

Utvrđivanje točnosti rezultata mjerenja promjera ostvarenih ručnim mjerilima duljine

Cindrić Gašparović, Toni

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

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:235:650352>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-11**

Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogradnje

ZAVRŠNI RAD

Toni Cindrić Gašparović

Zagreb, 2021.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogradnje

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Izv. prof. dr. sc. Gorana Baršić, dipl. ing.

Student:

Toni Cindrić Gašparović

Zagreb, 2021.

Izjavljujem da sam ovaj završni rad izradio samostalno uz stručnu pomoć dr. sc. Gorane Baršić, dipl. ing., koristeći znanja stečena tijekom studija te navedenu literaturu i rezultate dobivene ispitivanjem u eksperimentalnom dijelu.

Zahvaljujem se svima koji su mi pomagali prilikom izrade ovog rada, iskrena zahvala tehničkom suradniku Tomislavu Habeku mag. ing., na pruženoj pomoći u eksperimentalnom dijelu rada. Posebno se zahvaljujem mentorici dr. sc. Gorani Baršić, dipl. ing., na savjetima, strpljenju i pruženoj stručnoj pomoći.

Zahvaljujem se svojoj obitelji, roditeljima te prijateljima koji su mi ljubavljju, podrškom i savjetima tijekom studija omogućili da se popnem na višu razinu obrazovanja. Posebnu čestitku upućujem svojoj majci koja je jedina osoba u mome životu s nevjerojatnom količinom strpljenja koja mi nikada nije postavila pitanje „Pa kad ćeš ti više završit taj svoj faks?“.

Toni Cindrić Gašparović



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomске ispite
Povjerenstvo za završne i diplomске 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: 602 - 04 / 21 - 6 / 1	
Ur.broj: 15 - 1703 - 21 -	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Toni Cindrić Gašparović** JMBAG: **0035199874**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Utvrđivanje točnosti rezultata mjerenja promjera ostvarenih ručnim mjerilima duljine**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Accuracy analysis of diameter results obtained using hand measuring instruments**

Opis zadatka:

1. Opisati sastavnice mjernog jedinstva, posebice mjeriteljsku sljedivost.
2. Dati pregled konstrukcijskih i tehničkih karakteristika mikrometara za unutarnja mjerenja, trokrakih mikrometara i pomičnih mjerila.
3. Provesti mjerenja unutarnjih promjera nazivnih vrijednosti do 10 mm korištenjem mikrometra za unutarnja mjerenja, trokrakog mikrometara i pomičnog mjerila.
4. Procijeniti mjernu nesigurnost rezultata mjerenja promjera.
5. Provesti usporedbu ostvarenih rezultata i komentirati ostvarene točnosti.
6. U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

6. svibnja 2021.

Datum predaje rada:

2. rok (izvanredni): 5. srpnja 2021.
3. rok: 23. rujna 2021.

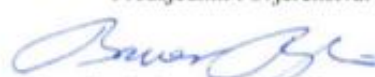
Predviđeni datumi obrane:

2. rok (izvanredni): 9.7.2021.
3. rok: 27.9. – 1.10.2021.

Zadatak zadao:


Izy.prof. Gorana Baršić

Predsjednik Povjerenstva:


Prof. dr. sc. Braňko Bauer

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA	IV
POPIS OZNAKA	V
SAŽETAK	VI
SUMMARY	VII
1. UVOD	1
TEORIJSKI DIO	2
2. MJERITELJSKA SLJEDIVOST	3
2.1. Umjeravanje	3
2.2 Mjeriteljska sljedivost	6
2.2.1. Elementi sljedivosti	6
2.2.2. Osiguranje ostvarenja sljedivosti.....	7
2.2.3. Sljedivost kroz referentne materijale.....	8
2.2.4. Etaloni	8
3. RUČNA MJERILA ZA UNUTARNJA MJERENJA	10
3.1. Pomično mjerilo	10
3.2. Trokraki mikrometar	12
3.3. Mikrometar za unutarnja mjerenja	14
PRAKTIČNI DIO	16
4. PROVEDBA I REZULTATI MJERENJA PROMJERA	17
4.1. Mjerni kontrolni prsteni promjera \varnothing 8 mm / \varnothing 8,5 mm / \varnothing 9 mm / \varnothing 9,5 mm te \varnothing 10 mm	17
4.2. Korištena ručna mjerila	19
4.2.1. Ručno pomično mjerilo	19
4.2.2. Trokraki mikrometar	20
4.2.3. Mikrometar za unutarnja mjerenja	20
4.3. Rezultati mjerenja.....	21
4.3.1. Mjerni kontrolni prsten promjera \varnothing 10 mm	21
4.3.2. Mjerni kontrolni prsten promjera \varnothing 8 mm	22
4.3.3. Mjerni kontrolni prsten promjera \varnothing 8,5 mm	23
4.3.5. Mjerni kontrolni prsten promjera \varnothing 9,5 mm	24
4.3.6. Mjerni kontrolni prsten promjera \varnothing 10 mm	25
5. PROCJENA MJERNE NESIGURNOSTI	26

5.1. MJERNA NESIGURNOST	26
5.2. Procjena mjerne nesigurnosti rezultata ostvarenih pomičnim mjerilom	28
5.3. Procjena mjerne nesigurnosti rezultata ostvarenih mikrometrom za unutarnja mjerenja.....	29
5.4. Procjena mjerne nesigurnosti rezultata ostvarenih trokrakim mikrometrom	29
5.5. Usporedba i analiza rezultata mjerenja.....	30
5.6. Analiza mjerenja pojedinih kontrolnih mjerila.....	31
5.6.1. Analiza mjerenja kontrolnog prstena unutarnjeg promjera \varnothing 8 mm	32
5.6.2. Analiza mjerenja kontrolnog prstena unutarnjeg promjera \varnothing 8,5 mm	33
5.6.3. Analiza mjerenja kontrolnog prstena unutarnjeg promjera \varnothing 9 mm	34
5.6.4. Analiza mjerenja kontrolnog prstena unutarnjeg promjera \varnothing 9,5 mm	35
5.6.5. Analiza mjerenja kontrolnog prstena unutarnjeg promjera \varnothing 10 mm	36
ZAKLJUČAK	37
LITERATURA:.....	39
PRILOZI.....	41

POPIS SLIKA

Slika 1. Segmenti mjeriteljske sljedivosti.....	6
Slika 2. Lanac sljedivosti	7
Slika 3. Klasično pomično mjerilo s navedenim dijelovima [7]	10
Slika 4. Pomično mjerilo s mjernom urom [8].....	11
Slika 5. Digitalno pomično mjerilo [9]	11
Slika 6. Trokraki mikrometar [10].....	12
Slika 7. Digitalni trokraki mikrometar [12]	13
Slika 8. Digitalni trokraki mikrometar – Pištolj verzija [12]	14
Slika 9. Mikrometar za unutarnja mjerenja [13]	14
Slika 10. Digitalni mikrometar za unutarnja mjerenja [14]	15
Slika 11. Mjerni kontrolni prsten promjera \varnothing 8 mm	17
Slika 12. Mjerni kontrolni prsten promjera \varnothing 8,5 mm	18
Slika 13. Mjerni kontrolni prsten promjera \varnothing 9 mm	18
Slika 14. Mjerni kontrolni prsten promjera \varnothing 9,5 mm	18
Slika 15. Mjerni kontrolni prsten promjera \varnothing 10 mm	19
Slika 16. Ručno pomično mjerilo tvrtke Roch France.....	19
Slika 17. Trokraki mikrometar tvrtke Mitutoyo.....	20
Slika 18. Mikrometar za unutarnja mjerenja.....	20
Slika 19. GUM metoda.....	26
Slika 20. Grafički prikaz rezultata mjerenja kontrolnog prstena promjera \varnothing 8 mm	32
Slika 21. Grafički prikaz rezultata mjerenja kontrolnog prstena promjera \varnothing 8,5 mm	33
Slika 22. Grafički prikaz rezultata mjerenja kontrolnog prstena promjera \varnothing 9 mm	34
Slika 23. Grafički prikaz rezultata mjerenja kontrolnog prstena promjera \varnothing 9,5 mm	35
Slika 24. Grafički prikaz rezultata mjerenja kontrolnog prstena promjera \varnothing 10 mm	36

POPIS TABLICA

Tablica 1. Omjer između etalona i mjerila s ciljem utvrđivanja točnosti [3]	4
Tablica 2. Rezultati mjerenja kontrolnog prstena promjera \varnothing 10 mm	21
Tablica 3. Rezultati mjerenja kontrolnog prstena promjera \varnothing 8 mm	23
Tablica 4. Rezultati mjerenja kontrolnog prstena promjera \varnothing 8,5 mm	23
Tablica 5. Rezultati mjerenja kontrolnog prstena promjera \varnothing 9 mm	24
Tablica 6. Rezultati mjerenja kontrolnog prstena promjera \varnothing 9,5 mm	25
Tablica 7. Rezultati mjerenja kontrolnog prstena promjera \varnothing 10 mm	25
Tablica 8. Tablica mjerne nesigurnosti za pomično mjerilo	28
Tablica 9. Tablica mjerne nesigurnosti za mikrometar za unutarnja mjerenja	29
Tablica 10. Tablica mjerne nesigurnosti za trokraki mikrometar	29
Tablica 11. Analiza rezultata mjerenja za kontrolni prsten unutarnjeg promjera \varnothing 8 mm.....	32
Tablica 12. Analiza rezultata mjerenja za kontrolni prsten unutarnjeg promjera \varnothing 8,5 mm.....	33
Tablica 13. Analiza rezultata mjerenja za kontrolni prsten unutarnjeg promjera \varnothing 9 mm.....	34
Tablica 14. Analiza rezultata mjerenja za kontrolni prsten unutarnjeg promjera \varnothing 9,5 mm.....	35
Tablica 15. Analiza rezultata mjerenja za kontrolni prsten unutarnjeg promjera \varnothing 10 mm.....	36

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
P	-	Razina povjerenja
k	-	Faktor pokrivanja
\varnothing	mm	Promjer
\bar{x}	mm	Aritmetička sredina
s	mm	Procijenjeno standardno odstupanje
U	mm	Proširena mjerna nesigurnost
E_n	-	Faktor slaganja
x_{rm}	mm	Rezultat mjerenja pojedinog ručnog mjerila
x_{ref}	mm	Rezultat referentne vrijednosti
$u(x_{rm})$	mm	Mjerna nesigurnost pojedinog ručnog mjerila
$u(x_{ref})$	mm	Mjerna nesigurnost referentne vrijednosti
R_B	-	Birgeov kriterij (koeficijent)
R_{Bgr}	-	Granični Birgeov kriterij (koeficijent)
u_{ext}	mm	Eksterna mjerna nesigurnost
u_{int}	mm	Interna mjerna nesigurnost
n	-	Broj ručnih mjerila

SAŽETAK

Mjerenje unutarnjih promjera čest je mjeriteljski zadatak u realnim proizvodnim uvjetima. Shodno tome, svaki mjerni rezultat pa tako i rezultat mjerenja unutarnjeg promjera potrebno je iskazati u obliku cjelovite mjeriteljske informacije. Cjelovita mjeriteljska informacija se sastoji od mjernog rezultata i mjerne nesigurnosti, uz faktor pokrivanja i informaciju o razini vjerojatnosti.

Stoga su u ovom završnom radu provedena mjerenja unutarnjih promjera na pet kontrolnih prstena korištenjem tri različita ručna mjerila (pomično mjerilo, mikrometar za unutarnja mjerenja te trokraki mikrometar). Mjerenja su provedena u Nacionalnom laboratoriju za mjerenja dužina koji se nalazi na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu.

Prije samog početka eksperimentalnog dijela detaljno su proučena pojedina mjerila koja se danas koriste u praksi za mjerenje unutarnjih promjera te njihove glavne karakteristike i načini na koje se koriste što je detaljno objašnjeno i opisano kasnije u ovom radu.

U eksperimentalnom dijelu rada navedene su značajke korištenih ručnih mjerila i korištenih kontrolnih prstena. Nakon što su ostvareni mjerni rezultati i procijenjene mjerne nesigurnosti provedena je usporedba rezultata s referentnom vrijednošću odnosno vrijednosti koja je navedena u važećoj Potvrdi o umjeravanju mjernog prstena. Na temelju rezultata provedene analize u zaključku rada raspravlja se o važnosti iskazivanja cjelovite mjeriteljske informacije.

