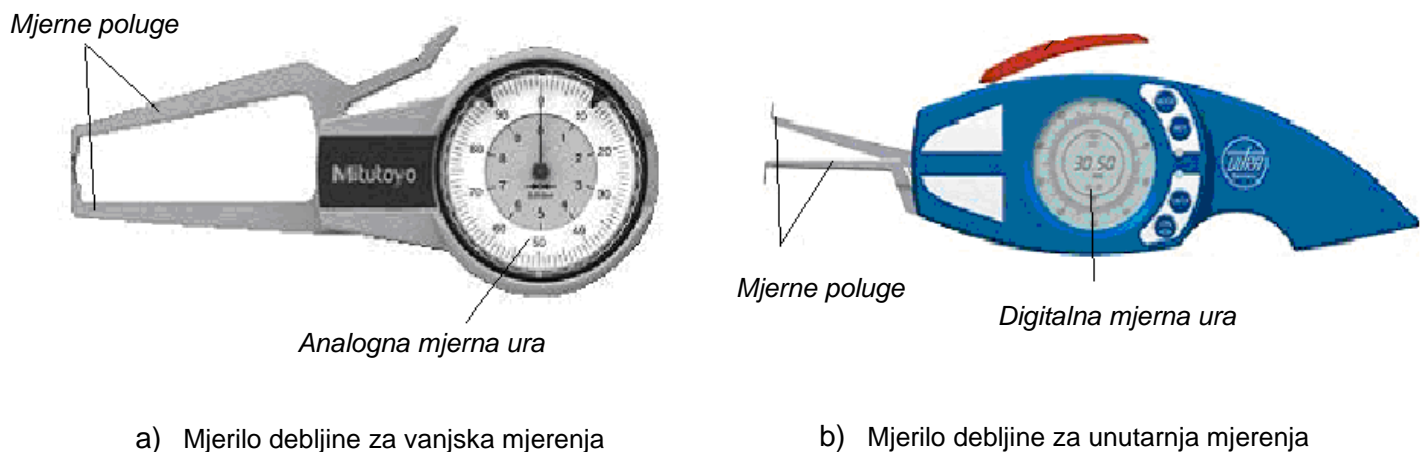
4.6.1. Područje primjene

Postupak je namijenjen umjeravanju mjerila debljine za vanjska i unutarnja mjerenja s analognom ili digitalnom mjernom urom. Mjerno područja koja na koja se postupak odnosi su:

- (0 - 100) mm za vanjska mjerenja;
- (2,5 - 200) mm za unutarnja mjerenja.

4.6.2. Nazivlje

Nazivlje vezano uz sastavne dijelova mjerila debljine s mjernom urom prikazano je na slici 52.



Slika 52. Sastavni dijelovi mjerila debljine s mjernom urom [9]

4.6.3. Prethodna ispitivanja

Potrebno je provjeriti:

- postojanje identifikacijske oznake mjerila debljine (serijski broj i/ili tvornički broj i/ili interna oznaka donosioca mjerila debljine)
- stanje mjernih površina (korozija, oštećenja, istrošenost i dr.)
- funktionalnost poluge
- uočljivost brojevnih oznaka na mjernoj uri

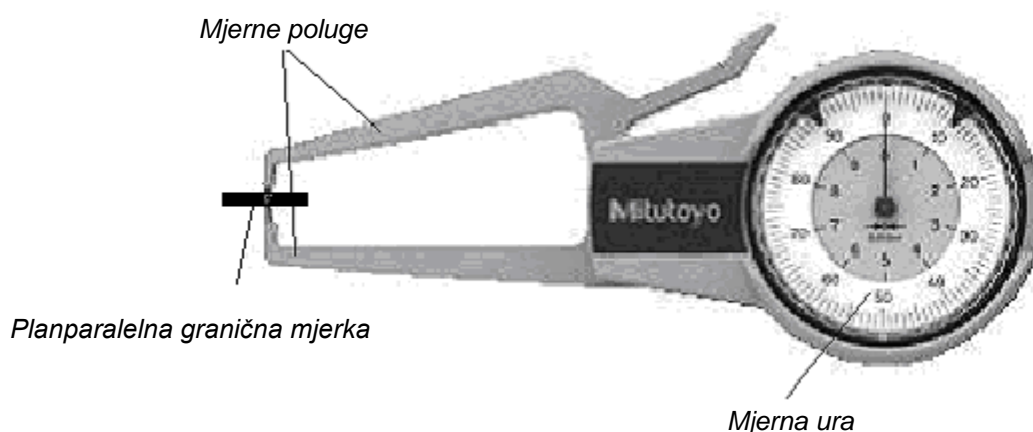
Rezultate ispitivanja prema točkama upisati u *Radnu podlogu*.

U slučaju da mjerila debljine ne zadovoljavaju zahtjeve, postupak umjeravanja se ne provodi.

4.6.4. Provedba umjeravanja

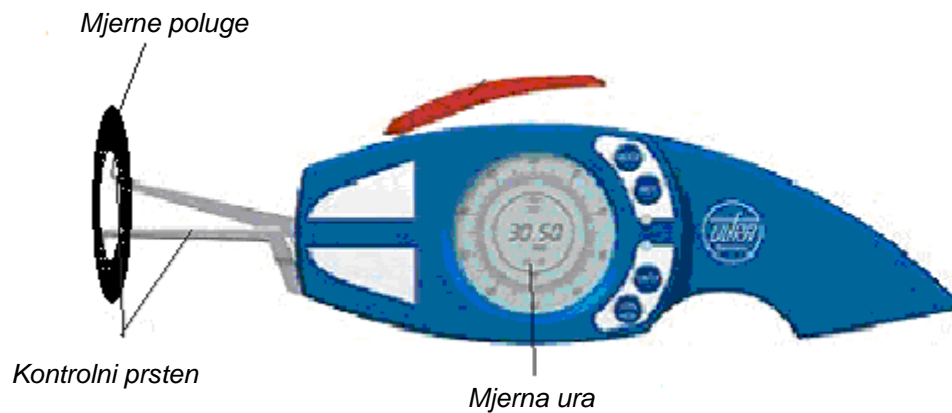
Umjeravanje provoditi samo u slučaju ako je temperatura okoliša $20\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$.

Utvrđivanje mjerne pogreške mjerila debljine za vanjska mjerenja provesti korištenjem garniture planparalelnih graničnih mjerki (slika 53).



Slika 53. Utvrđivanje mjerne pogreške mjerila debljine za vanjska mjerenja [9]

Utvrđivanje mjerne pogreške mjerila debljine za unutarnja mjerenja provesti korištenjem kontrolnih prstena kako je prikazano na slici 54.



Slika 54. Slika 19. Sastavni dijelovi mjerila debljine s mjernom urom [9]

Utvrđivanje mjerne pogreške treba izvoditi na 10 mjernih mjesta uz korak 1/10 mjernog područja, ukoliko je to moguće.

Sva očitavanja provesti pri uvlačenju i izvlačenju ticala. Rezultate mjerenja upisati u *Radnu podlogu*.

Razlika između najveće pozitivne i negativne pogreške predstavlja ukupnu mjernu pogrešku (f_{ges}). Ukupnu mjernu pogrešku upisati u *Radnu podlogu*.

4.6.5. Proračun za iskazivanje mjerne nesigurnosti

Matematički model mjerenja:

$$E_x = l_{ix} - l_s + \delta l_{ix} + \delta l_m + L_s \cdot \bar{\alpha} \cdot \Delta t, \quad (6.14)$$

gdje je:

- l_{ix} - očitavanje mjerila debljine
- l_s - duljina etalona
- $\bar{\alpha}$ - prosječni koeficijent toplinskog širenja mjerila debljine i etalona
- Δt - razlika temperatura mjerila debljine i etalona
- δl_{ix} - korekcija zbog procijene očitavanja na mjernoj uri mjerila debljine
- δl_m - korekcija zbog mehaničkih utjecaja i Abbeovog principa
- L_s - nazivna duljina etalona

Sastavnice standardne nesigurnosti u postupku umjeravanja mjerila debljine za vanjska mjerenja prikazane su u Tablicama 17, 18 i 19.

