

# Statistička analiza rezultata međulaboratorijskih usporedbi

---

Prša, Marija

Master's thesis / Diplomski rad

2023

*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:235:588614>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-09-27**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# DIPLOMSKI RAD

**Marija Prša**

Zagreb, 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# DIPLOMSKI RAD

Mentori:

Doc. dr. sc. Vedran Šimunović

Student:

Marija Prša

Zagreb, 2023.

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

Zahvaljujem se svom mentoru Doc. dr. sc. Vedranu Šimunoviću na pomoći prilikom pisanja rada. Želim se zahvaliti svojim prijateljima i kolegama, koji su mi svojom pomoći i druženjem olakšali period studiranja. Posebne zahvale mojim roditeljima, sestri i bratu na stalnoj podršci i razumijevanju tokom studiranja.

Marija Prša



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:  
Proizvodno inženjerstvo, inženjerstvo materijala, industrijsko inženjerstvo i menadžment,  
mehatronika i robotika, autonomni sustavi i računalna inteligencija

Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 - 04 / 23 - 6 / 1	
Ur.broj: 15 - 23 -	

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Marija Prša** JMBAG: 0035202223

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Statistička analiza rezultata međulaboratorijskih usporedbi**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Statistical analysis of interlaboratory comparison results**

Opis zadatka:

U ovom radu je potrebno obraditi tri različite međulaboratorijske usporedbe primjenom različitih statističkih pristupa. Usporediti dobivene rezultate i komentirati razlike. U radu koristiti javno dostupne rezultate već provedenih EURAMET usporedbi.

Potrebno je:

- Opisati različite tipove međulaboratorijskih usporedbi.
- Definirati različite statističke pristupe u obradi rezultata međulaboratorijskih usporedbi.
- Na tri EURAMET usporedbe primijeniti različite statističke obrade rezultata mjerenja.
- Usporediti i komentirati rezultate provedenih analiza.

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

Zadatak zadan:

26. travnja 2023.

Zadatak zadao:

Doc.dr.sc. Vedran Šimunović

Datum predaje rada:

6. srpnja 2023.

Predvideni datumi obrane:

17. – 21. srpnja 2023.

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Ivica Garašić

**SADRŽAJ**

POPIS SLIKA .....	IV
POPIS TABLICA.....	VI
POPIS OZNAKA .....	VII
POPIS KRATICA .....	VIII
SAŽETAK.....	X
SUMMARY .....	XI
1. UVOD.....	1
2. MJERITELJSKE ORGANIZACIJE .....	2
2.1. Međunarodni ured za utege i mjere (BIPM) .....	2
2.2. Međunarodni odbor za utege i mjere (CIPM).....	3
2.2.1. Sporazum o uzajamnom priznavanju (CIPM MRA) .....	3
2.3. EURAMET .....	3
2.3.1. Tehnički odbori (TC) .....	5
2.3.1.1. Tehnički odbor za duljinu (TC-L).....	6
2.4. Nacionalni mjeriteljski instituti (NMI) .....	6
2.4.1. Međunarodni standardi ISO/IEC 17025 i ISO/IEC 17043 .....	7
2.4.2. Nacionalni mjeriteljski laboratoriji u Hrvatskoj .....	8
3. MEĐULABORATORIJSKE USPOREDBE .....	9
3.1. Tipovi međulaboratorijskih usporedbi .....	9
3.1.1. Ključne usporedbe .....	10
3.1.1.1. Tipovi međulaboratorijskih usporedbi s obzirom na referentnu vrijednost. 11	
3.1.1.2. Naknadne ključne usporedbe .....	11
3.1.2. Dodatne usporedbe (SC) .....	11
3.1.3. Pilot studije (PS) .....	12
3.2. Uloge i odgovornosti.....	12
3.2.1. Sudionici .....	12
3.2.2. Uloge i odgovornosti Tehničkog odbora (TC).....	13
3.2.3. Uloge i odgovornosti Pilot laboratorija.....	14
3.3. Inicijacija i priprema usporedbi .....	14
3.3.1. Predlaganje usporedbe i dogovori u TC.....	14
3.3.2. Tehnički protokol.....	15
3.3.3. Registracija u bazu podataka projekata EURAMET-a .....	17
3.3.4. Registracija u KCDB .....	17
3.4. Provođenje usporedbe .....	18
3.4.1. Izvođenje mjerenja.....	18
3.4.2. Praćenje procesa.....	19