Ključne riječi: rezultat mjerenja, mjerna nesigurnost, usporedba rezultata mjerenja, unutarnji promjer, ručna mjerila duljine, cjelovita mjeriteljska informacija.

SUMMARY

Measuring internal diameters is a common metrological task in real production conditions. Consequently, every measurement result, including the result of measuring the inner diameter, must be expressed in the form of complete metrological information. Complete metrological information consists of measurement result and measurement uncertainty, with coverage factor and probability level information.

Therefore, in this final work, measurements of internal diameters were performed on five control rings using three different manual measuring instruments (vernier calliper, micrometer for internal measurements and three-point micrometer). The measurements were performed in the National Laboratory for Length located at the Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture in Zagreb.

Before the very beginning of the experimental part, the individual measuring instruments used in practice for measuring internal diameters and their main characteristics and the ways in which they are used were studied in detail, which is explained and described in detail later in this paper.

In the experimental part of the paper, the characteristics of the used manual measuring instruments and the used control rings are listed. After the measurement results were achieved and the measurement uncertainties were estimated, the results were compared with the reference value, ie the value specified in the valid Certificate of Calibration of the Measurement Ring. Based on the results of the analysis conducted in the conclusion of the paper, the importance of presenting complete metrological information is discussed.

Keywords: measurement result, measurement uncertainty, comparison of measurement results, internal diameter, manual measuring instruments, complete metrological information.

1. UVOD

Aktivnosti mjerenja provode se često u svakodnevnom životu ljudi. U privatne svrhe, obavljaju se za potrebe kućanstva u vidu izmjere prostora, dimenzija namještaja, predmeta, nagiba u prostorima i sl. Za takva mjerenja osposobljene su gotovo sve osobe koje znaju koristiti široko dostupne mjerne uređaje.

S druge strane, za potrebe industrijskih i laboratorijskih mjerenja potrebno je steći određena formalna znanja, naučiti upotrebljavati sofisticirane i osjetljive mjerne instrumente čija je zadaća vrlo preciznog mjerenja. Ovakav oblik mjerenja ne može se odvijati u bilo kakvim uvjetima i u bilo kojem prostoru. Za njihovo provođenje potrebno je osigurati adekvatan prostor i uvjete u kojima će se mjerenje obavljati. Razlika između industrijskih i laboratorijskih mjerenja je u tome što se ponekad, za potrebe industrije, traže ekspeditivna mjerenja koja se tada provode ručnim, odnosno manje preciznim mjerilima. Kod laboratorijskih provedba mjerenja naglasak je isključivo na preciznosti i točnosti dobivenih rezultata jer oni služe za obavljanje drugih poslova u sklopu različitih djelatnosti.

Postupak mjerenja ponekad je vrlo složen proces i zato je važno objasniti ključne pojmove koji su uz njega vezani, poput umjeravanja, mjerne nesigurnosti, etalona i sl. Također, u ovom radu bit će prikazana i različita ručna mjerila te će u središnjem dijelu rada biti opisana njihova funkcija i načini upotrebe prilikom provedbe mjerenja.

Osim navedenog, u radu su detaljno obrađene metode analize rezultata mjerenja kao i tumačenje njihovih rezultata.

TEORIJSKI DIO

2. MJERITELJSKA SLJEDIVOST

Mjeriteljska sljedivost jedan je od pojmova koji su usko vezani uz aktivnost mjerenja. Mjerenje je aktivnost s kojom se većina ljudi susreće u svakodnevnom životu, neovisno o tome radi li se o postupku koji se obavlja zbog prirode nekog posla ili zbog privatnih potreba i interesa pojedinaca. Većina ljudi odrasle dobi lako će obaviti neko osnovno mjerenje koje će im poslužiti u privatne svrhe, ali bavljenje laboratorijskim ili industrijskim mjerenjima izuzetno je kompleksno i treba se odvijati u točno određenim uvjetima, s posebnom opremom i prema standardiziranim postupcima.

Slijedom navedenog, pojam mjeriteljske sljedivosti vrlo je važan u industrijskim i laboratorijskim postupcima mjerenja. Mjeriteljska sljedivost može se definirati kao „svojstvo mjernog rezultata kojim se taj rezultat dovodi u vezu s navedenom referencom dokumentiranim neprekinutim lancem umjeravanja“. [1] Svatko od njih doprinosi i utvrđenoj mjernoj nesigurnosti. Kada se spominje pojam reference zapravo se misli na definiranje mjerne jedinice, na mjerni postupak te na mjerni etalon o kojima će više riječi biti u nastavku poglavlja i završnog rada.

2.1. Umjeravanje

Uz pojam mjeriteljske sljedivosti usko je vezan i pojam umjeravanja upravo zbog toga jer je riječ o najpreciznijem i najosjetljivijem dijelu posla kada se radi o rukovanju mjernom opremom. Postupak umjeravanja opreme podrazumijeva radnju koja se odvija u dva koraka:

- 1) uspostavljanje odnosa između vrijednosti veličine s mjernim nesigurnostima koje daju mjerni etaloni i pripadajućih pokazivanja kojima su pridružene mjerne nesigurnosti,
- 2) upotreba podataka za uspostavljanje odnosa s ciljem dobivanja mjernog rezultata iz pokazivanja. [2]

Važno je napomenuti da se postupak umjeravanja odvija pod određenim uvjetima čije osiguranje je preduvjet za izvedbu oba koraka koja su prethodno navedena. Prema tome, umjeravanje mjerne opreme potrebno je provoditi u određenim vremenskim razmacima. Na vremenski razmak utječu različiti faktori poput namjene opreme, postojanosti i upotrebljivosti. Mjerna oprema ne može se skladištiti bilo gdje, već u posebnim prostorijama, odnosno potrebna je prostorija u kojoj se oprema

nalazi na točno određenoj temperaturi te u kojoj neće biti izloženo vlazi, promjeni temperature i sl. jer bi to moglo utjecati na rad opreme, a samim time i na eventualna odstupanja u mjerenju. Prilikom svakog umjeravanja i utvrđivanja statusa mjerne opreme vodi se evidencija koja u konačnici služi za utvrđivanje stupnja prihvatljivosti mjernih rezultata. Visok stupanj prihvatljivosti kod umjeravanja usko je vezan s visokim omjerom točnosti u međusobnom odnosu umjeravanih instrumenata i etalona. Omjeri među njima mogu biti različiti, a područja prihvatljivosti i nesigurnosti ovise upravo o njima. Mogući omjeri točnosti između etalona i mjerila prikazani su u tablici 1.

Tablica 1. Omjer između etalona i mjerila s ciljem utvrđivanja točnosti [3]

OMJER IZMEĐU ETALONA I MJERILA	PODRUČJE NESIGURNOSTI	PODRUČJE PRIHVATLJIVOSTI
1:1	100%	0%
2:1	50%	50%
4:1	25%	75%
10:1	10%	90%

Prema podacima iz tablice 1. vidljivo je da viši omjeri imaju pozitivan utjecaj na točnost (odnosno prihvatljivost) između etalona i mjerila. Veće omjere je teže ostvariti od onih manjih te je omjer 10:1 vrlo teško postići iako bi u tom slučaju točnost bila vrlo visoka što bi imalo pozitivan utjecaj na daljnje postupke i procese. Prema pojedinim formulama moguće je utvrditi točnost mjerne opreme i instrumenta, točnost primarnog i sekundarnog etalona kao i točnost sekundarnog etalona i mjerne opreme.

Također, postoje propisana pravila po kojima je potrebno postupati u slučaju da se uoči odstupanje mjerne opreme. [3] Prvi korak prilikom utvrđivanja odstupanja mjerne opreme jest provjera na način da se procijeni je li mjerilo uopće umjereno i je li uzrok odstupanja nepoštivanje intervala umjeravanja.

Nadalje, moguće je da je potrebno korigirati intervale umjeravanja i da, nakon toga, odstupanja više neće biti. Ukoliko uzrok odstupanja nije ništa od prethodno navedenih stavki, potrebno je provjeriti je li potrebno promijeniti proceduru za umjeravanje. Kao krajnji korak navodi se sprječavanje upotrebe bilo kojeg mjernog instrumenta za koji se utvrdi da je neispravan i da se odstupanja ne mogu korigirati niti na jedan način.

Ove postupke važno je savjesno i kontinuirano provoditi u svakodnevnom radu obzirom na činjenicu da će i taj dio, između ostalih, poslužiti u izradi zapisa o provedenim aktivnostima na mjernoj opremi. Takvi zapisi imaju vrlo veliku važnost u cjelokupnom sustavu upravljanja. Nakon umjeravanja izrađuje se status umjeravanja na kojem su navedeni osnovni podaci potrebni za daljnji rad poput datuma kada je umjeravanje obavljeno, datuma do kojeg je konkretni instrument umjeren te oznake identifikacijske opreme.

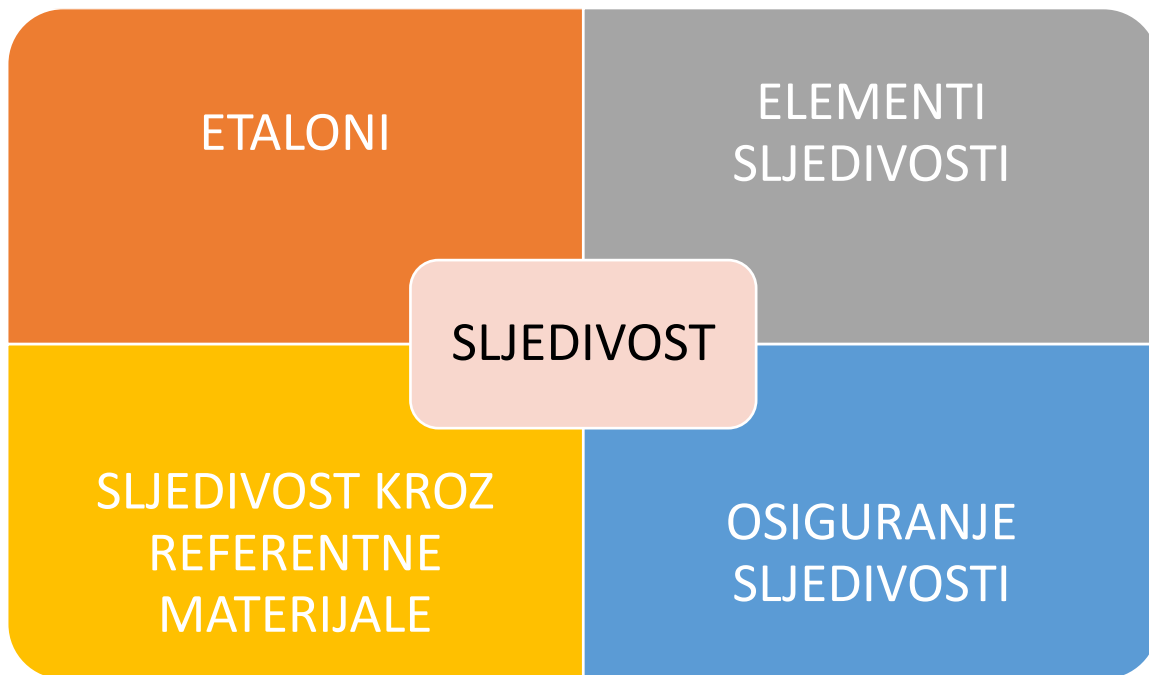
U sklopu aktivnosti umjeravanja izrađuje se zapis o konkretnoj opremi pri čemu su u prilogu navedene sljedeće potrebne informacije vezane uz istu:

- identifikacija opreme,
- upisuje se datum kada je završeno svako potvrđivanje,
- dobiveni rezultati umjeravanja,
- razmaci propisani između umjeravanja koji služe kao orijentir za provođenje postupka,
- granice dopuštenih pogrešaka,
- izvori umjeravanja,
- uvjeti okoliša,
- detaljni podaci o provedenim postupcima održavanja u smislu potrebnih popravaka i preinaka,
- identifikacija provoditelja postupka potvrđivanja,
- ostale potvrde o umjeravanju i ostala relevantna dokumentacija. [3]

Postupak umjeravanja je sam po sebi vrlo složen i delikatan, a uz to je popraćen i različitim administrativnim poslovima i zapisima u kojima je sadržan sam postupak, njegov tijek, eventualna odstupanja i načini na koje su eventualne poteškoće korigirane.