Tablica 17. Sastavnice standardne nesigurnosti u postupcima umjeravanja mjerila debljine za vanjska mjerenja s mjernom ure rezolucije 0,1 mm [9]

Sastavnica standardne mjerne nesigurnosti	Izvor nesigurnosti	Iznos standardne nesigurnosti	Koeficijent osjetljivosti c_i	Razdioba	Doprinos mjernoj nesigurnosti, μm , L u m
$u(l_{ix})$	Ponovljivost mjerenja	49,619 μm	1	Normalna	2,312
$u(l_s)$	Duljina etalona	0,025+0,55L μm	1	Normalna	0,025+0,55L
$u(\Delta t)$	Razlika temperatura	0,116 $^{\circ}\text{C}$	$L_s \cdot \bar{\alpha}$	Pravokutna	0,116-11,5L _s
$u(\delta l_{ix})$	Procijena očitavanje	5,78 μm	1	Pravokutna	5,78
$u(\delta l_0)$	Postavljanje na nulu	5,78 μm	1	Pravokutna	5,78
Sastavljena mjerna nesigurnost u_c :				$u_c=50 \mu\text{m}$	
Proširena mjerna nesigurnost U, $k=2$, $P=95\%$:				$U = 100 \mu\text{m}$	

Tablica 18. Sastavnice standardne nesigurnosti u postupcima umjeravanja mjerila debljine za vanjska mjerenja s mjernom ure rezolucije 0,01 mm [9]

Sastavnica standardne mjerne nesigurnosti	Izvor nesigurnosti	Iznos standardne nesigurnosti	Koeficijent osjetljivosti c_i	Razdioba	Doprinos mjernoj nesigurnosti, μm , L u m
$u(l_{ix})$	Ponovljivost mjerenja	4,654 μm	1	Normalna	4,654
$u(l_z)$	Duljina etalona	0,025+0,55L μm	1	Normalna	0,025+0,55L
$u(\Delta t)$	Razlika temperatura	0,116 $^{\circ}\text{C}$	$L_z \cdot \bar{\alpha}$	Pravokutna	0,116-11,5L _s
$u(\delta l_{ix})$	Procijena očitavanje	0,578 μm	1	Pravokutna	0,578
$u(\delta l_0)$	Postavljanje na nulu	0,578 μm	1	Pravokutna	0,578
Sastavljena mjerna nesigurnost u_c :				$u_c=4,7 \mu\text{m}$	
Proširena mjerna nesigurnost U, $k=2$, $P=95\%$:				$U = 9,4 \mu\text{m}$	

Tablica 19. Sastavnice standardne nesigurnosti u postupcima umjeravanja mjerila debljine za vanjska mjerenja s mjernom ure rezolucije 0,001 mm [9]

Sastavnica standardne mjerne nesigurnosti	Izvor nesigurnosti	Iznos standardne nesigurnosti	Koeficijent osjetljivosti c_i	Razdioba	Doprinos mjernoj nesigurnosti, μm , L u m
$u(l_{ix})$	Ponovljivost mjerenja	1,213 μm	1	Normalna	1,213
$u(l_z)$	Duljina etalona	0,025+0,55L μm	1	Normalna	0,025+0,55L
$u(\Delta t)$	Razlika temperatura	0,116 $^{\circ}\text{C}$	$L_z \cdot \bar{\alpha}$	Pravokutna	0,116-11,5L _s
$u(\delta l_{ix})$	Procijena očitavanje	0,058 μm	1	Pravokutna	0,058
$u(\delta l_0)$	Postavljanje na nulu	0,058 μm	1	Pravokutna	0,058
Sastavljena mjerna nesigurnost u_c :				$u_c=1,2 \mu\text{m}$	
Proširena mjerna nesigurnost U, $k=2$, $P=95\%$:				$U = 2,4 \mu\text{m}$	

Sastavnice standardne nesigurnosti u postupku umjeravanja mjerila debljine za unutarnja mjerenja prikazane su u Tablicama 20, 21 i 22.

Tablica 20. Sastavnice standardne nesigurnosti u postupcima umjeravanja mjerila debljine za unutarnja mjerenja s mjernom ure rezolucije 0,1 mm [9]

Sastavnica standardne mjerne nesigurnosti	Izvor nesigurnosti	Iznos standardne nesigurnosti	Koeficijent osjetljivosti c_i	Razdioba	Doprinos mjernoj nesigurnosti, μm , L u m
$u(l_{ix})$	Ponovljivost mjerenja	97,531 μm	1	Normalna	97,531
$u(l_s)$	Duljina etalona	0,3+0,35L μm	1	Normalna	0,3+0,35L
$u(\Delta t)$	Razlika temperatura	0,116 $^{\circ}\text{C}$	$L_s \cdot \bar{\alpha}$	Pravokutna	0,116-11,5L _s
$u(\delta l_{ix})$	Procijena očitavanje	5,78 μm	1	Pravokutna	5,78
$u(\delta l_0)$	Postavljanje na nulu	5,78 μm	1	Pravokutna	5,78
Sastavljena mjerna nesigurnost u_c :				$u_c=98 \mu\text{m}$	
Proširena mjerna nesigurnost U, $k=2$, $P=95\%$:				$U = 196 \mu\text{m}$	

Tablica 21. Sastavnice standardne nesigurnosti u postupcima umjeravanja mjerila debljine za unutarnja mjerenja s mjernom ure rezolucije 0,01 mm [9]

Sastavnica standardne mjerne nesigurnosti	Izvor nesigurnosti	Iznos standardne nesigurnosti	Koeficijent osjetljivosti c_i	Razdioba	Doprinos mjernoj nesigurnosti, μm , L u m
$u(l_{ix})$	Ponovljivost mjerenja	9,822 μm	1	Normalna	9,822
$u(l_s)$	Duljina etalona	0,3+0,35L μm	1	Normalna	0,3+0,35L
$u(\Delta t)$	Razlika temperatura	0,116 $^{\circ}\text{C}$	$L_s \cdot \bar{\alpha}$	Pravokutna	0,116-11,5L _s
$u(\delta l_{ix})$	Procijena očitavanje	0,578 μm	1	Pravokutna	0,578
$u(\delta l_0)$	Postavljanje na nulu	0,578 μm	1	Pravokutna	0,578
Sastavljena mjerna nesigurnost u_c :				$u_c=9,9 \mu\text{m}$	
Proširena mjerna nesigurnost U, $k=2$, $P=95\%$:				$U = 19,8 \mu\text{m}$	

Tablica 22. Sastavnice standardne nesigurnosti u postupcima umjeravanja mjerila debljine za unutarnja mjerenja s mjernom ure rezolucije 0,001 mm [9]

Sastavnica standardne mjerne nesigurnosti	Izvor nesigurnosti	Iznos standardne nesigurnosti	Koeficijent osjetljivosti c_i	Razdioba	Doprinos mjernoj nesigurnosti, μm , L u m
$u(l_{ix})$	Ponovljivost mjerenja	2,742 μm	1	Normalna	2,742
$u(l_s)$	Duljina etalona	0,3+0,35L μm	1	Normalna	0,3+0,35L
$u(\Delta t)$	Razlika temperatura	0,116 $^{\circ}\text{C}$	$L_s \cdot \bar{\alpha}$	Pravokutna	0,116·11,5L _s
$u(\delta l_{ix})$	Procijena očitavanje	0,058 μm	1	Pravokutna	0,058
$u(\delta l_o)$	Postavljanje na nulu	0,058 μm	1	Pravokutna	0,058
Sastavljena mjerna nesigurnost u_c :				$u_c=2,8 \mu\text{m}$	
Linearizirana proširena mjerna nesigurnost U, $k=2$, $P=95\%$:				$U = 5,6 \mu\text{m}$	

4.6.6. Obrada i prikazivanje rezultata mjerenja

U slučaju da mjerilo ne zadovoljava zahtjeve, korisniku se izdaje samo prva stranica *Radne podloge* gdje se oznaci pridodaje slovna oznaka *PI*.

Radnu podlogu PI potpisuje voditelj Laboratorija.

U slučaju da je rezultat mjerenja izvan granica dopuštenih odstupanja, mjerenje treba ponoviti.

Ako se potvrde prethodni rezultati, u *Potvrdi o umjeravanju* korisniku mjerila treba napomenuti da su odstupanja veća od zahtjeva normi.