3.5.	Izvjješća o usporedbi.....	19
3.5.1.	Nacrt A izvješća EURAMET usporedbe .....	19
3.5.2.	Nacrt B izvješća i završno izvješće EURAMET usporedbe .....	21
3.5.3.	CMC zahtjevi i unos rezultata u KCDB .....	22
3.5.3.1.	CMC.....	22
3.5.3.2.	Unos rezultata u KCDB .....	23
4.	STATISTIČKI PRISTUPI U OBRADI REZULTATA MEĐULABORATORIJSKIH USPOREDBI.....	24
4.1.	Referentna vrijednost i njezina nesigurnost .....	24
4.2.	Težinska srednja vrijednost.....	25
4.3.	Opis statističkog proračuna rezultata međulaboratorijskih usporedbi .....	26
4.3.1.	Opis statističkog proračuna u slučaju poznate referentne vrijednosti.....	26
4.3.2.	Opis statističkog proračuna u slučaju referentne vrijednosti određene težinskom srednjom vrijednosti.....	26
4.3.3.	Opis statističkog proračuna u slučaju referentne vrijednosti određene aritmetičkom srednjom vrijednosti .....	27
4.3.4.	Opis statističkog proračuna u slučaju izbacivanja nezadovoljavajućeg rezultata	28
4.4.	Birge ratio test.....	29
4.4.1.	Proračun Birge ratio testa.....	29
5.	STATISTIČKA OBRADA REZULTATA MJERENJA PROVEDENIH EURAMET MEĐULABORATORIJSKIH USPOREDBI.....	31
5.1.	Statistička obrada rezultata mjerenja EURAMET L-K7 usporedbe .....	31
5.1.1.	Predmet i veličina mjerenja EURAMET L-K7 usporedbe .....	31
5.1.2.	Statistička obrada rezultata mjerenja nazivne udaljenosti od 10 mm .....	32
5.1.2.1.	Statistička obrada rezultata mjerenja nazivne udaljenosti od 10 mm u slučaju poznate referentne vrijednosti .....	33
5.1.2.2.	Statistička obrada rezultata mjerenja nazivne udaljenosti od 10 mm u slučaju referentne vrijednosti određene težinskom srednjom vrijednosti....	36
5.1.2.3.	Statistička obrada rezultata mjerenja nazivne udaljenosti od 10 mm u slučaju referentne vrijednosti određene aritmetičkom srednjom vrijednosti	39
5.1.3.	Statistička obrada rezultata mjerenja nazivne udaljenosti od 150 mm .....	43
5.1.3.1.	Izmjereni rezultati EURAMET L-K7 usporedbe za nazivnu udaljenost od 150 mm .....	43
5.1.3.2.	Statistička obrada rezultata mjerenja nazivne udaljenosti od 150 mm u slučaju referentne vrijednosti određene težinskom srednjom vrijednosti....	46
5.1.3.3.	Statistička obrada rezultata mjerenja nazivne udaljenosti od 150 mm u slučaju referentne vrijednosti određene aritmetičkom srednjom vrijednosti	50
5.2.	Statistička obrada rezultata mjerenja EURAMET L-K4 usporedbe .....	54
5.2.1.	Predmet i veličina mjerenja EURAMET L-K4 usporedbe .....	54
5.2.2.	Statistička obrada rezultata mjerenja nazivnog promjera $\varnothing$ 5 mm .....	55