2.2 Mjeriteljska sljedivost

Na slici 1. prikazani su određeni elementi koji su vezani uz pojam mjeriteljske sljedivosti. U ovom će dijelu rada biti navedeni elementi sljedivosti, načini na koji se provodi osiguranje sljedivosti, sljedivost kroz referentne materijale i etaloni



Slika 1. Segmenti mjeriteljske sljedivosti

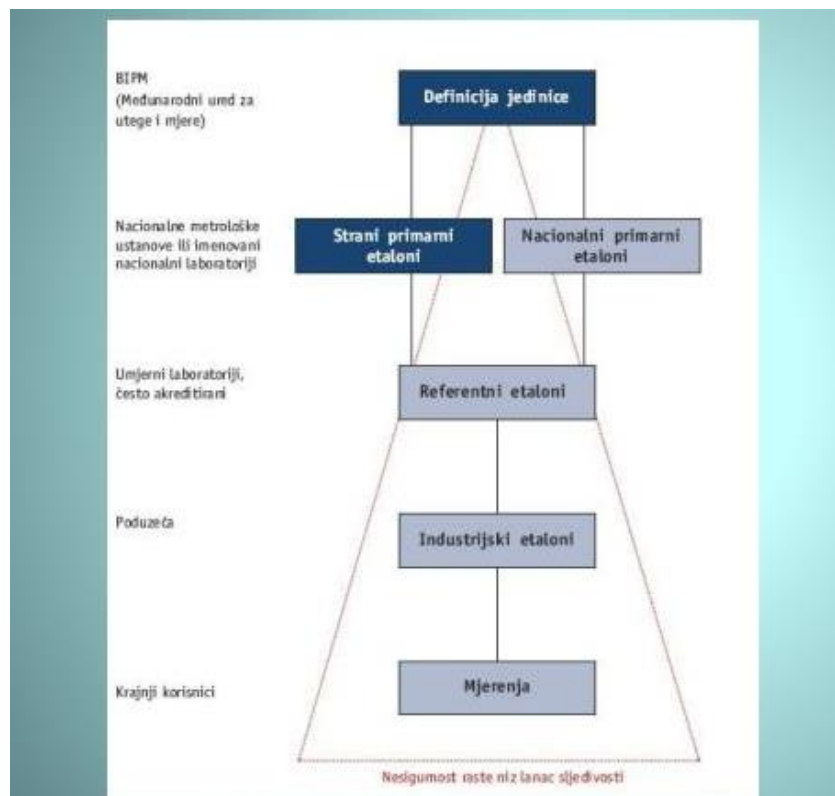
2.2.1. Elementi sljedivosti

Sukladno zaključcima do kojih dolazi Međunarodna organizacija za akreditaciju laboratorija, utvrđuje se postojanje šest elemenata sljedivosti, a to su: razdoblja umjeravanja, reference na SI jedinice, osposobljenost, dokumentacija, mjerna nesigurnost te neprekinuti lanac usporedbi. [4] Kao što je već i navedeno u prethodnim dijelovima rada, umjeravanja se trebaju ponavljati u određenim vremenskim intervalima. Ti intervali nisu uvijek jednaki i primjenjivi u svakom postupku umjeravanja, već ovise o različitim varijablama koje na određeni način utječu na proces. Što se tiče referenci na SI jedinice, lanac usporedbi nužno treba završiti primarnim etalonima kojima se ostvaruju SI jedinice. Sljedeći element je osposobljenost što znači da svako tijelo koje provodi umjeravanje treba imati dokaz o tome da je za obavljanje tih postupaka i ovlašteno. Vrlo važan element je i dokumentacija. Tijekom provedbe svaki je postupak unaprijed određen, a tijekom i po završetku provedbe treba biti i dokumentiran. Mjerna nesigurnost računa se za svaki

korak u lancu, ali može se računati i kao sveukupna nesigurnost za cijeli lanac. Neprekinuti lanac usporedbi vodi prema prihvatljivom etalonu.

2.2.2. Osiguranje ostvarenja sljedivosti

Sljedivost se može ostvariti na više načina, a ovisi laboratorijima odnosno mjeriteljskim ustanovama i etalonima. Kao što je prikazano na slici 2., lanac sljedivosti kreće od definicije jedinice i završava na mjerenju. Kada je riječ o etalonima, sljedivost se ostvaruje do međunarodnog i do definicijskog etalona. S druge strane ostvaruje se preko državne mjeriteljske ustanove ili preko ovlaštenog laboratorija. Također, u pojedinim slučajevima do ostvarenja može doći i preko laboratorija koji se nalazi unutar tvrtke, a obavlja postupke i procese vezane uz umjeravanje.



Slika 2. Lanac sljedivosti

Ponekad se može dogoditi i slučaj u kojem, zbog različitih razloga, nije moguće dokazati sljedivost. U tom slučaju, usporedivost rezultata pokušava se ostvariti određenim postupcima kroz programe međulaboratorijske usporedbe. Drugi način je upotreba prikladnih etalona čija se sljedivost kreće do mjernih jedinica SI sustava, ili pak do certificiranih materijala priznatih na međunarodnoj, ali i na državnoj razini.

2.2.3. Sljedivost kroz referentne materijale

U ovom slučaju sljedivost uključuje upotrebu referentnih i certificiranih referentnih materijala. [5] Sljedivost kroz referentne materijale uglavnom se postiže na način da se provodi izravna usporedba s etalonima ili s druge strane, s certificiranim materijalima. Usporedbe s mjernim pločicama ili drugim materijalima provode specijalizirani umjerni laboratoriji.

Kako bi se dokazala osposobljenost pojedinog proizvođača takvih referentnih materijala, potrebno je slijediti zahtjev ISO upute 34, a kod nekih se dodatno pridržava i zahtjeva druge norme, a to je HRN EN ISO/IEC 17025. [6] Prilikom obavljanja postupaka umjeravanja i dostizanja sljedivosti, važan je stupanj u kojem referentni materijal osigurava sljedivost. Taj stupanj ovisi isključivo o vrijednostima etalona i o kvaliteti veze s referentnim vrijednostima do kojih se dolazi referentnim mjerenjima.

2.2.4. Etaloni

Etaloni su zapravo mjerne pločice koje su u funkciji preciznog mjerenja i kontrole instrumenata za mjerenje. Pomoću njih se kontroliraju sve ostale mjere i iz tog razloga je važno da su mjerne pločice izrađene od otpornih materijala. Pri tome se misli prvenstveno na čelik jer je on otporan na vlagu i koroziju, ali i na toplinu. Također, etaloni izrađeni od čelika neće se oštetiti i trošiti te su u tom pogledu izvrsni za dugotrajnu upotrebu.

Kod mjerenja su potrebne različite dužine mjernih pločica te je ponekad potrebno stavljati jedne na druge do željene dužine. Etaloni o kojima će biti riječi u radu i koji se koriste za praktični rad su sljedeći: primarni i sekundarni etalon, državni etalon, međunarodni etalon, referentni etalon, posrednički etalon, prijenosni etalon i radni etalon. [5]

Primarni etalon je onaj za koji je opće prihvaćena činjenica da ima najveću kvalitetu mjerenja. Vrijednost primarnog etalona potvrđuje se bez provjere međuodnosa s drugim etalonima koji su iste veličine kao i on. Za razliku od njega, sekundarni etalon uspoređuje se s primarnim etalom u istoj veličini nakon čega mu se tek dodjeljuje vrijednost.

Državni etalon je onaj koji služi u određenoj državi i njenom odlukom je kao takav i državno priznat. Državni etalon je zapravo temeljni etalon koji služi kako bi se u odnosu na njega dodijelile vrijednosti svim drugim etalonima u određenoj veličini. Postoji i šira slika u ovom pogledu, a to

je postojanje međunarodnog etalona. Njegova vrijednost dogovorno je priznata na međunarodnoj razini i služi kao međunarodna osnova prilikom dodjeljivanja vrijednosti drugim etalonima.

Referentni etalon ima, kao i primarni, najveću mjeriteljsku kakvoću, ali isključivo u određenoj organizaciji ili na određenom mjestu odnosno području. Upravo referentni etalon povezuje državni etalon s ostalim etalonima i pomoću njega se održava sljedivost.

Kao što je vidljivo već iz imena etalona, posrednički etalon ima ulogu posrednika između etalona i služi za njihovu međusobnu usporedbu.

Pretposljednja skupina su prijenosni etaloni koji su namijenjeni prijenosu na teren i na druga mjesta. Primarna im je svrha za postupak umjeravanja etalona ili uređaja s nižom mjeriteljskom razinom od referentne.

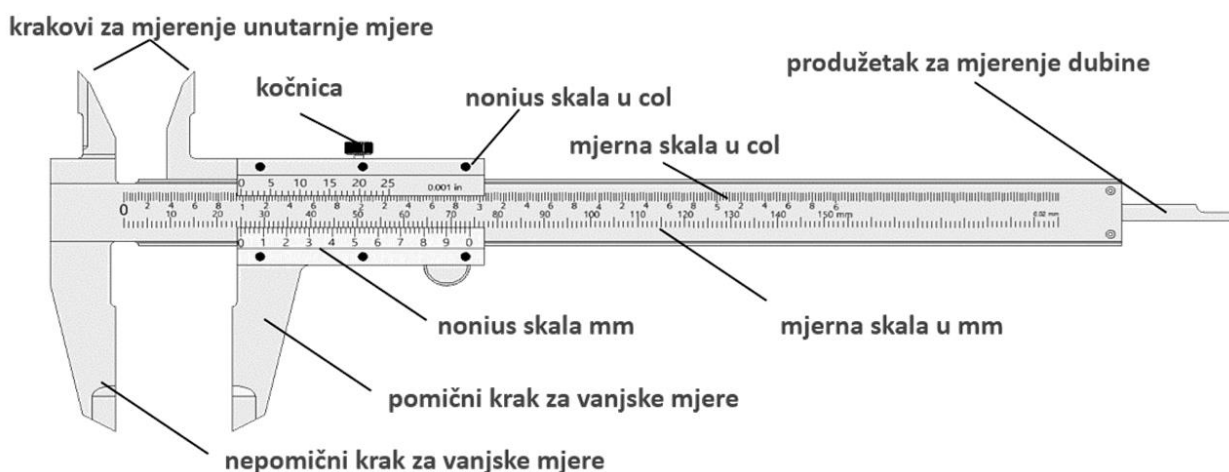
Radni etalon je etalon čija je upotreba redovita i koristi se prilikom redovitih i izvanrednih provjera mjera kao i za umjeravanje općenito.

3. RUČNA MJERILA ZA UNUTARNJA MJERENJA

3.1. Pomično mjerilo

Kada je riječ o ručnim mjerilima, jedan od onih koje se najčešće koristi je klasično pomično mjerilo. Koristi se prilikom mjerenja različitih unutarnjih i vanjskih karakteristika. Osnova ovog instrumenta je mjerna letva na kojoj se nalazi kljun. Ne njemu se nalazi milimetarska skala koja je ugravirana u njega kako bi se postiglo trajnije korištenje i upotrebljivost instrumenta. Dodatni dio na kljunu mjerila je klizač. Pomična mjerila uglavnom su izrađena od čelika, a u manjoj količini izrađeni su od drva ili od plastike. Mjerila od drveta izrađuju se uglavnom za veće izmjere poput mjerenja promjera stabala.

Na pomičnom mjerilu nalazi se i kočni mehanizam čija je uloga da se klizač zaustavlja i ostaje nepomičan u određenoj točki izmjere. Na veličinu mjernog raspona pomičnog mjerila utječe i njegova veličina. Manja mjerila imaju raspon od otprilike 150 mm dok kod većih mjerila taj raspon može iznositi i 3000 mm. Primjer pomičnog mjerila prikazan je na slici 3.



Slika 3. Klasično pomično mjerilo s navedenim dijelovima [7]

Pomično mjerilo u žargonu se još naziva i „šubler“, a riječ je o nazivu preuzetom iz njemačkog jezika. Iako je ovo njegov službeni naziv, među korisnicima je učestalo i korištenje spomenutog žargonizma.

Osim klasičnog pomičnog mjerila izrađuju se još dvije vrste, jedna je pomično mjerilo s mjernom urom (Slika 4.), a druga je pomično mjerilo s digitalnim pokazivačem na kojem se očitava izmjerena vrijednost (Slika 5.). Princip rada s mjerilom s mjernom urom je isti kao i kod klasičnog mjerila samo što se rezultat očitava putem mjerne ure, a uređaj je izrađen uglavnom od čelika. Isti je slučaj i s pomičnim mjerilom s digitalnim pokazivačem. Što se tiče materijala izrade, najčešće se koristi nehrđajući čelik, a ide se i prema izradi vodootpornih mjerila upravo zbog osjetljivosti očitavanja u digitalnom obliku.