5. PROCJENA MJERNE NESIGURNOSTI KOD PRIMJENE POMIČNOG MJERILA I MIKROMETRA

5.1. Procjena nesigurnosti mjerenja vanjskog promjera vratila [4]

Prilikom uporabe pomičnih mjerila sve nesigurnosti će proizlaziti iz:

(a) ne primjenjivanja korekcija za pogreške umjeravanja kod pomičnih mjerila ili ako se oslanjamo na to da su pogreške kod pomičnih mjerila bez specifikacije (detaljnog opisa) *

(b) pogreški uslijed ravnosti površine

(c) pogreški uslijed paralelnosti površine

(d) pogreški uslijed odstupanja od okomitosti

(e) pogreški uslijed razlučivosti

(f) pogreški slučajne prirode zbog ponovljenih mjerenja

* Napomena: Ako se korekcije za pogreške umjeravanja primjenjuju i dalje će biti nesigurnosti u određivanju pogrešaka i u interpolaciji između umjernih točaka.

5.2. Primjer određivanja nesigurnosti pridružene mjerenjima koja su provedena s pomičnim mjerilima

Da bi se izmjerila komponenta koristi se pomično mjerilo rezolucije 0,02 mm. Najveće odstupanje očitavanja iznosi $\pm 0,02$ mm. Iz literature se procjenjuje da je odstupanje od ravnoće $\pm 0,005$ mm, odstupanje od paralelnosti $\pm 0,008$ mm i odstupanje od okomitosti se nalazi unutar $\pm 0,008$ mm.

Mjeritelj mjeri komponentu 5 puta i ostvaruje sljedeća mjerenja:

20,08, 20,08, 20,06, 20,10, 20,12 mm.

Do te razlike dolazi zbog utjecaja mjeritelja i utjecaja vezanih uz komponentu. Mjeritelj ima certifikat koji mu govori da pomična mjerila udovoljavaju specifikaciji, ali ne ukazuje na individualne pogreške. Prvi doprinos nesigurnosti je mjerna nesigurnost tipa A. Računa se tako da se standardno odstupanje mjerenja (0,0228 mm) podijeli s drugim korijenom broja mjerenja (5).

$$\frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{n}} = \frac{0,0228}{\sqrt{5}} = 0,0102 \text{ mm}$$

Sljedeći doprinos je nastao uslijed razlučivosti instrumenta. Razlučivost pomičnih mjerila je 0,02 mm pa zato moguća greška zaokruživanja od 0,01 mm Doprinos se postiže dijeljenjem razlučivosti s drugim korijenom od 12.

$$\frac{0,02}{2\sqrt{3}} = \frac{0,02}{\sqrt{12}} = 0,006 \text{ mm}$$

Sljedeći doprinos je uslijed ravnosti stranica. Stranice su ravne do unutar $\pm 0,005$ mm. Ako *a priori* odredimo pravokutnu razdiobu, doprinos je:

$$\frac{0,005}{\sqrt{3}} = 0,003 \text{ mm}$$

Sljedeći doprinos je uslijed paralelnosti stranica. Stranice su paralelne do unutar $\pm 0,008$ mm. Ako *a priori* odredimo pravokutnu razdiobu, doprinos je:

$$\frac{0,008}{\sqrt{3}} = 0,005 \text{ mm}$$

Pogreška okomitosti je već uključena u pogrešku paralelnosti pa je zanemarujemo.

Umjerni certifikat nalaže da se pomična mjerila nalaze unutar specifikacije ($\pm 0,02$ mm). Ako pretpostavimo da se u bilo kojoj poziciji pogreška nalazi unutar tih granica onda je doprinos:

$$\frac{0,02}{\sqrt{3}} = 0,012 \text{ mm}$$

Sastavljena standardna nesigurnost je

$$U_c = \sqrt{0,010^2 + 0,006^2 + 0,003^2 + 0,005^2 + 0,012^2} = 0,018 \text{ mm}$$

Proširena nesigurnost pri $k = 2$ onda iznosi 0,036 mm.

Zaključak:

Ovaj proračun je pojednostavljen i nije rigorozan, ali će dostajati za primjenu u većini slučajeva. Pojedini faktori, kao što je broj stupnjeva slobode, su zanemareni. Broj stupnjeva slobode će se uzimati u obzir samo ako je zabilježeno manje od 10 mjerenja (9 stupnjeva slobode). U gornjem primjeru bi se supstituiranjem $k = 2.87$ umjesto $k = 2$ dobila bolja procjena nesigurnosti.

5.3. Proračun mjerne nesigurnosti kod mikrometra [13]

5.3.1. Opseg primjene

Ovim primjenom se nastoji opisati kako se PUMA metoda (pojednostavljena, iterativna metoda koja se bazira na GUM metodi) može koristiti u industriji kako bi se optimiziralo i u detalje isplanirala mjeriteljska hijerarhija. Primjer uključuje:

- mjerjenje promjera s mikrometrom za vanjska mjerenja;
- umjeravanje mikrometra za vanjska mjerenja;
- zahtjev za umjeravanje za mjerne standarde za mjerenje vanjskog mikrometra;
- korištenje kontrolnog standarda kao dopunu mjerenju

Nadalje, uključuje procjenu mjerne nesigurnosti i procjenu zahtjeva za mjeriteljske karakteristike na tri niže razine hijerarhije sljedivosti prikazane na slici 48.

Te tri razine su:

III Mjerenje (dvije točke) promjera cilindra koristeći mikrometar za vanjska mjerenja. Mjerni postupak je procijenjen PUMA metodom i danom ciljanom nesigurnošću U_T .

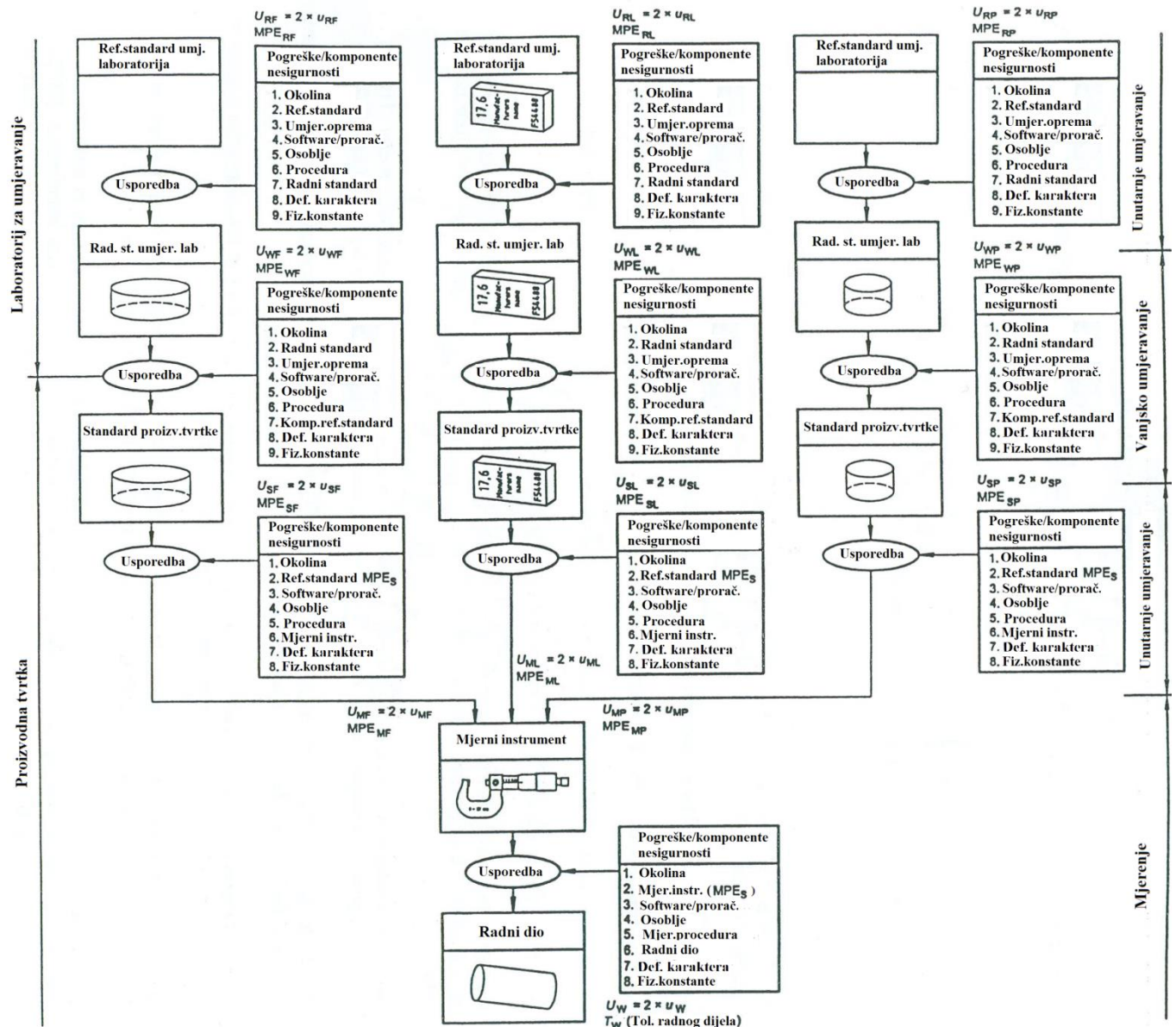
II Umjeravanje mjeriteljskih karakteristika mikrometra za vanjska mjerenja

I Zahtjevi za umjeravanje (MPE vrijednosti) za mjeriteljske karakteristike umjernih standarda potrebnih za umjeravanje mikrometra za vanjska mjerenja

Korištenje kontrolnog standarda kao dodatka umjeravanju mikrometra za vanjska mjerenja je procijenjeno nesigurnošću proračuna kao drugim načinom mjerenja promjera u dvije točke.