---

5.2.2.1.	Statistička obrada rezultata mjerenja nazivnog promjer od $\varnothing$ 5 mm u slučaju referentne vrijednosti određene težinskom srednjom vrijednosti.....	57
5.2.2.2.	Statistička obrada rezultata mjerenja nazivnog promjer od $\varnothing$ 5 mm u slučaju referentne vrijednosti određene aritmetičkom srednjom vrijednosti.....	61
5.3.	Statistička obrada rezultata mjerenja EURAMET L-S21 usporedbe.....	65
5.3.1.	Predmet i veličina mjerenja EURAMET L-S21 usporedbe.....	66
5.3.2.	Statistička obrada rezultata mjerenja kuta navoja $\alpha$ na kontrolnom trnu M36x1,5	68
5.3.2.1.	Statistička obrada rezultata mjerenja kuta navoja $\alpha$ kontrolnog trna M36x1,5 u slučaju referentne vrijednosti određene težinskom srednjom vrijednosti.	68
5.3.2.2.	Statistička obrada rezultata mjerenja kuta navoja $\alpha$ kontrolnog trna M36x1,5 u slučaju referentne vrijednosti određene aritmetičkom srednjom vrijednosti	72
6.	ZAKLJUČAK.....	77
	LITERATURA.....	79



**POPIS SLIKA**

Slika 1.	Precizna mjerna skala [21] .....	31
Slika 2.	Dimenzije precizne mjerne skale[22].....	32
Slika 3.	Prikaz odstupanja laboratorija od referentne vrijednosti u EURAMET L-K7 usporedbi za nazivnu udaljenost od 10 mm u slučaju poznate referente vrijednosti .....	34
Slika 4.	Prikaz odstupanja laboratorija od referentne vrijednosti u EURAMET L-K7 usporedbi za nazivnu udaljenost od 10 mm u slučaju referentne vrijednosti određene težinskom srednjom vrijednosti.....	38
Slika 5.	Prikaz odstupanja laboratorija od referentne vrijednosti u EURAMET L-K7 usporedbi za nazivnu udaljenost od 10 mm u slučaju referentne vrijednosti određene aritmetičkom srednjom vrijednosti .....	41
Slika 6.	Prikaz odstupanja laboratorija od referentne vrijednosti u EURAMET L-K7 usporedbi za nazivnu udaljenost od 150 mm u slučaju poznate referente vrijednosti.....	45
Slika 7.	Prikaz odstupanja laboratorija od referentne vrijednosti u EURAMET L-K7 usporedbi za nazivnu udaljenost od 150 mm u slučaju referentne vrijednosti određene težinskom srednjom vrijednosti.....	49
Slika 8.	Prikaz odstupanja laboratorija od referentne vrijednosti u EURAMET L-K7 usporedbi za nazivnu udaljenost od 150 mm u slučaju referentne vrijednosti određene aritmetičkom srednjom vrijednosti .....	52
Slika 9.	Kontrolnici promjera [22] .....	54
Slika 10.	Kontrolni prstenovi, kontrolni trnovi i mjerna kugla [22].....	55
Slika 11.	Prikaz softvera za statističku obradu rezultata mjerenja međulaboratorijskih usporedbi .....	57
Slika 12.	Prikaz odstupanja laboratorija od referentne vrijednosti u EURAMET L-K4 usporedbi za nazivni promjer $\emptyset$ 5 mm u slučaju referentne vrijednosti određene težinskom srednjom vrijednosti.....	59
Slika 13.	Prikaz odstupanja laboratorija od referentne vrijednosti u EURAMET L-K4 usporedbi nakon izbacivanja <i>Laboratorija 7</i> iz usporedbe za nazivni promjer $\emptyset$ 5 mm u slučaju referentne vrijednosti određene težinskom srednjom vrijednosti ...	61
Slika 14.	Prikaz odstupanja laboratorija od referentne vrijednosti u EURAMET L-K4 usporedbi za nazivni promjer $\emptyset$ 5 mm u slučaju referentne vrijednosti određene aritmetičkom srednjom vrijednosti.....	63
Slika 15.	Prikaz odstupanja laboratorija od referentne vrijednosti u EURAMET L-K4 usporedbi nakon izbacivanja <i>Laboratorija 7</i> iz usporedbe za nazivni promjer $\emptyset$ 5 mm u slučaju referentne vrijednosti određene aritmetičkom srednjom vrijednosti .....	65
Slika 16.	Kontrolni prsten i pozicije mjerenja [23] .....	67
Slika 17.	Kontrolni trn i pozicije mjerenja [23].....	67
Slika 18.	Prikaz odstupanja laboratorija od referentne vrijednosti u EURAMET L-S21 usporedbi za kut navoja $\alpha$ kontrolnog trna M36x1,5 u slučaju referentne vrijednosti određene težinskom srednjom vrijednosti.....	70
Slika 19.	Prikaz odstupanja laboratorija od referentne vrijednosti u EURAMET L-S21 usporedbi nakon izbacivanja <i>Laboratorija 4</i> iz usporedbe za kut navoja $\alpha$ kontrolnog trna M36x1,5 u slučaju referentne vrijednosti određene težinskom srednjom vrijednosti .....	72