Tri su rezolucije očitavanja na klasičnom pomičnom mjerilu:

- 0,1 mm,
- 0,05 mm,
- 0,02 mm.



Slika 4. Pomično mjerilo s mjernom urom [8]



Slika 5. Digitalno pomično mjerilo [9]

3.2. Trokraki mikrometar

Još jedan od alata koji služe za mjerenje i učestalo se koriste su trokraki mikrometri, izrađeni uglavnom od nehrđajućeg čelika. Njima se provodi mjerenje klasičnih i slijepih provrta u uobičajenom rasponu od 3 mm do 300 mm. Rezolucija očitavanja trokrakog mikrometra je 0,005 mm, a ukoliko je riječ o manjim mjernim rasponima, ta rezolucija može biti i 0,001 mm. Prepoznatljivi su po tome što imaju tri mjerna ticala, odnosno tri kraka prema kojima je i dobio naziv. Mjerna ticala ove vrste mikrometra u samocentrirajuća, a u radu se pomiču putem navoja odnosno mjernog vretena na navoju. Uz ovakav mikrometar koriste se i pripadajući prsteni koji služe za podešavanja. Za produžetak duljine trokrakog mikrometra koriste se štapni produžeci. Što se tiče preciznosti, riječ je o instrumentima visoke preciznosti. U prodaji se mogu nalaziti pojedinačno ili u setovima. Klasični trokraki mikrometar prikazan je na slici 6. u nastavku rada.



Slika 6. Trokraki mikrometar [10]

Kao i kod klasičnih pomičnih mjerila koja mogu imati digitalna očitavanja, takav je slučaj i s trokrakim mikrometrima. Razlika u odnosu na klasični trokraki mikrometar je u rezoluciji koja je bolja kod digitalnih i iznosi 0,001 mm. Također, sličnost s klasičnima je u tome što se mogu prodavati pojedinačno ili u setovima. Digitalni trokraki mikrometri koji se prodaju zasebno imaju

mjerni raspon od 3 mm do 300 mm, a oni koji su namijenjeni prodaji u setovima imaju mjerni raspon od 3 mm do 100 mm. Također, za rad s digitalnim trokrakim mikrometrom potrebni su prsteni i štapni nastavci koji služe za produžetak duljine mjernog instrumenta. Primjer digitalnog trokrakog mikrometra prikazan je na slici 7.

Treća vrsta trokrakog mikrometra je „pištolj“ verzija. Mjerna rezolucija ista je kao kod digitalnog trokrakog mikrometra te iznosi 0,001 mm. Mjerni raspon razlikuje se od digitalnih, neovisno o tome je li riječ o pojedinačnom instrumentu ili dijelu seta. Kod „pištolj“ verzije je mjerni raspon između 2 mm do 200 mm. Ova verzija instrumenta može se spojiti s računalom, a površine instrumenta otpornije su na trošenje u odnosu na prethodno navedene instrumente. Kod ove verzije trokrakog mikrometra također se koriste kontrolni prsteni, ali nema mogućnost produljenja instrumenta pomoću štapnih nastavaka. [11]. Primjer digitalnog trokrakog mikrometra „pištolj“ verzije prikazan je na slici 8.



Slika 7. Digitalni trokraki mikrometar [12]



Slika 8. Digitalni trokraki mikrometar – Pištolj verzija [12]

3.3. Mikrometar za unutarnja mjerenja

Na slici 9. prikazan je klasični mikrometar za unutarnja mjerenja. Kao i kod prethodno opisanih instrumenata, postoje dvije osnovne vrste, a to su klasični i digitalni mikrometar za unutarnja mjerenja.



Slika 9. Mikrometar za unutarnja mjerenja [13]

Detalj po kojem se razlikuju mikrometri za unutarnja mjerenja su oblici mjernih čeljusti. Ovi instrumenti izrađeni su uglavnom od nehrđajućeg čelika dok je njihova dodirna površina

presvučena karbidima. Rezolucija očitavanja ovih instrumenata uglavnom je 0,01 mm, a mjerni raspon je između 5 mm i 300 mm.

Kao i klasični mikrometar za unutarnja mjerila i onaj digitalne izvedbe također je izrađen od nehrđajućeg čelika s posebnom pažnjom na vodootpornost digitalnih dijelova. Ista je i izrada dodirnih površina, a riječ je o karbidima. Mjerni raspon digitalnog mikrometra za unutarnju primjenu je od 5 mm do 100 mm. Prednost u odnosu na klasični oblik instrumenta je u tome što se izmjereni podaci mogu prebaciti na računalo odnosno instrument se spaja na računalo.

Osim prethodno navedenih instrumenata, u ovu skupinu uređaja ubrajaju se i sljedeći: dvostrani mikrometar, štapni mikrometar s nastavcima te digitalni štapni mikrometar s nastavcima. Dvostrani mikrometar čini instrument s kombinacijom dva oblika mjernih čeljusti. Raspon mjerenja kod ovih instrumenata uglavnom je između 5 mm i 200 mm.

Klasični štapni mikrometar s nastavcima prema materijali izrade sličan je prethodno opisanim instrumentima što znači da je izrađen od nehrđajućeg čelika, a dodirne točke instrumenta izrađene su od karbida te su samim time otporniji na trošenje.

Digitalni oblik štapnog mikrometra s nastavcima prikazan na slici 10. načinjen je od istih materijala i sličnih je mjernih raspona. Moguće je upariti instrument s računalom i na taj način prenijeti podatke.



Slika 10. Digitalni mikrometar za unutarnja mjerenja [14]

PRAKTIČNI DIO

4. PROVEDBA I REZULTATI MJERENJA PROMJERA

Mjerenje je provedeno na 5 kontrolnih prstena različitih unutarnjih promjera, (\emptyset 8 mm, \emptyset 8,5 mm, \emptyset 9 mm, \emptyset 9,5 mm te \emptyset 10 mm), pomoću 3 različita ručna mjerila duljine (unutarnjeg promjera).

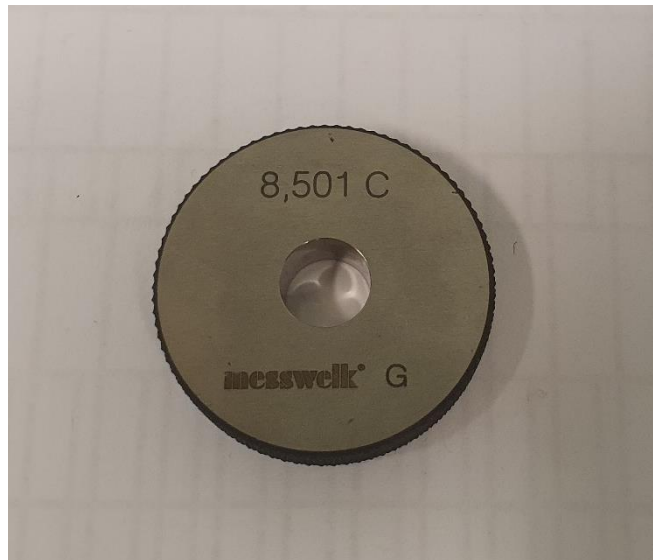
Na kontrolnom prstenu unutarnjeg promjera \emptyset 10 mm su provedeno je 30 ponovljenih mjerenja pomoću svakog navedenog mjerila te su na temelju tih rezultata izračunate vrijednosti aritmetičke sredine i proširenih mjernih nesigurnosti. Izračunate vrijednosti su korištene za daljnju analizu i interpretaciju rezultata mjerenja u ovom radu.

4.1. Mjerni kontrolni prsteni promjera \emptyset 8 mm / \emptyset 8,5 mm / \emptyset 9 mm / \emptyset 9,5 mm te \emptyset 10 mm

U nastavku su priložene slike (11.-15.) mjerenih kontrolnih prstena:



Slika 11. Mjerni kontrolni prsten promjera \emptyset 8 mm



Slika 12. Mjerni kontrolni prsten promjera \varnothing 8,5 mm



Slika 13. Mjerni kontrolni prsten promjera \varnothing 9 mm



Slika 14. Mjerni kontrolni prsten promjera \varnothing 9,5 mm



Slika 15. Mjerni kontrolni prsten promjera \varnothing 10 mm

4.2. Korištena ručna mjerila

Za mjerenje unutarnjih promjera kontrolnih prstena korištena su 3 ručna mjerila duljine.

U nastavku su navedeni i opisani korišteni modeli ručnih mjerila.

4.2.1. Ručno pomično mjerilo

Ručno pomično mjerilo (Slika 16.) korišteno prilikom mjerenja je tvrtke Roch France.

Rezolucija ovog pomičnog mjerila je 0,02 mm, a mjerni raspon je (0 – 150) mm.



Slika 16. Ručno pomično mjerilo tvrtke Roch France

4.2.2. Trokraki mikrometar

Korišteni mikrometar (Slika 17.) je od tvrtke Mitutoyo, a njegova rezolucija očitavanja rezultata je 0,001 mm, a mjerni raspon je od (5 – 10) mm.



Slika 17. Trokraki mikrometar tvrtke Mitutoyo

4.2.3. Mikrometar za unutarnja mjerenja

Korišteni mikrometar (Slika 18.) za unutarnja mjerenja je od tvrtke Somet, te njegov raspon iznosi od 3 mm do 10 mm, a rezolucija očitavanja je 0,001 mm.



Slika 18. Mikrometar za unutarnja mjerenja

4.3. Rezultati mjerenja

U nastavku su tablično prikazani rezultati mjerenja 5 različitih unutarnjih promjera s 3 različita ručna mjerila.

4.3.1. Mjerni kontrolni prsten promjera \varnothing 10 mm

Za potrebe procjene mjernih nesigurnosti na kontrolnom prstenu Lab. oznake RET 249-593 provedeno je 30 ponovljenih mjerenja korištenjem svakog ručnog mjerila duljine. Ostvareni rezultati prikazani su u Tablici 2.

Podaci iz važeće **Potvrde o umjervanju br. 0496/19**, broj naljepnice **0496**:

Nazivni promjer prstena: **9,999 mm**

Izmjereni promjer prstena: **9,9994 mm**

Proizvođač: **Mitutoyo**

Interna oznaka prstena: **RET 249 – 593**

Tablica 2. Rezultati mjerenja kontrolnog prstena promjera \varnothing 10 mm

sve vrijednosti su u (mm)

Mjerenje broj	Pomično mjerilo	Trokraki mikrometar	Mikrometar za unutarnja mjerenja
1	10,02	9,999	9,998
2	10,00	9,998	10,000
3	10,00	9,998	9,998
4	10,02	9,999	9,999
5	9,98	9,998	9,997
6	10,00	9,999	9,998
7	10,00	9,998	9,999
8	10,02	9,999	9,997
9	9,98	9,999	10,000
10	9,98	10,001	9,999
11	10,00	9,997	10,000
12	10,00	9,999	10,000
13	10,00	9,998	9,999
14	9,98	10,000	10,001
15	10,00	9,998	9,998
16	10,02	9,997	9,999

17	10,00	10,001	9,997
18	9,98	10,000	9,999
19	10,00	10,000	9,999
20	10,02	9,999	10,000
21	10,02	9,998	9,998
22	10,00	10,000	9,999
23	9,98	10,000	10,001
24	10,02	9,999	9,999
25	10,00	9,998	10,001
26	10,00	10,000	9,999
27	9,98	9,999	10,000
28	10,00	9,998	10,000
29	10,02	9,999	9,998
30	10,02	10,000	9,999
\bar{x}	10,00	9,999	9,999
s	0,015	0,0010	0,0011
Proširena mjerna nesigurnost U (u μm)	21	1,6	1,9

Proširena mjerna nesigurnost U koja predstavlja veličinu koja određuje interval oko mjernog rezultata za koji se može očekivati da obuhvaća velik dio razdiobe vrijednosti koje bi se razumno mogle pripisati mjerenoj veličini [15] te se računa prema dolje navedenim izrazima koji vrijede za računanje proširenih mjernih nesigurnosti svih korištenih ručnih mjerila kod svih mjerenih kontrolnih prstena.

Ostala 4 kontrolna prstena mjerena su uz tri ponavljanja korištenjem svakog ručnog mjerila duljine. Ostvareni rezultati prikazani su u Tablicama 3.-7.