Na III razini je procijenjena mjerna nesigurnost za mjerenje promjera u dvije točke. Maksimalne dopuštene pogreške ($MPEs$) mjernih karakteristika mikrometra za vanjska mjerenja MPE_{ML} (pogreška pokazivanja), MPE_{MF} (ravnost mjernih površina) i MPE_{MP} (paralelnost mjernih površina) su uzete kao nepoznate varijable. Iz funkcije: $U_T \geq U_{WP} = f(MPE_{ML}, MPE_{MF}, MPE_{MP}, \text{ostali doprinosi nesigurnosti})$

MPE vrijednosti za tri mjerne karakteristike (MPE_{ML} , MPE_{MF} i MPE_{MP}) mikrometra za vanjska mjerenja mogu se derivirati. Na II razini, nesigurnost mjerenja kod umjeravanja tri mjeriteljske karakteristike (pogreška pokazivanja, ravnoća mjernih površina i paralelnost mjernih površina) je procijenjena. Na I razini MPE vrijednosti za mjerne karakteristike 3 mjerna standarda su izvedene istom tehnikom koja se koristila i za vrijednosti MPE kod mikrometra, ali su sad vrijednosti MPE za 3 mjerna standarda nepoznate varijable.



Slika 55. Hijerarhija umjeravanja za mjerenja promjera i umjeravanje mikrometra za vanjska mjerenja [13]

Rezultat proračuna nesigurnosti na 3 razine:

- za mikrometar za vanjska mjerenja *MPE* vrijednosti su optimizirane i direktno izvedene iz potrebe za mjernom nesigurnošću na podu radionice;

-*MPE* vrijednosti za mjerne standarde (planparalelne mjerke, optička ravnost i optička paralelnost) su optimizirane za umjeravanje mikrometra za vanjska mjerenja. Te *MPE* vrijednosti su minimalni zahtjevi za umjerne certifikate;

-Poboljšanje mjerne nesigurnosti korištenjem kontrolnog standarda se može kvantificirati.

5.4. Mjerenje promjera

5.4.1. Zadatak i ciljna nesigurnost

5.4.1.1. Mjerni zadatak

Mjerni zadatak se sastoji od mjerenja I promjera (promjer mjeren u dvije točke) na seriji fino podešenih čeličnih vratila, s nominalnim dimenzijama \varnothing 25 mm x 50 mm

5.4.1.2. Ciljna nesigurnost

Ciljna nesigurnost je 8 μ m.

5.4.2. Princip, postupak i zahtjevi

5.4.2.1. Mjerni princip

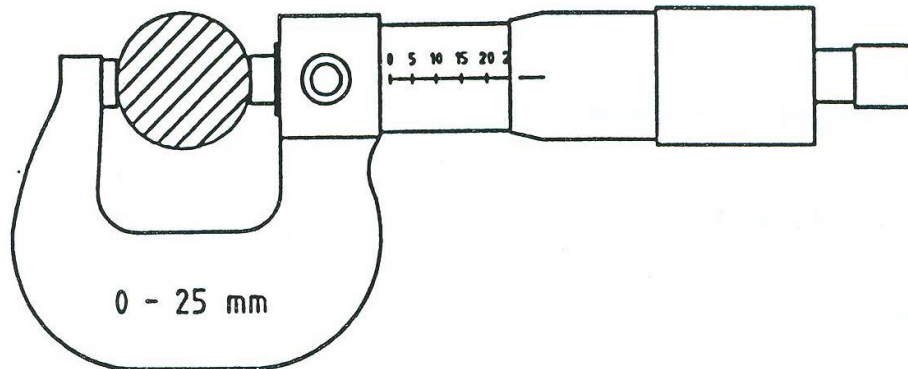
Mjerenje dužine- usporedba s poznatom dužinom.

5.4.2.2. Metoda mjerenja

Mjerenja se provode analognim mikrometrom za vanjska mjerenja s ravnim (\varnothing 6 mm) mjernim površinama (mjernog raspona od 0 mm do 25 mm) i s intervalom osnovne skale od 1 μ m.

5.4.2.3. Početni mjerni zahtjevi

- Dokazano je da temperatura u vratilu i mikrometru varira tijekom vremena. Maksimalno odstupanje od standardne referentne temperature 20 °C je 15 °C.
- Maksimalna temperaturna razlika između vratila i mikrometra je 10 °C.
- Tri različita mjeritelja koriste strojni alat i mikrometar za proizvodnju vratila.
- Cilindričnost vratila mora biti bolja od 1,5 μm.
- Tip pogreške oblika je nepoznat, osim što je koničnost mala.



Slika 56. Mjerenje vanjskog promjera vratila (\varnothing 25 mm) [13]

5.4.3. Popis i razmatranje doprinosa nesigurnosti

Mjerenje promjera u dvije točke je modelirano kao proces procijene nesigurnosti crne kutije; ne koriste se korekcije i svi doprinosi pogreški su uključeni u mjernu nesigurnost.

U tablici 23. su navedeni i imenovani svi doprinosi nesigurnosti koji utječu na nesigurnost mjerenja promjera.

Tablica 23 . Pregled i napomene za komponente nesigurnosti kod mjerenja promjera (promjer mjeren u dvije točke) [13]

Oznaka	Oznaka	Ime Komponenta nesigurnosti	Napomena
u_{ML}		Mikrometar- Pogreška pokazivanja	Zahtjev za pogrešku pokazivanja MPE_{ML} mikrometra je nepoznata varijabla. Inicijalno je podešena na $6 \mu\text{m}$ - i simetrično pozicioniranje krivulje pogreške pokazivanja za nultu korekciju nakon umjeravanja.
u_{MF}		Mikrometar- Ravnost mjernih površina	Zahtjev za odstupanje od ravnosti za dvije mjerne površine M_{MF} je nepoznata varijabla. Inicijalno je podešena na $1 \mu\text{m}$.
u_{MP}		Mikrometar- Paralelnost mjernih površina	Zahtjev za odstupanje od paralelnosti između dvije mjerne površine M_{MP} je nepoznata varijabla. Inicijalno je podešena na $2 \mu\text{m}$.
u_{MX}		Utjecaj stezanja vretena, orijentacija mikrometra i vrijeme rukovanja	Ovi utjecaji tu ne vrijede; ne koristi se hvataljka za vratilo. Orijetacija i vrijeme rukovanja nemaju značajnijeg utjecaja na mikrometar raspona od 0 mm do 25 mm.
u_{RR}	u_{RA}	Razlučivanje	$u_{RA} = \frac{d}{2 \times \sqrt{3}} = \frac{1 \mu\text{m}}{2 \times \sqrt{3}} = 0,29 \mu\text{m}$
	u_{RE}	Ponovljivost	U eksperimentu je predloženo da sva tri mjeritelja imaju istu ponovljivost. Eksperiment uključuje više od 15 mjerenja za svakog mjeritelja na „savršenih“ $\varnothing 25 \text{ mm}$ etalona duljine (mjerni valjčići). Najveća vrijednost od te dvije vrijednosti = u_{RR}
u_{NP}		Odstupanje nulte točke između tri mjeritelja	Tri mjeritelja koriste mikrometar na drugačiji način. Nulta točka nije ista kao nulta točka koju je namjestio mjeritelj koji vrši umjeravanje. Eksperiment mora imati više od 15 mjerenja za svakog mjeritelja na „savršenih“ $\varnothing 25 \text{ mm}$ etalona duljine (mjerni valjčići).
u_{TD}		Temperaturna razlika	Maksimalna temperaturna razlika između vratila i mikrometra je $10 \text{ }^\circ\text{C}$.
u_{TA}		Temperatura	Maksimalno odstupanje od standardne referentne temperature $20 \text{ }^\circ\text{C}$ je $\pm 15 \text{ }^\circ\text{C}$.
u_{WE}		Pogreška oblika predmeta mjerenja	Izmjerena cilindričnost je 1,5. Glavni dio cilindričnosti je izvan kružnosti; utjecaj na promjer je dva puta cilindričnost = $3 \mu\text{m}$

5.4.4.Prva iteracija

5.4.4.1 Prva iteracija - Dokumentacija i proračun komponenti nesigurnosti

u_{ML} -Mikrometar- pogreška pokazivanja

Procjena tipa B

MPE_{ML} za mjerne karakteristike kao što su pogreška pokazivanja mikrometra za vanjska mjerenja se definira kao maksimalni raspon krivulje pogreške pokazivanja i nije povezan sa nultom pogreškom pokazivanja. Položaj krivulje pogreške pokazivanja prema nultoj pogreški je neovisna mjerna karakteristika.