4.3.2. Mjerni kontrolni prsten promjera \varnothing 8 mm

Podaci iz važeće **Potvrde o umjeravanju br. 0246/20**, broj naljepnice **0246**:

Nazivni promjer prstena: **8,000 mm**

Izmjereni promjer prstena: **8,0002 mm**

Proizvođač: -

Interna oznaka prstena: **RET 112 - 219**

Tablica 3. Rezultati mjerenja kontrolnog prstena promjera \varnothing 8 mm

sve vrijednosti su u (mm)

Mjerenje broj	Pomično mjerilo	Trokraki mikrometar	Mikrometar za unutarnja mjerenja
1	8,00	7,999	8,002
2	8,02	8,000	7,998
3	8,02	7,999	7,999
\bar{x}	8,01	7,999	8,000
s	0,012	0,0006	0,0021
Proširena mjerna nesigurnost U (u μm)	21	1,6	1,9

4.3.3. Mjerni kontrolni prsten promjera \varnothing 8,5 mm

Podaci iz važeće **Potvrde o umjeravanju br. 0501/19**, broj naljepnice **0501**:

Nazivni promjer prstena: **8,501 mm**

Izmjereni promjer prstena: **8,5012 mm**

Proizvođač: **Messwelk**

Interna oznaka prstena: **RET 254 – 599**

Tablica 4. Rezultati mjerenja kontrolnog prstena promjera \varnothing 8,5 mm

sve vrijednosti su u (mm)

Mjerenje broj	Pomično mjerilo	Trokraki mikrometar	Mikrometar za unutarnja mjerenja
1	8,52	8,499	8,500
2	8,50	8,499	8,498
3	8,48	8,501	8,499
\bar{x}	8,50	8,500	8,499
s	0,020	0,0012	0,0010
Proširena mjerna nesigurnost U (u μm)	21	1,6	1,9

4.3.4. Mjerni kontrolni prsten promjera \varnothing 9 mm

Podaci iz važeće **Potvrde o umjeravanju br. 0502/19**, broj naljepnice **0502**:

Nazivni promjer prstena: **9,003 mm**

Izmjereni promjer prstena: **9,0038 mm**

Proizvođač: **Mitutoyo**

Interna oznaka prstena: **RET 255 - 600**

Tablica 5. Rezultati mjerenja kontrolnog prstena promjera \varnothing 9 mm

sve vrijednosti su u (mm)

Mjerenje broj	Pomično mjerilo	Trokraki mikrometar	Mikrometar za unutarnja mjerenja
1	9,02	9,002	8,999
2	9,00	9,002	9,002
3	9,02	9,002	8,998
\bar{x}	9,01	9,002	9,000
s	0,012	0,0000	0,0021
Proširena mjerna nesigurnost U (u μm)	21	1,6	1,9

4.3.5. Mjerni kontrolni prsten promjera \varnothing 9,5 mm

Podaci iz važeće **Potvrde o umjeravanju 0503/19**, broj naljepnice **0503**:

Nazivni promjer prstena: **9,499 mm**

Izmjereni promjer prstena: **9,4998 mm**

Proizvođač: **Messwelk**

Interna oznaka prstena: **RET 256 - 601**

Tablica 6. Rezultati mjerenja kontrolnog prstena promjera \varnothing 9,5 mm

sve vrijednosti su u (mm)

Mjerenje broj	Pomično mjerilo	Trokraki mikrometar	Mikrometar za unutarnja mjerenja
1	9,48	9,498	9,495
2	9,52	9,497	9,498
3	9,50	9,498	9,499
\bar{x}	9.50	9,498	9,497
s	0.020	0,0006	0,0021
Proširena mjerna nesigurnost U (u μm)	21	1,6	1,9

4.3.6. Mjerni kontrolni prsten promjera \varnothing 10 mm

Podaci iz važeće [Potvrde o umjeravanju 0496/19](#), broj naljepnice 0496:

Nazivni promjer prstena: **9,999 mm**

Izmjereni promjer prstena: **9,9994 mm**

Proizvođač: **Mitutoyo**

Interna oznaka prstena: **RET 249 - 593**

Tablica 7. Rezultati mjerenja kontrolnog prstena promjera \varnothing 10 mm

sve vrijednosti su u (mm)

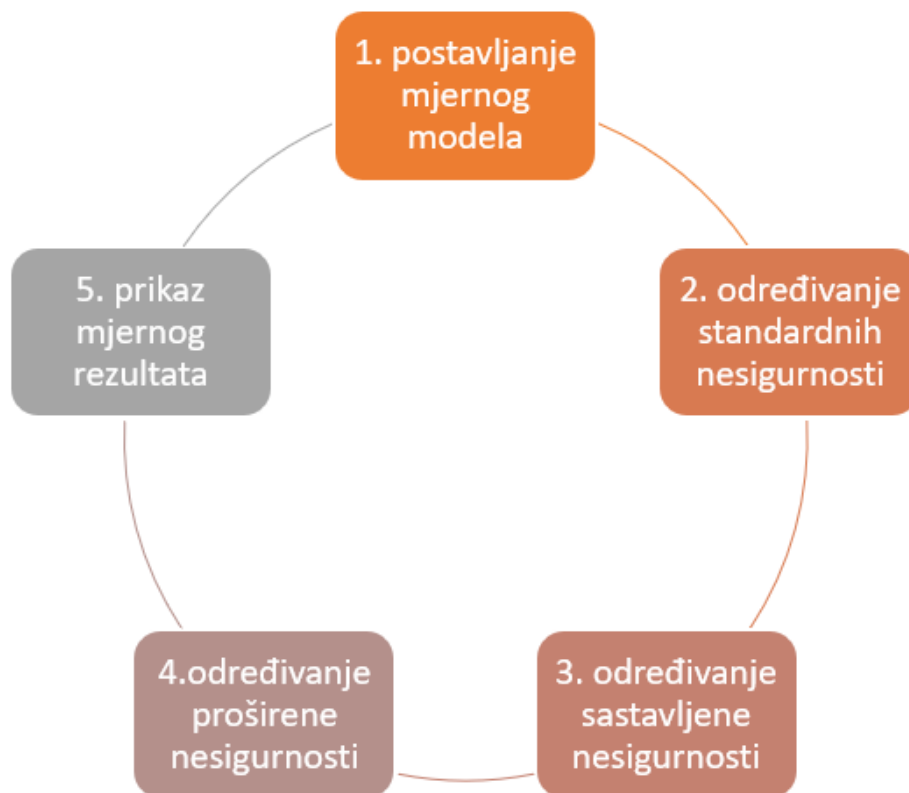
Mjerenje broj	Pomično mjerilo	Trokraki mikrometar	Mikrometar za unutarnja mjerenja
1	10,02	9,999	9,998
2	10,00	9,998	10,000
3	10,00	9,998	9,998
\bar{x}	10,01	9,998	9,999
s	0,012	0,0006	0,0012
Proširena mjerna nesigurnost U (u μm)	21	1,6	1,9

5. PROCJENA MJERNE NESIGURNOSTI

5.1. MJERNA NESIGURNOST

Pojam mjerne nesigurnosti definira se kao „parametar pridružen rezultatu mjerenja koji opisuje rasipanje vrijednosti mjerene veličine uz neku određenu vjerojatnost“. [15] Pojam nesigurnosti u ovom kontekstu označava količinsku mjer kvalitete mjernog rezultata. Ta mjera u daljnjem radu omogućava uspoređivanje mjernih i drugih rezultata putem referencija ili etalona. Da bi se odredila mjerna nesigurnost, moguće je koristiti tri različite metode, a među onima koje se često koriste je GUM (Guide to metoda o kojoj će biti riječi u nastavku rada. Osim nje, koriste se i MCS metoda (Monte Carlo Simulation) te Procjena ponovljivosti i obnovljivosti rezultata mjerenja u skladu s normom 21748:2004. [15]

U ovom radu naglasak će biti na prikaz GUM metode čija je shema prikazana na slici 19.



Slika 19. GUM metoda

Kao što je prikazano na slici 19., postoji pet koraka koji se koriste pri provedbi GUM metode, a to su: postavljanje mjernog modela, određivanje standardnih nesigurnosti, određivanje sastavljene nesigurnosti, određivanje proširene nesigurnosti te prikaz mjernog rezultata. [16] Međusobno su ovisni jedan o drugome i za pravilnu i produktivnu primjenu metode važno je ispravo provesti svaki od njih.

Prvi korak, postavljanje mjernog modela (točnije matematičkog modela) za cilj ima povezivanje izlaznih veličina s ulazima. Potrebno je postaviti model jer kod većine slučajeva se mjerna veličina ne mjeri izravno, već se određuje iz drugih veličina.

Sljedeći korak je određivanje standardne nesigurnosti koje se može utvrditi na dva načina. Prema tome, postoje A i B način odnosno sastavnice nesigurnosti A vrste i sastavnice nesigurnosti B vrste. Sastavnice nesigurnosti A vrste odnosi se na to kada osoba sama provodi mjerenje i do njih dolazi iz ponovljenih mjerenja. Nadalje, u slučaju sastavnica nesigurnosti B vrste, radi se o korištenju podataka poznatih iz literature ili pak onih prema preporuci proizvođača. Sastavnice nesigurnosti B vrste odnose se na apriorne razdiobe vjerojatnosti (normalne, pravokutne ili trokutaste).

Prilikom usporedbe sastavnica nesigurnosti A i B vrste, mogu se izvesti tri bazna zaključka:

- A vrsta odgovara slučajnim pogreškama, dok B vrsta odgovara sustavnim pogreškama,
- standardna nesigurnost A vrste je ta u kojoj vrijednost pada s brojem uzastopnih mjerenja, dok broj uzastopnih mjerenja ne utječe na standardnu nesigurnost B vrste,
- kod standardne nesigurnosti A vrste uzroci su nepoznati, a suprotno tome, kod standardne nesigurnosti B vrste, uzroci mogu dolaziti iz različitih izvora.

Treći korak prilikom uporabe GUM metode je određivanje sastavljene nesigurnosti. Ono se, u praksi, izračunava na način da se sastave pojedinačne sastavnice nesigurnosti i to u skladu sa zakonom prijenosa nesigurnosti. Točnije, određuje se sastavljanjem standardnih nesigurnosti procjena ulaznih veličina. [15]

Kod sastavljanja standardne nesigurnosti, važno je razlikovati izračune za korelirane i nekorelirane ulazne veličine.

Četvrti korak GUM metode je određivanje proširene nesigurnosti. Tu je riječ o veličini koja određuje interval oko mjernog rezultata i za koji se može očekivati da obuhvaća izvjesni dio razdiobe vrijednosti za koje se očekuje da se mogu pripisati mjernoj veličini.

Niska je vjerojatnost da je vrijednost mjerene veličine pozicionirana unutar intervala koji je definiran standardnom nesigurnošću. Upravo zbog toga, određuje se proširena nesigurnost jer se pomoću nje predviđa očekivani i traženi interval. Ona se izračunava na način da se traži umnožak dva parametra, a to su sastavljena standardna nesigurnost i faktor pokrivanja. Određena proširena nesigurnost obilježava se slovom U . Određivanje faktora pokrivanja je složeniji postupak jer u obzir treba uzeti tri važna parametra,

→ potreban stupanj sigurnosti,

→ poznavanje temeljne raspodjele,

→ poznavanje broja vrijednosti koji su potrebni za procjenu nasumičnih utjecaja. [16]

Posljednji korak GUM metode je prikaz mjernog rezultata koji je dobiven provođenjem prethodno navedenih koraka.