U ovom slučaju pretpostavlja se da je krivulja pogreške pokazivanja pozicionirana tijekom postupka umjeravanja, tako da su najveća negativna i pozitivna pogreška pokazivanja jednake apsolutne vrijednosti.

Konačna vrijednost MPE_{ML} još nije određena; to je jedan od zadataka proračuna nesigurnosti. Kao inicijalno podešenje za MPE_{ML} je odabrano $6 \mu\text{m}$. Zbog spomenutog postupka određivanja nule, granična vrijednost pogreške je:

$$a_{ML} = \frac{6 \mu\text{m}}{2} = 3 \mu\text{m}$$

Pretpostavljamo pravokutnu distribuciju ($b = 0,6$):

$$u_{ML} = 3 \mu\text{m} \times 0,6 = 1,8 \mu\text{m}$$

u_{MF} - Ravnost mjernih površina kod mikrometra

Procjena tipa B

Odstupanje od ravnosti se događa kod mjerenja promjera na vratilima, dok se umjeravanje krivulje pogreške pokazivanja provodi na planparalelnim mjerkama.

Konačna vrijednost MPE_{MF} još nije određena; to je jedan od zadataka proračuna nesigurnosti. Kao inicijalno podešenje za MPE_{MF} je odabrano $1 \mu\text{m}$. MPE_{MF} utječe dvaput na mjernu nesigurnost za vreteno i nakovanj. Pretpostavlja se Gaussova raspodjela ($b = 0,5$):

$$u_{MF} = 1 \mu\text{m} \times 0,5 = 0,5 \mu\text{m}$$

u_{MP} – Paralelnost mjernih površina kod mikrometra**Procjena tipa B**

Odstupanje od paralelnosti se događa kod mjerenja promjera na vratilima, dok se umjeravanje krivulje pogreške pokazivanja provodi na planparalelnim mjerkama.

Konačna vrijednost MPE_{MP} još nije određena; to je jedan od zadataka proračuna nesigurnosti. Kao inicijalno podešenje za MPE_{MP} je odabrano $2 \mu\text{m}$. Pretpostavlja se Gaussova raspodjela ($b = 0,5$):

$$a_{MP} = 2 \mu\text{m}$$

$$u_{MP} = 2 \mu\text{m} \times 0,5 = 1 \mu\text{m}$$

 u_{RR} –Ponovljivost/Razlučivost**Procjena tipa A**

Sva tri mjeritelja imaju istu ponovljivost. To je ispitano u eksperimentu gdje su se \emptyset 25mm etalona duljine (mjerni valjčići) koristila kao „predmeta mjerenja“ stoga pogreška oblika pravih predmeta mjerenja nije uključena u istraživanje ponovljivosti. Svi mjeritelja su proveli 15 mjerenja. Zajedničko standardno odstupanje je

$$u_{RR} = 1,2 \mu\text{m}$$

Komponenta nesigurnosti kod razlučivosti u_{RA} , je uključena u u_{RR} , u ovom slučaju ($u_{RA} < u_{RE}$)

 u_{NP} - Odstupanje nulte točke između tri mjeritelja**Procjena tipa A**

U istom eksperimentu koji smo koristili za ponovljivost smo ispitali i razlike između nulte točke između osoba koje vrše mjerenje i koje vrše umjeravanje:

$$u_{NP} = 1 \mu\text{m}$$

 u_{TD} - Temperaturna razlika**Procjena tipa B**

Temperaturna razlika između mikrometra i predmeta mjerenja je maksimalno $10 \text{ }^\circ\text{C}$, s tim da nemamo informaciju koji od njih ima višu temperaturu, tako da smo pretpostavili $\pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$. Linearni koeficijent toplinske rastezljivosti α je za mikrometar i predmet mjerenja pretpostavljen i iznosi $1,1 \mu\text{m} / (100 \text{ mm} \times \text{ }^\circ\text{C})$. Granična vrijednost je :

$$a_{TD} = \Delta T \times \alpha \times D = 10 \text{ }^\circ\text{C} \times 1,1 \frac{\mu\text{m}}{(100 \text{ mm} \times \text{ }^\circ\text{C})} \times 25 \text{ mm} = 2,8 \mu\text{m}$$

Pretpostavljena je U distribucija ($b = 0,7$):

$$u_{TD} = 2,8 \mu\text{m} \times 0,7 = 1,96 \mu\text{m}$$

u_{TA} - Temperatura

Procjena tipa B

Vidljivo je da maksimalno odstupanje od standardne referentne temperature (20°C) je 15°C . Pretpostavljeno je $\pm 15^\circ\text{C}$ jer nema informacija o značaju tog odstupanja.

Pretpostavljena je 10% maksimalna razlika između dva linearna koeficijenta toplinske rastezljivosti ($a_{\text{mikrometar}}$ i $a_{\text{radni dio}}$)

Granična vrijednost je :

$$a_{TA} = 0,1 \times \Delta T_{20} \times a \times D = 0,1 \times 15^\circ\text{C} \times 1,1 \frac{\mu\text{m}}{(100 \text{ mm} \times ^\circ\text{C})} \times 25 \text{ mm} = 0,4 \mu\text{m}$$

Pretpostavljena je U distribucija ($b = 0,7$):

$$u_{TA} = 0,4 \mu\text{m} \times 0,7 = 0,28 \mu\text{m}$$

u_{WE} -Pogreška oblika predmeta mjerenja

Odstupanje od cilindričnosti vratila iznosi $1,5 \mu\text{m}$. Cilindričnost je mjerilo za odstupanje radijusa.

Utjecaj na promjer je pretpostavljen i iznosi dva puta odstupanje od cilindričnosti dok god ne postoji podatak koji bi ga smanjio. Granična vrijednost je :

$$a_{WE} = 3 \mu\text{m}$$

Pretpostavljamo pravokutnu distribuciju ($b = 0,6$):

$$u_{WE} = 1,8 \mu\text{m}$$

5.4.4.2 Prva iteracija – Korelacija između komponenti nesigurnosti

Procijenjena je, nema korelacije između komponenti nesigurnosti.

5.4.4.3 Prva iteracija – Sastavljena i proširena nesigurnost

Kad nema korelacije između komponenti nesigurnosti, sastavljena standardna nesigurnost je:

$$u_c = \sqrt{u_{ML}^2 + u_{MF}^2 + u_{MF}^2 + u_{MP}^2 + u_{RR}^2 + u_{NP}^2 + u_{TD}^2 + u_{TA}^2 + u_{WE}^2}$$

Vrijednosti iz 5.4.4.1.:

$$u_c = \sqrt{1,8^2 + 0,5^2 + 0,5^2 + 1,0^2 + 1,2^2 + 1,0^2 + 1,96^2 + 0,28^2} \mu\text{m}$$

$$u_c = 3,79 \mu\text{m}$$

$$U = u_c \times k = 3,79 \mu\text{m} \times 2 = 7,58 \mu\text{m}$$

Tablica 24. Utjecaj pojedinih komponenti nesigurnosti na u_c i u_c^2 (mjerjenja promjera 25 mm u dvije točke) [13]