5.2. Procjena mjerne nesigurnosti rezultata ostvarenih pomičnim mjerilom

Izrazom (5.1) definiran je matematički model mjerenja:

$$E_x = d_{ix} - d_s + \delta d_{ix} + d_s \cdot \bar{\alpha} \cdot \Delta t \quad (5.1)$$

gdje je:

- d_{ix} - očitavanje ručnim mjerilom
- d_s - promjer kontrolnog prstena iz Potvrde o umjeravanju
- $\bar{\alpha}$ - prosječni koeficijent toplinskog širenja ručnog mjerila i kontrolnog prstena
- Δt - razlika temperatura ručnog mjerila i kontrolnog prstena
- δd_{ix} - utjecaj rezolucije ručnog mjerila

Tablica 8. Tablica mjerne nesigurnosti za pomično mjerilo

Veličina x_i	Iznos standardne nesigurnosti $u(x_i)$	Razdioba	Koeficijent osjetljivosti c_i	Doprinos mjernoj nesigurnosti $u_i(y)$, μm
d_{ix}	8,5	Normalna	1	8,5
d_s	$0,4 + 0,5 \cdot d$	Normalna	1	$0,4 + 0,5 \cdot d$
Δt	0,173 °C	Pravokutna	$d_s \cdot \bar{\alpha}$	$0,173 \cdot 11,5 d_s$
δd_{ix}	33,33	Pravokutna	1	33,33
$u_c(d)$	$10,3 \mu\text{m}$			

Množenjem sastavljene standardne nesigurnosti s faktorom pokrivanja $k = 2$ iznos proširene mjerne nesigurnosti rezultata mjerenja promjera pomičnim mjerilom iznosi:

$$U = 21 \mu\text{m}, k = 2, P = 95 \%$$

5.3. Procjena mjerne nesigurnosti rezultata ostvarenih mikrometrom za unutarnja mjerenja

Kako je mjerni model rezultata mjerenja promjera mikrometrom za unutarnja mjerenja bio isti kao u slučaju mjerenja pomičnim mjerilom tako je izraz (5.1) korišten u postupku procjene mjerne nesigurnosti pri korištenju mikrometra za unutarnja mjerenja.

Tablica 9. Tablica mjerne nesigurnosti za mikrometar za unutarnja mjerenja

Veličina x_i	Iznos standardne nesigurnosti $u(x_i)$	Razdioba	Koeficijent osjetljivosti c_i	Doprinos mjernoj nesigurnosti $u_i(y)$, μm
d_{ix}	0,8	Normalna	1	0,8
d_s	$0,4 + 0,5 \cdot d$	Normalna	1	$0,4 + 0,5 \cdot d$
Δt	0,173 °C	Pravokutna	$d_s \cdot \bar{\alpha}$	$0,173 \cdot 11,5 d_s$
δd_{ix}	0,289	Pravokutna	1	0,289
$u_c(d)$	0,94 μm			

Množenjem sastavljene standarde nesigurnosti s faktorom pokrivanja $k = 2$ iznos proširene mjerne nesigurnosti rezultata mjerenja promjera pomičnim mjerilom iznosi:

$$U = 1,9 \mu\text{m}, k = 2, P = 95 \%$$

5.4. Procjena mjerne nesigurnosti rezultata ostvarenih trokrakim mikrometrom

Matematički model procjene mjerne nesigurnosti isti je kao u izrazu (5.1) a obrazloženje se može pročitati u poglavlju 5.3.

Tablica 10. Tablica mjerne nesigurnosti za trokraki mikrometar

Veličina x_i	Iznos standardne nesigurnosti $u(x_i)$	Razdioba	Koeficijent osjetljivosti c_i	Doprinos mjernoj nesigurnosti $u_i(y)$, μm
d_{ix}	0,6	Normalna	1	0,6
d_s	$0,4 + 0,5 \cdot d$	Normalna	1	$0,4 + 0,5 \cdot d$
Δt	0,173 °C	Pravokutna	$d_s \cdot \bar{\alpha}$	$0,173 \cdot 11,5 d_s$
δd_{ix}	0,289	Pravokutna	1	0,289
$u_c(d)$	0,78 μm			

Množenjem sastavljene standarde nesigurnosti s faktorom pokrivanja $k = 2$ iznos proširene mjerne nesigurnosti rezultata mjerenja promjera pomičnim mjerilom iznosi:

$$U = 1,6 \mu\text{m}, k = 2, P = 95 \%$$

5.5. Usporedba i analiza rezultata mjerenja

Usporedbu mjernih rezultata možemo provesti na tri načina. Prvi način podrazumijeva da imamo definiranu referentnu vrijednost pa sve rezultate uspoređujemo u odnosu na tu zadanu, referentnu mjeru. Kod druga dva načina uspoređujemo rezultate međusobno, s tim da ukoliko svi rezultati imaju istu težinsku vrijednost računamo aritmetičku sredinu usporedbe. Ukoliko rezultati nemaju istu težinsku vrijednost računa se srednja težinska vrijednost usporedbe.

Prilikom usporedbe rezultata u ovom radu možemo definirati referentnu vrijednost. Referentna vrijednost će biti ona koja je navedena u važećoj Potvrdi o umjeravanju mjerenog kontrolnog prstena.

Kod usporedbe dobivenih rezultata koristi se faktor slaganja E_n . Faktor slaganja E_n služi kao mjerilo konzistentnosti individualnih rezultata mjerenja u odnosu na referentnu vrijednost. [17]

Drugim riječima, faktor E_n određuje ocjenu usporedivosti mjernih rezultata sa referentnom vrijednosti. Računa se prema izrazu:

$$E_n = \frac{x_i - x_{ref}}{k \cdot \sqrt{u^2(x_i) - u^2(x_{ref})}}; k = 2 \quad (5.2)$$

E_n	-	Faktor slaganja
x_{rm}	-	Rezultat mjerenja pojedinog ručnog mjerila
x_{ref}	-	Rezultat referentne vrijednosti
$u(x_{rm})$	-	Mjerna nesigurnost pojedinog ručnog mjerila
$u(x_{ref})$	-	Mjerna nesigurnost referentne vrijednosti
n	-	Broj ručnih mjerila
k	-	Faktor pokrivanja/proširenja

U slučaju kada je apsolutna vrijednost faktora slaganja E_n manja od 1 smatra se da je rezultat usporediv. Što je sama vrijednost faktora E_n bliža nuli smatramo da je konzistentnost rezultata bolja. U slučaju kada je njegov predznak negativan dobiveni rezultat mjerenja manji je od referentne vrijednosti dok kada je pozitivan rezultat je veći od referentne vrijednosti.

Kriterij koji mora pri tome biti zadovoljen je Birgov kriterij koji je dan sljedećim izrazom:

$$R_B < R_{Bgr}, \text{ gdje je } R_B = \frac{u_{ext}(x_{ref})}{u_{int}(x_{ref})} \quad (5.3)$$

$$R_{Bgr} < \sqrt{1 + \sqrt{\frac{8}{n-1}}} \quad (5.4)$$

Eksterna i interna mjerna nesigurnost računaju se prema izrazima : (5.5) , (5.6), (5.7), (5.8) :

$$u_{int}(x_{ref}) = \sqrt{C} \quad (5.5)$$

$$u_{ext}(x_{ref}) = \sqrt{D} \quad (5.6)$$

$$C = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{u^2(x_{rm})}} \quad (5.7)$$

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n \left\{ \frac{x_{rm} - x_{ref}}{u(x_{rm})} \right\}^2}{(n-1) \sum_{i=1}^n u^2(x_{rm})} \quad (5.8)$$

Birgov kriterij ukazuje na to ima li statistički značajne razlike između rezultata mjerenja. U slučaju da ovaj kriterij nije zadovoljen iz analize se izbacuje rezultat sa najvećom vrijednosti faktora slaganja E_n te se postupak ponavlja dok se kriterij ne zadovolji.

5.6. Analiza mjerenja pojedinih kontrolnih mjerila

Za analizu mjerenja unutarnjih promjera kod 5 kontrolnih prstena u sljedećim tablicama su prikazane izračunate prethodno navedene veličine, te su uz te tablice prikazani grafički rezultati mjerenja. Rezultati referentnih vrijednosti i pripadajuće mjerne nesigurnosti prstena preuzete su iz važećih Potvrda o umjeravanju. Kontrolni prstenovi umjereni su na univerzalnom jednoosnom uređaju (interna oznaka RET 44 – 421) u Nacionalnom laboratoriju za duljinu. Sljedivost rezultata umjeravanja kontrolnih prstenova je ostvarena preko državnog etalona za duljinu.(referentni prsteni internih oznaka: RET 129-424, RET 180-425)

5.6.1. Analiza mjerenja kontrolnog prstena unutarnjeg promjera \varnothing 8 mm

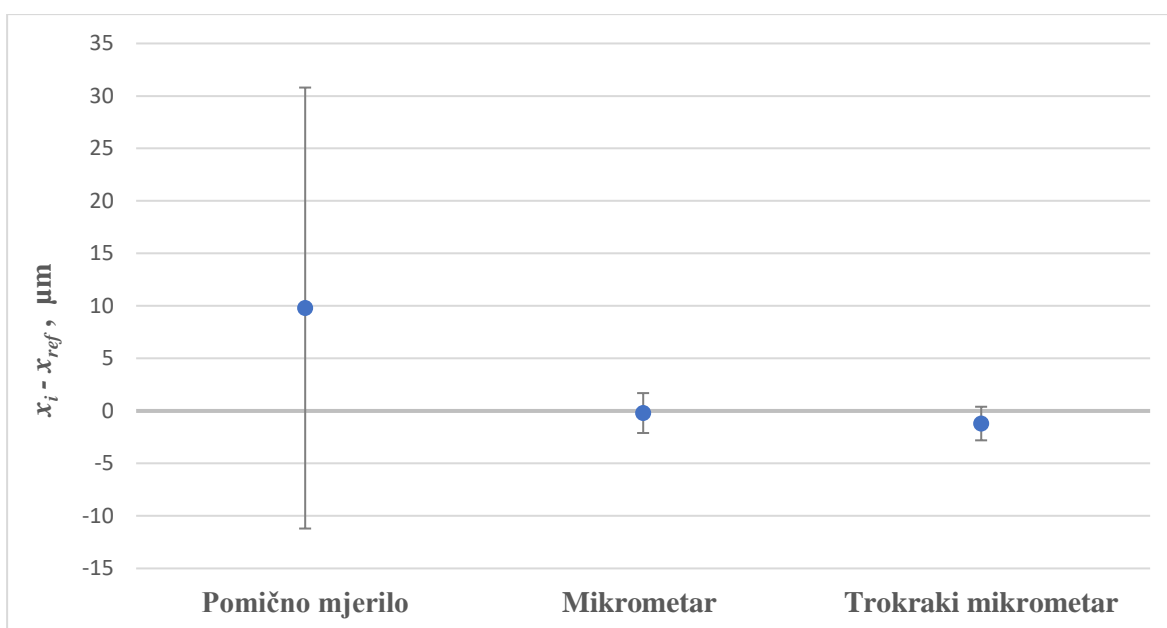
U tablici 11. se vidi da je vrijednost Birgeova koeficijenta manja od granične vrijednosti što znači da nema statistički značajne razlike između rezultata mjerenja.

Tablica 11. Analiza rezultata mjerenja za kontrolni prsten unutarnjeg promjera \varnothing 8 mm

Ručno mjerilo duljine	x_{rm} , mm	$U(x_i)$, $k = 2$ μm	E_n	$x_i - x_{ref}$ μm	$U(x_i - x_{ref})$, $k = 2$ μm
Pomično mjerilo	8,01	21,00	0,47	9,80	21,02
Mikrometar	8,000	1,900	-0,10	-0,20	2,06
Trokraki mikrometar	7,999	1,600	-0,67	-1,20	1,79
Broj ručnih mjerila	3				
x_{ref} , mm	8,0002				
$U(x_{ref})$, $k = 2$, μm	0,81				
R_B	0,526				
R_{Bgr}	1,732				

Iz tabličnog i grafičkog prikaza se također može vidjeti da mikrometar za unutarnja mjerenja ima faktor slaganja $|E_n|$ najbliži nuli, no istovremeno je odstupanje rezultata trokrakog mikrometra od referentne vrijednosti veće nego kod mikrometra za unutarnja mjerenja uz manju mjernu nesigurnost.

Na slici 20. dan je grafički prikaz rezultata mjerenja s odstupanjima svakog ručnog mjerila od navedene referentne vrijednosti, a uz to su prikazane i proširene mjerne nesigurnosti.



Slika 20. Grafički prikaz rezultata mjerenja kontrolnog prstena promjera \varnothing 8 mm

5.6.2. Analiza mjerenja kontrolnog prstena unutarnjeg promjera $\varnothing 8,5$ mm

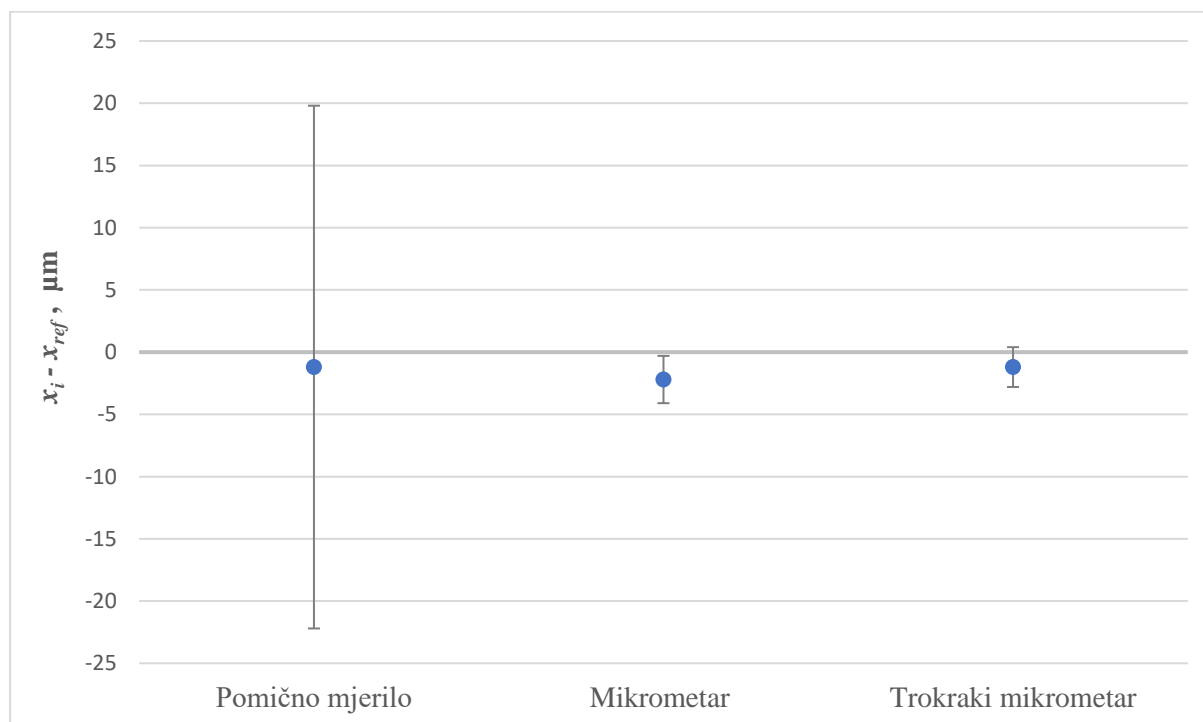
U tablici 12. se vidi da je vrijednost Birgeova koeficijenta manja od granične vrijednosti što znači da nema statistički značajne razlike između rezultata mjerenja.

Tablica 12. Analiza rezultata mjerenja za kontrolni prsten unutarnjeg promjera $\varnothing 8,5$ mm

Ručno mjerilo duljine	x_{rm} , mm	$U(x_i)$, $k = 2$ μm	E_n	$x_i - x_{ref}$ μm	$U(x_i - x_{ref})$, $k = 2$ μm
Pomično mjerilo	8,50	21,00	-0,06	-1,20	21,02
Mikrometar	8,499	1,900	-1,07	-2,20	2,06
Trokraki mikrometar	8,500	1,600	-0,67	-1,20	1,79
Broj ručnih mjerila	3				
x_{ref} , mm	8,5012				
$U(x_{ref})$, $k = 2$, μm	0,81				
R_B	0,810				
R_{Bgr}	1,732				

Najmanja vrijednost faktora slaganja $|E_n|$ je kod pomičnog mjerila što ukazuje da su njegovi rezultati najkonzistentniji u odnosu na referentnu vrijednost.

Na slici 21. dan je grafički prikaz rezultata mjerenja s odstupanjima svakog ručnog mjerila od navedene referentne vrijednosti, a uz to su prikazane i proširene mjerne nesigurnosti.



Slika 21. Grafički prikaz rezultata mjerenja kontrolnog prstena promjera $\varnothing 8,5$ mm

5.6.3. Analiza mjerenja kontrolnog prstena unutarnjeg promjera $\varnothing 9$ mm

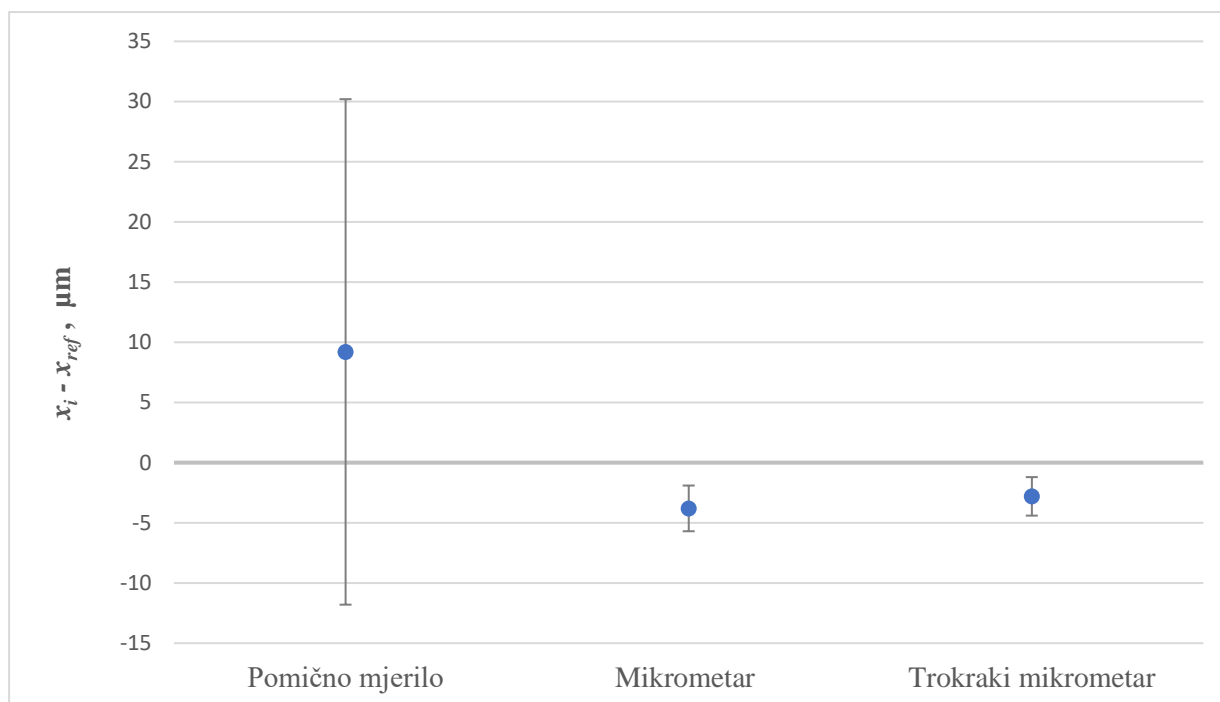
U tablici 13. se vidi da je vrijednost Birgeova koeficijenta manja od granične vrijednosti što znači da nema statistički značajne razlike između rezultata mjerenja.

Tablica 13. Analiza rezultata mjerenja za kontrolni prsten unutarnjeg promjera $\varnothing 9$ mm

Ručno mjerilo duljine	x_{rm} , mm	$U(x_i)$, $k = 2$ μm	E_n	$x_i - x_{ref}$ μm	$U(x_i - x_{ref})$, $k = 2$ μm
Pomično mjerilo	9,01	21,00	0,44	9,20	21,02
Mikrometar	9,000	1,900	-1,84	-3,80	2,07
Trokraki mikrometar	9,001	1,600	-1,56	-2,80	1,79
Broj ručnih mjerila	3				
x_{ref} , mm	9,0038				
$U(x_{ref})$, $k = 2$, μm	0,81				
R_B	0,583				
R_{Bgr}	1,732				

Najmanja vrijednost faktora slaganja $|E_n|$ je kod pomičnog mjerila što ukazuje da su njegovi rezultati najkonzistentniji u odnosu na referentnu vrijednost.

Na slici 22. dan je grafički prikaz rezultata mjerenja s odstupanjima svakog ručnog mjerila od navedene referentne vrijednosti, a uz to su prikazane i proširene mjerne nesigurnosti.



Slika 22. Grafički prikaz rezultata mjerenja kontrolnog prstena promjera $\varnothing 9$ mm

5.6.4. Analiza mjerenja kontrolnog prstena unutarnjeg promjera $\varnothing 9,5$ mm

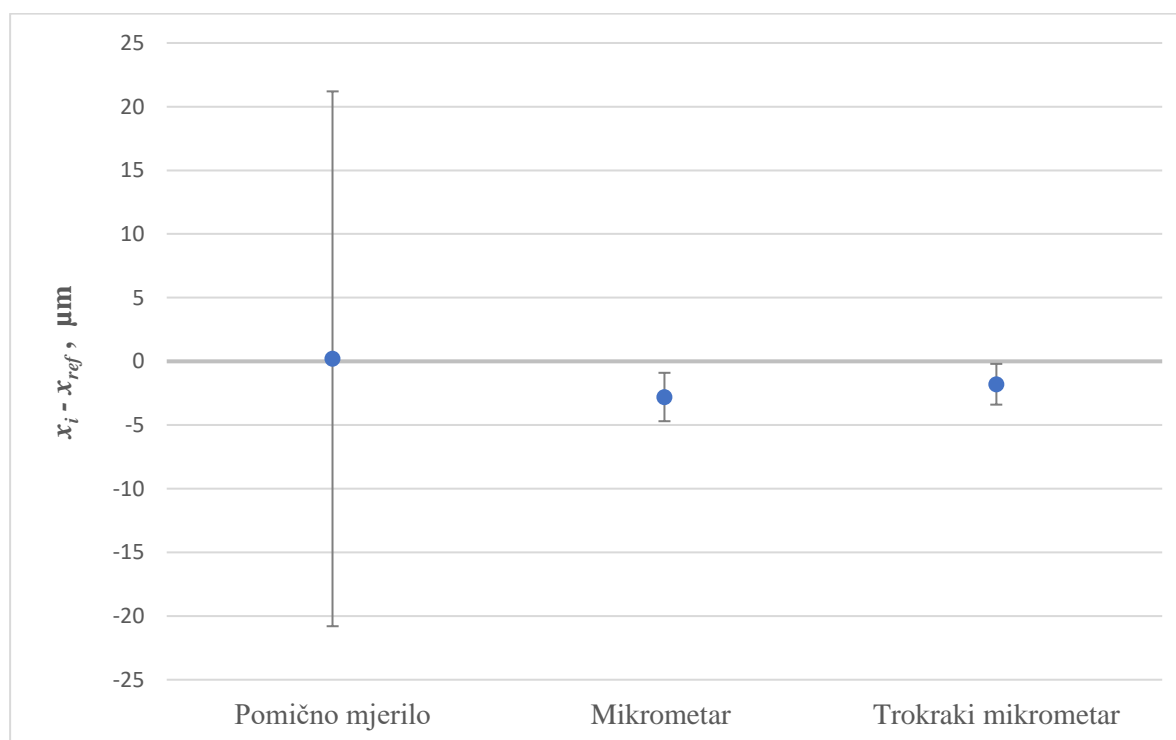
U tablici 14. se vidi da je vrijednost Birgeova koeficijenta manja od granične vrijednosti što znači da nema statistički značajne razlike između rezultata mjerenja.

Tablica 14. Analiza rezultata mjerenja za kontrolni prsten unutarnjeg promjera $\varnothing 9,5$ mm

Ručno mjerilo duljine	x_{rm} , mm	$U(x_i)$, $k = 2$ μm	E_n	$x_i - x_{ref}$ μm	$U(x_i - x_{ref})$, $k = 2$ μm
Pomično mjerilo	9,50	21,00	0,01	0,20	21,02
Mikrometar	9,497	1,900	-1,36	-2,80	2,07
Trokraki mikrometar	9,498	1,600	-1,00	-1,80	1,79
Broj ručnih mjerila					
3					
x_{ref}, mm					
9,4998					
$U(x_{ref})$, $k = 2$, μm					
0,81					
R_B					
0,342					
R_{Bgr}					
1,732					

Najmanja vrijednost faktora slaganja $|E_n|$ je kod pomičnog mjerila što ukazuje da su njegovi rezultati najkonzistentniji u odnosu na referentnu vrijednost.

Na slici 23. dan je grafički prikaz rezultata mjerenja s odstupanjima svakog ručnog mjerila od navedene referentne vrijednosti, a uz to su prikazane i proširene mjerne nesigurnosti.