Ime komponente	Izvor nesigurnosti	Komp. nesig. u_{xx} [μm]	u_{xx}^2 [μm^2]	Postotak u_c [μm]	Postotak u_c^2 [μm^2]	Izvor nesigurnosti
u_{ML} Mikrometar- pogreška pokazivanja	Mjerna oprema	1,80	3,24	23	33	Mjerna oprema
u_{MF} Mikrometar- ravnost1		0,50	0,25	2		
u_{ML} Mikrometar- ravnost2		0,50	0,25	2		
u_{MP} Mikrometar-paralelnost		1,00	1,00	7		
u_{RR} Razlučivanje	Mjeritelj	1,20	1,44	10	17	Mjeritelj
u_{NP} Odstupanje nulte točke		1,00	1,00	7		
u_{TD} Temp. razlika	Okolina	1,96	3,84	27	27	Okolina
u_{TA} Temperatura		0,28	0,08	0		
u_{WE} Pogreška oblika predmeta mjerenja	Predmet mjerenja	1,80	3,24	23	23	Predmet mjerenja
Sastavljena stand. nesigurnost u_c		3,79	14,34	100	100	

Iz tablice 24. možemo zaključiti sljedeće:

-ako je mikrometar za vanjska mjerenja potpuno bez greške, onda se U smanjuje s $7,6 \mu\text{m}$ na $6,2 \mu\text{m}$;

-ako su predmet mjerenja, okolina i mjeritelj savršeni, onda se se U smanjuje s $7,6 \mu\text{m}$ na $2,2 \mu\text{m}$;

U ovom slučaju je jasno da su komponente nesigurnosti, povezane s mjernim postupkom, dominantne komponente, a ne mjerna oprema.

Ako rezultat $U = 7,6 \mu\text{m}$ i norme ISO 14253-1 budu udovoljavale onda se tolerancija promjera predmeta mjerenja tijekom proizvodnje vratila smanjuje $2 \times 7,6 \mu\text{m} = 15,2 \mu\text{m}$. To smanjenje pri $\varnothing 25 \text{ mm}$ je jednako punoj veličini tolerancije IT6 ($13 \mu\text{m}$). Ako je U samo 10 % tolerancije predmeta mjerenja, onda je tolerancija predmeta mjerenja IT10 ($84 \mu\text{m}$). Kod manjih tolerancija vrijednost U će iznositi više od 10% tolerancije. Kod IT ($33 \mu\text{m}$) vrijednost U će iznositi 45% tolerancije tako da će za proizvodnju vratila preostati samo 10% tolerancije.

Ako će ciljana nesigurnost iznositi $6 \mu\text{m}$ umjesto $8 \mu\text{m}$, onda je nesigurnost mjerenja za prvu iteraciju prevelika ($U_{E1} = 7,6 \mu\text{m}$). Potrebno smanjenje iznosi barem $1,6 \mu\text{m}$; to je jednako smanjenju od 38 % za u^2 .

Potrebno je pogledati najdominantniju komponentu nesigurnosti, temperaturnu razliku između predmeta mjerenja i mjerne opreme. Moguće je promjenom postupka i/ili mjerenjem temperatura tijekom proizvodnje smanjiti tu komponentu od 29% (29% od u_c^2) na gotovo nulu.

Intenzivno usavršavanje tri mjeritelja će rezultirati smanjenjem ponovljivosti u_{RR} i odstupanja između njihovih nultnih točaka u_{NP} . Time ćemo odbaciti i do 15 % od neophodnog 38 %-og smanjenja.

Kad se izvodi samo jedno mjerenje predmeta mjerenja, onda je komponentu nesigurnosti koja potječe od pogreške oblika predmeta mjerenja nemoguće smanjiti. Ako se broj mjerenja poveća onda se ta komponenta može smanjiti. Provođenje četiri mjerenja te korištenje srednje vrijednosti uzrokuje smanjenje od 20 % od potrebnih 38%, ali kao posljedica se javlja porast vremena mjerenja (a vrijeme je često novac). U ovom slučaju postoji mnogo načina na koje se može smanjiti nesigurnost mjerenja, a koji način ćemo odabrati može se procijeniti na temelju minimiziranja troškova smanjenja. Troškovi uvijek trebaju biti vodilja koja upućuje kako smanjiti nesigurnost mjerenja.

U ovom slučaju smanjenje komponenti mikrometra nije realna mogućnost, jedino rješenje je odabir opreme s nižim MPE vrijednostima. To je ekonomski razumno rješenje ako je ujedno smanjeno i vrijeme mjerenja te ako je moguće mjeriti nekoliko promjera bez utjecaja mjeritelja na postupak mjerenja. To bi dovelo proširenu nesigurnost sa $U= 7,6 \mu\text{m}$ na $2,6 \mu\text{m}$.

5.4.4.4. Zaključak za prvu iteraciju

Kao što je pokazano u primjeru početne postavke tri vrijednosti MPE mikrometra su dovoljne za postizanje ciljane nesigurnosti i pravog mjernog zadatka. Zahtjevi za mikrometar:

- krivulja pogreške (max. - min.); $MPE_{ML}= 6 \mu\text{m}$ (bilateralna specifikacija)
- Ravnost mjernih površina; $MPE_{MF}= 1 \mu\text{m}$ (unilateralna specifikacija)
- paralelnost između mjernih površina $MPE_{MP}= 2 \mu\text{m}$ (unilateralna specifikacija)

Mikrometar bi trebao zadovoljavati s tim zahtjevima, ali umanjeno, zbog prisutnih nesigurnosti tijekom umjernih mjerenja (U_{SF} i U_{SP}) odnosno prema ISO 14253-1.

Prilikom umjeravanja mikrometra potrebno je znati tri nesigurnosti.

5.4.5. Druga iteracija

U ovom slučaju nije potrebna druga iteracije. Moguće je malo smanjenje vrijednosti U u prvoj iteraciji. Iz prikazanog se vidi da nije moguće veliko smanjenje vrijednosti bez velikih promjena mjerne metode i postupka.

6. ZAKLJUČAK

U radu je dana teorijska i eksperimentalna razrada postupka za procjenu mjerne nesigurnosti rezultata mjerenja i umjeravanja kod primjene ručnih mjerila duljine. U prvom dijelu su navedeni osnovni mjeriteljski pojmovi te je dan postupak procjene mjerne nesigurnosti. U nastavku su opisana tipična ručna mjerila duljine, njihova podjela prema konstrukcijskim izvedbama i postupak umjeravanja. Poseban naglasak je dan na procjenu mjerne nesigurnosti kod primjene pomičnog mjerila i mikrometra. Prilikom uporabe pomičnih mjerila i mikrometara utjecaji na nesigurnost proizlaze iz pogrešaka uslijed odstupanja od ravnosti, paralelnosti te okomitosti mjernih površina, razlučivosti mjernog instrumenta, ponovljivosti rezultata mjerenja te zbog ne primjenjivanja korekcija utvrđenih umjeravanjem mjerila. Osim navedenih utjecaja dominantne komponente na mjernu nesigurnost su odstupanje temperature od referentne vrijednosti te utjecaj mjeritelja koji se očituje kroz obnovljivost mjernih rezultata. U radu dani proračuni su pojednostavljeni, ali će dostajati za primjenu u većini slučajeva. Može se zaključiti da je nesigurnost rezultata mjerenja moguće smanjiti osiguravanjem temperaturnih uvjeta, stalnom izobrazbom mjeritelja te povećavanjem broja mjerenja. Pri tome treba voditi računa o minimiziranju troškova te o ekonomskoj opravdanosti smanjenja mjerne nesigurnosti.

7 .LITERATURA

- [1] JCGM 100:2008 Vrednovanje mjernih podataka – Upute za iskazivanje mjerne nesigurnosti
- [2] JCGM 200:2008 Međunarodni mjeriteljski rječnik – Osnovni i opći pojmovi i pridruženi nazivi (VIM)
- [4] Flack, D. : Measurement Good Practice Guide No. 40- Callipers and Micrometers, United Kingdom 2001.
- [4] Runje, B.: Predavanja iz kolegija Teorija i tehnika mjerenja, Zagreb, 2013.
- [5] Runje, B., Baršić, G. ; Kralj, H.: Utjecaj kvalitete mjernog sustava na procjenu sposobnosti procesa, Zagreb, 2011.
- [6] Mitutoyo: Quick guide to measurement (precision instruments in dimensional metrology)
- [7] Mahović S., Mudronja V., Habek T. :Postupak za umjeravanje komparatora, 4.izdanje, Zagreb 2013.
- [8] Baršić G., Mahović S., Mudronja V.: Postupak za umjeravanje mjernih ura, 3.izdanje, Zagreb, 2013.
- [9] Habek T., Mahović S., Mudronja V.: Postupak za umjeravanje mjerila debljine s mjernom urom,1.izdanje, Zagreb, 2013.
- [10] Baršić G., Mahović S., Mudronja V. :Postupak za umjeravanje pomičnih mjerila, 3.izdanje; Zagreb,2013
- [11] Baršić G., Mahović S., Mudronja V.: Postupak za umjeravanje mikrometara za vanjska mjerenja, 5.izdanje, Zagreb,2013
- [12] Baršić G., Mahović S., Mudronja V.: Postupak za umjeravanje trokrakih mikrometara,4.izdanje, Zagreb,2013
- [13] ISO 14253-2- Annex B: Example of uncertainty budgets-Design of calibration hierarchy
- [14] Runje, B.: Vježbe iz kolegija Teorija i tehnika mjerenja, Zagreb, 2013.
- [15] Priručnik o kvaliteti, LFSB, izdanje 11. Zagreb, 2009.
- [16] <http://www.fsb.unizg.hr/zsk/lfsb/?action=lfsb&action1=lfsb&action2=lfsb>