Slika 23. Grafički prikaz rezultata mjerenja kontrolnog prstena promjera $\varnothing 9,5$ mm

5.6.5. Analiza mjerenja kontrolnog prstena unutarnjeg promjera \varnothing 10 mm

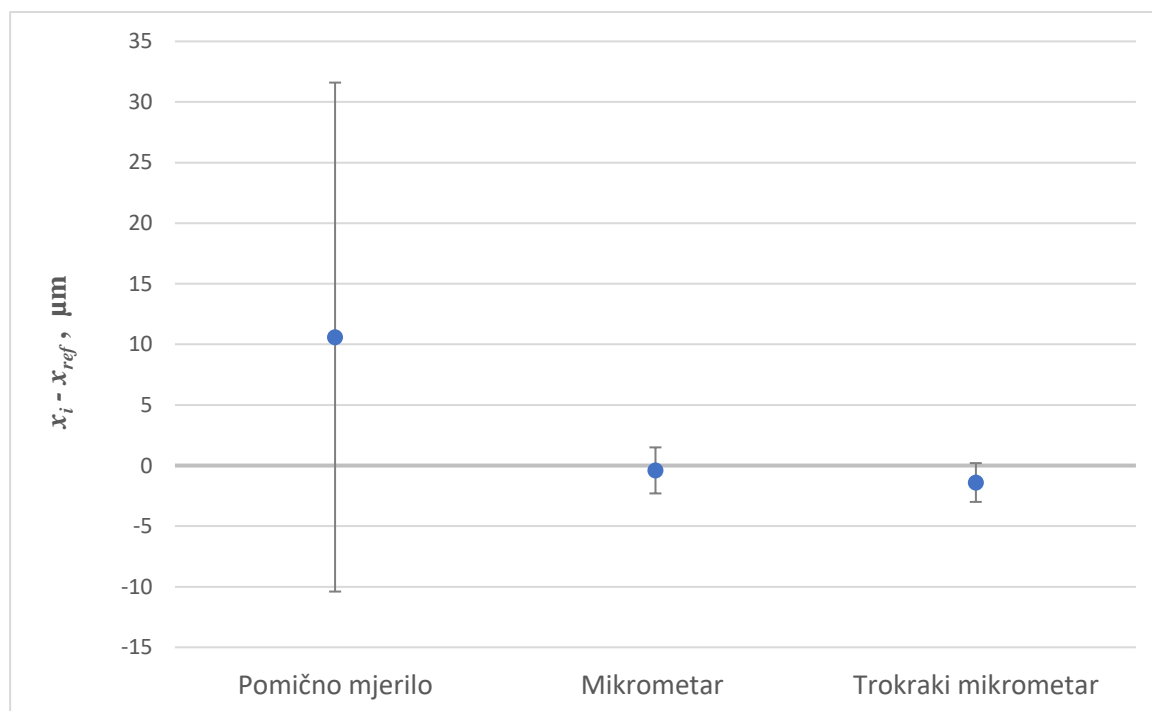
U tablici 15. se vidi da je vrijednost Birgeova koeficijenta manja od granične vrijednosti što znači da nema statistički značajne razlike između rezultata mjerenja.

Tablica 15. Analiza rezultata mjerenja za kontrolni prsten unutarnjeg promjera \varnothing 10 mm

Ručno mjerilo duljine	x_{rm} , mm	$U(x_i)$, $k = 2$ μm	E_n	$x_i - x_{ref}$ μm	$U(x_i - x_{ref})$, $k = 2$ μm
Pomično mjerilo	10,01	21,00	0,50	10,60	21,02
Mikrometar	9,999	1,900	-0,19	-0,40	2,07
Trokraki mikrometar	9,998	1,600	-0,78	-1,40	1,79
Broj ručnih mjerila	3				
x_{ref}, mm	9,9994				
$U(x_{ref})$, $k = 2$, μm	0,81				
R_B	0,557				
R_{Bgr}	1,732				

Najmanja vrijednost faktora slaganja $|E_n|$ je kod mikrometra za unutarnja mjerenja što ukazuje da su njegovi rezultati najkonzistentniji u odnosu na referentnu vrijednost.

Na slici 24. dan je grafički prikaz rezultata mjerenja s odstupanjima svakog ručnog mjerila od navedene referentne vrijednosti, a uz to su prikazane i proširene mjerne nesigurnosti.



Slika 24. Grafički prikaz rezultata mjerenja kontrolnog prstena promjera \varnothing 10 mm

ZAKLJUČAK

Ostvarivanje pouzdanog mjernog rezultata traži da korišteni mjerni uređaj bude sljedivo umjeren do odgovarajuće SI definicije veličine. Da je iznimno važno za mjerni rezultat imati umjeren mjerni uređaj već dugi niz godina svjesni su (za mjernu opremu zaduženo osoblje) u realnim proizvodnim organizacijama.

No, ono što se nerijetko zaboravlja je da mjerni rezultat bez procjene mjerne nesigurnosti ne predstavlja valjanu mjernu informaciju. Cjelovitu mjeriteljsku informaciju čini mjerni rezultat i mjerna nesigurnost, uz faktor pokrivanja i informaciju o razini vjerojatnosti.

Mjerenje unutarnjih promjera čest je mjeriteljski zadatak u realnim proizvodnim uvjetima. Kako je gore navedeno, potrebno je i za te mjerne rezultate imati cjelovitu mjeriteljsku informaciju. Stoga je u ovom radu provedeno mjerenje unutarnjih promjera pet kontrolnih prstena korištenjem tri različita ručna mjerila duljine. Odabrana su ona ručna mjerila koja se najčešće koriste za mjerenje unutarnjih mjera u proizvodnji – pomično mjerilo, trokraki mikrometar i mikrometar za unutarnja mjerenja.

U proizvodnim uvjetima se često provedu svega dva, tri ponovljena mjerenja i temeljem aritmetičke sredine se iskaže mjerni rezultat ne uzimajući u obzir mjernu nesigurnost tog rezultata.

Stoga je u ovom radu na kontrolom prstenu najvećeg promjera \varnothing 10 mm provedeno 30 ponovljenih mjerenja kako bi se moglo prilikom proračuna mjerne nesigurnosti utvrditi procjena doprinosa ponovljivosti rezultata mjerenja promjera ostvarenog sa svakim korištenim ručnim mjerilom duljine.

Potom se na ostala četiri kontrola prstena (\varnothing 8 mm, \varnothing 8,5 mm, \varnothing 9 mm, \varnothing 9,5 mm) mjerenje ponavljalo 3 puta, kako je to uobičajeno u realnim proizvodnim uvjetima.

Provedena procjena mjerne nesigurnosti uključivala je isti matematički model jer je i mjerni model bio isti korištenjem sva tri ručna mjerila. Odnosno, isti izvori doprinosa mjernoj nesigurnosti su se precjenjivali kod sva tri proračuna mjernih nesigurnosti.

Usporedba rezultata u ovom radu provedena je usporedbom s referentnom vrijednošću - vrijednost koja je navedena u važećoj Potvrdi o umjeravanju mjerenog kontrolnog prstena. Kao mjera usporedivosti rezultata koristio se faktor slaganja *En*.

Provedena analiza usporedivosti pokazala je da su svi rezultati mjerenja pomičnim mjerilom svih pet nazivnih promjera usporedivi s referentnim vrijednostima. Procijenjena proširena mjerna nesigurnost rezultata ostvarenih pomičnim mjerilom iznosila je 21 μm te je tako širokim intervalom pokrila referentne vrijednosti rezultata i pripadajuće mjerne nesigurnosti.

Usporedba rezultata ostvarenih trokrakim mikrometrom potvrdila je usporedivost rezultata četiri nazivna promjera s referentnim vrijednostima. Kod kontrolnog prstena nazivnom promjera $\emptyset 9,0$ mm utvrđena je En vrijednost 1,56. Kako su ostala četiri rezultata s procijenjenom mjernom nesigurnošću uspješno prošla usporedbu može se pretpostaviti da je u ovom slučaju ostvareni rezultat utjecao na utvrđenu En vrijednost, a ne procijenjena mjerna nesigurnost.

Provedena analiza usporedivosti rezultata mjerenja ostvarenih mikrometrom za vanjska mjerenja pokazala je da tri od pet rezultata mjerenja promjera nisu usporediva s referentnim vrijednostima. Prilikom usporedbe rezultata uzrok može biti u mjernom rezultatu i/ili procjeni mjerne nesigurnosti, u ovom slučaju valjalo bi u prvom redu vidjeti da li je procijenjena mjerna nesigurnost prikladna te potom ponoviti još jednom sva mjerenja i ponovno provesti analizu usporedbe.

Važno je istaknuti da se mjerenja ne provode radi reda, nego se na temelju rezultata mjerenja kritičnih značajki proizvoda dobivaju određeni zaključci o proizvodnom procesu. Nadalje, mjerni rezultat bez informacije o mjernoj nesigurnosti ne predstavlja cjelovitu mjeriteljsku informaciju.

No i ako imamo procjenu mjerne nesigurnosti, a nije provedena prikladna usporedba s ciljem potvrđivanja i rezultata i procjene nesigurnosti, mogu se dovesti u pitanje doneseni zaključci o proizvodnom procesu koji su doneseni na temelju mjernog rezultata.

LITERATURA:

- [1] Svijet kvalitete. Mjeriteljska sljedivost. Dostupno na: <https://www.svijet-kvalitete.com/index.php/umjeravanje/484-mjerna-sljedivost> [1.9.2021.]
- [2] Svijet kvalitete. Umjeravanje. Dostupno na: <https://www.svijet-kvalitete.com/index.php/umjeravanje> [1.9.2021.]
- [3] Kondić, V., Horvat, M.. Logistički sustav upravljanja alatima, mjernim uređajima i opremom za ispitivanje. Tehnički glasnik. 2011;5 (2): 110 - 116. Dostupno na: <https://hrcak.srce.hr/83843> [31.8.2021.]
- [4] European cooperation for Accreditation of Laboratories. Traceability of Measuring and Test Equipment to National Standards. Dostupno na: http://www.sadcmnet.org/SADCWaterLab/Archived_Reports/2006%20Reports%20and%20Docs/EA-4-07T.pdf [1.9.2021.]
- [5] European Reference Materials. Uporaba ERM certifikata i materijala. Dostupno na: https://crm.jrc.ec.europa.eu/graphics/cms_docs/erm6_croatian.pdf [4.9.2021.]
- [6] Svijet kvalitete. Sljedivost prema certificiranim referentnim materijalima. Dostupno na: <http://www.svijet-kvalitete.com/index.php/umjeravanje/1323-sljedivost-prema-certificiranim-referentnim-materijalima> [5.9.2021.]
- [7] Tehnologija strojarških instalacija : <https://tsi.webador.com/tois-1-6-mjerenje-pomicnim-mjerilom> [5.9.2021.]
- [8] Slika preuzeta s CD – Eletronic Webshopa : <https://www.cdelectronic.com.hr/artikel.php?ks=1177138&ks=1177138#gsc.tab=0> [5.9.2021.]
- [9] Slika preuzeta s Lumbertrans Webshopa : <https://www.lumbertrans.com/proizvodi/mjerni-uredaji-i-instrumenti/pomicna-mjerala/pomicno-mjerno-digitalno.html> [5.9.2021.]
- [10] Slika preuzeta s Hoffman Group Webshopa : <https://www.hoffmann-group.com/HR/hr/rotometal/Mjerna-tehnika/Mjerni-vijci/Unutarnji-mikrometar/Unutarnji-mikrometar-IMICRO/p/428800> [5.9.2021.]
- [11] Tehnoalat. Mikrometri. Dostupno na: <https://www.tehnoalat.rs/merni-alati/mikrometri> [6.9.2021.]
- [12] Slika preuzeta s webstranice : <http://www.tehnoalat.rs/merni-alati/trokraki-mikrometri> [6.9.2021.]
- [13] Slika preuzeta s webstranice : <https://www.conrad.hr/p/unutarnji-mikrometar-tvornicki-standard-helios-preisser-0885501-mjerno-podrucje-5-30-mm-ucitavanje-001-mm-1380463> [7.9.2021.]
- [14] Slika preuzeta s Metal – Kovis webshopa - <https://metal-kovis.hr/shop/cijena/mikrometar-unutarnji-digitalni-5-30-mm> [8.9.2021.]

- [15] Runje, B. Autorizirana predavanja iz kolegija Teorija i tehnika mjerenja. Zagreb, 2014. [9.9.2021.]
- [16] Svijet kvalitete. Mjerna nesigurnost. Dostupno na: <https://www.svijet-kvalitete.com/index.php/umjeravanje/1533-mjerna-nesigurnost> [10.9.2021.]
- [17] Predavanja iz kolegija "Mjeriteljstvo" prof. Biserke Runje

PRILOZI

1. CD-D disc