8. PRILOZI

Prilog br.1

RADNA PODLOGA ZA UMJERAVANJE POMIČNOG MJERILA

RADNA PODLOGA ZA UMJERAVANJE POMIČNOG MJERILA

Broj: _____

Datum: _____

PODACI O MJERILU:

Naziv:		Nazivna duljina:	Proizvođač:
Oznaka:	Serijski broj:	Korisnik:	

8	PRETHODNA ISPITIVANJA ŠTAPNOG KONTROLNIKA	REZULTAT	
8.1	Postoje identifikacijske oznake	da	ne
8.2	Mjerne površine neoštećene	da	ne
8.3	Mjerne skale (linije i brojke) su dobro uočljive	da	ne
8.4	Kočnica ispravno funkcionira	da	ne
8.5	Mikropodešivač ispravno funkcionira	da	ne
8.6	Klizač klizi ravnomjerno	da	ne
Ostala zapažanja:			

Može se provesti postupak umjeravanja: **DA** **NE**

REZULTATI MJERENJA

Vrijednosti u mm

9.3.1 VANJSKA MJERENJA							
Nazivna vrijednost	Odstupanje	Mjerna nesigurnost	Dopušteno odstupanje	Nazivna vrijednost	Odstupanje	Mjerna nesigurnost	Dopušteno odstupanje
9.3.2 UNUTARNJA MJERENJA				9.3.3 MJERNA IGLA			
Nazivna vrijednost	Odstupanje	Mjerna nesigurnost	Dopušteno odstupanje	Nazivna vrijednost	Odstupanje	Mjerna nesigurnost	Dopušteno odstupanje
9.2.1 NEPARALELNOST UNUTARNJIH POVRŠINA				9.2.2 NEPARALELNOST VANJSKIH POVRŠINA			
Položaj	Rezultat mjerenja	Razlika	Dopušteno odstupanje	Položaj	Rezultat mjerenja	Razlika	Dopušteno odstupanje
1 – Vrh šiljaka				1 - Vrh kljunova			
2 – Korjen šiljaka				2 - Korjen kljunova			
Mjerna nesigurnost				Mjerna nesigurnost			

Za mjerilo izdati: **Potvrdu o umjeravanju**
(nepotrebno precrtati)

Izvešće o mjerenju

Ispitivanje izvršio:

Provjerio:

Podaci o mjernom postupku:

Referentni etalon:	Garnitura planparalelnih graničnih mjerki Proizvođač: Mjerno područje: Oznaka:
Mjerna oprema:	Garnitura planparalelnih graničnih mjerki Proizvođač: Mjerno područje: Oznaka:
	Garnitura planparalelnih graničnih mjerki Proizvođač: Mjerno područje: Oznaka:
	Garnitura planparalelnih graničnih mjerki Proizvođač: Mjerno područje: Oznaka:
	Mjerna ploča Proizvođač: Oznaka:
	Kontrolni mjerni prsten Proizvođač: Oznaka:
	Pasametar Proizvođač: Mjerno područje: Oznaka:
	Pasametar Proizvođač: Mjerno područje: Oznaka:
	Digitalni visinomjer Proizvođač: Mjerno područje: Oznaka:
	Lupa sa osvjetljenjem Proizvođač: Oznaka:
	Stezna naprava Proizvođač: Oznaka:
Temperatura okoliša:	$(20 \pm 1) \text{ }^{\circ}\text{C}$

Napomena: Znakom "X" označiti korištene etalone

Prilog br.2

RADNA PODLOGA ZA UMJERAVANJE MIKROMETRA ZA VANJSKA MJERENJA

RADNA PODLOGA ZA UMJERAVANJE MIKROMETRA ZA VANJSKA MJERENJA

Broj: _____

Datum: _____

PODACI O MJERILU:

Naziv:		Nazivna duljina:	Proizvođač:
Oznaka:	Serijski broj:	Korisnik:	

8	PRETHODNA ISPITIVANJA	REZULTAT	
8.1	Postoje identifikacijske oznake	da	ne
8.2	Mjerne površine neoštećene	da	ne
8.3	Mjerne skale (linije i brojke) su dobro uočljive	da	ne
8.4	Kočnica ispravno funkcionira	da	ne
8.5	Vreteno se ravnomjerno okreće duž cijelog mjernog područja	da	ne
Ostala zapažanja:			

Može se provesti postupak umjeravanja: **DA** **NE**

REZULTATI MJERENJA

MJERNA POGREŠKA						NERAVNOST MJERNIH POVRŠINA		
Referentna vrijednost <i>mm</i>	Odstupanje μm			f_{max} μm		Mjerna površina	Neravnost μm	
	1	2	Sr.vr.	Izmjer.	Dop.od st..		Izmjereno	Dop. odstup.
A =						Nakovanj		
A + 2,5						Vreteno		
A + 5,1						U = μm		
A + 7,7						NEPARALELNOST MJERNIH POVRŠINA		
A + 10,3						Debljina stakla <i>mm</i>	Neparalelnost, μm	
A + 12,9						Izmjereno		Dop. odstup.
A + 15,0						L1=		
A + 17,6						L2=		
A + 20,2						L3=		
A + 22,8						L4=		
A + 25,0						U = μm		
U = μm						MJERNA SILA		
NESIMETRIČNOST MJERNIH POVRŠINA						Izmjereno, N	Dopušteno, N	
Izmjereno μm		U μm		Dopušteno μm				
						U = N		

Za mjerilo izdati: **Potvrdu o umjeravanju**
(nepotrebno precrtati)

Izvešće o mjerenju

Ispitivanje izvršio:

Provjerio:

Podaci o mjernom postupku:

Referentni etalon:	Garnitura planparalelnih graničnih mjerki Proizvođač: Mjerno područje: Oznaka:
Mjerna oprema:	Garnitura planparalelnih graničnih mjerki Proizvođač: Mjerno područje: Oznaka:
	Garnitura planparalelnih graničnih mjerki Proizvođač: Mjerno područje: Oznaka:
	Garnitura planparalelnih graničnih mjerki Proizvođač: Mjerno područje: Oznaka:
	Garnitura planparalelnih kontrolnih stakala Proizvođač: Mjerno područje: Oznaka:
	Staklo za kontrolu ravnoće Proizvođač: Oznaka:
	Univerzalni mjerni mikroskop Proizvođač: Oznaka:
	Tehnička vaga Proizvođač: Oznaka:
	Stalak za mikrometar Oznaka:
Temperatura okoliša:	(20±1)°C

Napomena: Znakom "X" označiti korištene etalone

Prilog br.3

RADNA PODLOGA ZA UMJERAVANJE TROKRAKIH MIKROMETARA

RADNA PODLOGA ZA UMJERAVANJE TROKRAKIH MIKROMETARA

Broj: _____

Datum: _____

PODACI O MJERILU:

Naziv:		Mjerno područje:	Proizvođač:
Oznaka:	Serijski broj:	Korisnik:	

8	PRETHODNA ISPITIVANJA	REZULTAT	
8.1	Postoje identifikacijske oznake	da	ne
8.2	Crte i brojevi podjele na mjernoj skali dobro uočljivi	da	ne
8.3	Mjerna kapica se može mijenjati	da	ne
8.4	Tolerancijski indikatori se mogu zakretati	da	ne
8.5	Okretanje kazaljke je ravnomjerno	da	ne
8.6	Okretanje skale radi postavljanja nultog položaja je dobro	da	ne
Ostala zapažanja:			

Može se provesti postupak umjeravanja: **DA** **NE**

MJERNA POGREŠKAVrijednosti u μm

Nazivna mjera	Izmjereno odstupanje		Raspon odstupanja (f_e)	Ukupno odstupanje (f_{ges})	Raspon odst. u istom mjestu (f_u)	Mjerna nesigurnost
	↑	↓				

Vrijednosti u μm

Nazivna mjera	Odstupanja oko najvećih izmjerenih vrijednosti iz prethodne tablice		Raspon odstupanja (f_t)	Mjerna nesigurnost
	↑	↓		

PONOVLJIVOST

Mjerenje broj	Izmjereno odstupanje μm	Ukupno odstupanje (f_w) μm	Mjerna nesigurnost μm
1			
2			
3			
4			
5			

MJERNA SILA

Mjesto mjerenja	Izmjerena vrijednost	Srednja vrijednost(f_k)	Mjerna nesigurnost
Početak mjernog područja, N			
Sredina mjernog područja, N			
Kraj mjernog područja, N			

Dopuštena odstupanja

Podjela skale μm	f_e podjele	f_t podjele	f_{ges} podjele	f_u podjele	f_w podjele
<1	1,0	0,7	1,2	0,5	0,5
>1				0,3	0,3

Za mjerilo izdati:
(nepotrebno precrtati)

Potvrdu o umjeravanju

Izvešće o mjerenju

Mjerenja izvršio:

Provjerio:

Podaci o mjernom postupku:

Referentni etalon:	Garnitura planparalelnih graničnih mjerki Proizvođač: Mjerno područje: Oznaka:
Mjerna oprema:	Uređaj za ispitivanje mjernih ura Proizvođač: Oznaka:
	Elektronski komparator Proizvođač: Oznaka:
	Univerzalni uređaj za mjerenje duljina Oznaka:
	Tehnička vaga Proizvođač: Oznaka:
Temperatura okoliša:	$(20 \pm 1) \text{ }^{\circ}\text{C}$

Napomena: Znakom "X" označiti korištene etalone (mjerna sredstva).

Prilog br.4

RADNA PODLOGA ZA UMJERAVANJE KOMPARATORA

RADNA PODLOGA ZA UMJERAVANJE KOMPARATORA

Broj: _____

Datum: _____

PODACI O MJERILU:

Naziv:		Mjerno područje:	Proizvođač:
Oznaka:	Serijski broj:	Korisnik:	

8	PRETHODNA ISPITIVANJA	REZULTAT	
8.1	Postoje identifikacijske oznake	da	ne
8.2	Crte i brojevi podjele na mjernoj skali dobro uočljivi	da	ne
8.3	Mjerna kapica se može mijenjati	da	ne
8.4	Tolerancijski indikatori se mogu zakretati	da	ne
8.5	Okretanje kazaljke je ravnomjerno	da	ne
8.6	Okretanje skale radi postavljanja nultog položaja je dobro	da	ne

Ostala zapažanja:

Može se provesti postupak umjeravanja: **DA** **NE**

9.2 MJERNA POGREŠKA

Vrijednosti u μm

Nazivna mjera	Izmjereno odstupanje		Raspon odstupanja (f_e)	Ukupno odstupanje (f_{ges})	Raspon odst. u istom mjestu (f_u)	Mjerna nesigurno st
	↑	↓				

9.3 PONOVLJIVOST

Mjerenje broj	Izmjereno odstupanje μm	Ukupno odstupanje (f_w) μm	Mjerna nesigurnost μm
1			
2			
3			
4			
5			

9.4 MJERNA SILA

Mjesto mjerenja	Izmjerena vrijednost	Srednja vrijednost (f_k)	Mjerna nesigurnost
Početak mjernog područja, N			
Sredina mjernog područja, N			
Kraj mjernog područja, N			

Dopuštena odstupanja

Podjela skale μm	f_e podjele	f_t podjele	f_{ges} podjele	f_u podjele	f_w podjele
<1	1,0	0,7	1,2	0,5	0,5
>1				0,3	0,3

Za mjerilo izdati:

Potvrdu o umjeravanju

Izvešće o mjerenju

(nepotrebno precrtati)

Mjerenja izvršio:

Provjerio:

Podaci o mjernom postupku:

Referentni etalon:	Garnitura planparalelnih graničnih mjerki Proizvođač: Mjerno područje: Oznaka:
Mjerna oprema:	Uređaj za ispitivanje mjernih ura Proizvođač: Mjerno područje: Oznaka:
	Elektronski komparator Proizvođač: Oznaka:
	Univerzalni uređaj za mjerenje Oznaka:
	Tehnička vaga Proizvođač: Oznaka:
Temperatura okoliša:	$(20 \pm 1) ^\circ\text{C}$

Napomena: Znakom "X" označiti korištene etalone (mjerna sredstva).

Prilog br.5

RADNA PODLOGA ZA UMJERAVANJE MJERNIH URA

RADNA PODLOGA ZA UMJERAVANJE MJERNIH URA

Broj: _____

Datum: _____

PODACI O MJERILU:

Naziv:		Mjerno područje:	Proizvođač:
Oznaka:	Serijski broj:	Korisnik:	

8	PRETHODNA ISPITIVANJA	REZULTAT	
8.1	Postoje identifikacijske oznake	da	ne
8.2	Crte i brojevi podjele na mjernoj skali dobro uočljivi	da	ne
8.3	Mjerna kapica se može mijenjati	da	ne
8.4	Tolerancijski indikatori ispravno funkcioniraju	da	ne
8.5	Kretanje kazaljke te kretanje ticala je ravnomjerno	da	ne
8.6	Skala s podjelom se može zakretati radi postavljanja u nulti položaj	da	ne
Ostala zapažanja:			

Može se provesti postupak umjeravanja: **DA** **NE**

MJERNA SILA

Mjesto mjerenja	Izmjerena vrijednost	Srednja vrijednost (f_k)	Mjerna nesigurnost
Početak mjernog područja, N			
Sredina mjernog područja, N			
Kraj mjernog područja, N			

Za mjerilo izdati:
(nepotrebno precrtati)

Potvrdu o umjeravanju

Izvešće o mjerenju

Mjerenja izvršio:

Provjerio:

Podaci o mjernom postupku:

Referentni etalon:	Garnitura planparalelnih graničnih mjerki Proizvođač: Mjerno područje: Oznaka:
Radni etaloni:	Garnitura planparalelnih graničnih mjerki Mjerno područje: Oznaka:
Mjerna oprema:	Uređaj za ispitivanje mjernih ura Proizvođač: Oznaka:
	Univerzalni uređaj za mjerenje dužina Proizvođač: Oznaka:
	Tehnička vaga Proizvođač: Oznaka:
Temperatura okoliša:	$(20 \pm 1) ^\circ\text{C}$

Napomena: Znakom "X" označiti korištene etalone (mjerna sredstva).

Prilog br.6

**RADNA PODLOGA ZA UMJERAVANJE MJERILA DEBLJINE S
MJERNOM UROM**

RADNA PODLOGA ZA UMJERAVANJE MJERILA DEBLJINE S MJERNOM UROM

Broj: _____

Datum: _____

PODACI O MJERILU:

Naziv:		Mjerno područje:	Proizvođač:
Oznaka:	Serijski broj:	Korisnik:	

8	PRETHODNA ISPITIVANJA	REZULTAT	
8.1	Postoje identifikacijske oznake	da	ne
8.2	Mjerne površine neoštećene	da	ne
8.3	Poluga ispravno funkcionira	da	ne
8.4	Brojevnne oznake na mjernoj uri su uočljive	da	ne
Ostala zapažanja:			

Može se provesti postupak umjeravanja: **DA** **NE**

MJERNA POGREŠKA

Nazivna mjera, mm	Mjerna pogreška, μm		Ukupna mjerna pogreška (f_{ges}), μm	Mjerna nesigurnost (U), μm
	\uparrow	\downarrow		

Za mjerilo izdati:
(nepotrebno precrtati)

Potvrdu o umjeravanju

Izvešće o mjerenju

Mjerenja izvršio:

Provjerio:

Podaci o mjernom postupku:

Referentni etalon:	Garnitura planparalelnih graničnih mjerki Proizvođač: Mjerno područje: Oznaka:
Radni etaloni:	Garnitura planparalelnih graničnih mjerki Proizvođač: Oznaka:
	Niz kontrolnih prstena RET ...-....
Temperatura okoliša:	$(20 \pm 1) ^\circ\text{C}$

Napomena: Znakom "X" označiti korištene etalone (mjerna sredstva).

PRILOZI

I. CD-R disk