---

Slika 20.	Prikaz odstupanja laboratorija od referentne vrijednosti u EURAMET L-S21 usporedbi za kut navoja $\alpha$ kontrolnog trna M36x1,5 u slučaju referentne vrijednosti određene aritmetičkom srednjom vrijednosti.....	74
Slika 21.	Prikaz odstupanja laboratorija od referentne vrijednosti u EURAMET L-S21 usporedbi nakon izbacivanja Laboratorija 4 iz usporedbe za kut navoja $\alpha$ kontrolnog trna M36x1,5 u slučaju referentne vrijednosti određene aritmetičkom srednjom vrijednosti .....	76

**POPIS TABLICA**

Tablica 1. Vrste i ciljevi međulaboratorijskih usporedbi .....	10
Tablica 2. Izmjereni rezultati EURAMET L-K7 usporedbe za nazivnu udaljenost od 10 mm .....	32
Tablica 3. Proračunate vrijednosti EURAMET L-K7 usporedbe za nazivnu udaljenost od 10 mm u slučaju poznate referentne vrijednosti.....	34
Tablica 4. Proračunate vrijednosti EURAMET L-K7 usporedbe za nazivnu udaljenost od 10 mm u slučaju referentne vrijednosti određene težinskom srednjom vrijednosti ...	37
Tablica 5. Proračunate vrijednosti EURAMET L-K7 usporedbe za nazivnu udaljenost od 10 mm u slučaju referentne vrijednosti određene aritmetičkom srednjom vrijednosti .....	41
Tablica 6. Izmjereni rezultati EURAMET L-K7 usporedbe za nazivnu udaljenost od 150 mm .....	43
Tablica 7. Proračunate vrijednosti EURAMET L-K7 usporedbe za nazivnu udaljenost od 150 mm u slučaju poznate referentne vrijednosti.....	44
Tablica 8. Proračunate vrijednosti EURAMET L-K7 usporedbe za nazivnu udaljenost od 150 mm u slučaju referentne vrijednosti određene težinskom srednjom vrijednosti .....	48
Tablica 9. Proračunate vrijednosti EURAMET L-K7 usporedbe za nazivnu udaljenost od 150 mm u slučaju referentne vrijednosti određene aritmetičkom srednjom vrijednosti.....	52
Tablica 10. Izmjereni rezultati EURAMET L-K4 usporedbe nazivnog promjera $\varnothing$ 5mm [22]	56
Tablica 11. Proračunate vrijednosti EURAMET L-K4 usporedbe za nazivni promjer $\varnothing$ 5 mm u slučaju referentne vrijednosti određene težinskom srednjom vrijednosti .....	58
Tablica 12. Proračunate vrijednosti EURAMET L-K4 usporedbe nakon isključivanja <i>Laboratorija 7</i> iz usporedbe za nazivni promjer $\varnothing$ 5 mm u slučaju referentne vrijednosti određene težinskom srednjom vrijednosti.....	60
Tablica 13. Proračunate vrijednosti EURAMET L-K4 usporedbe za nazivni promjer $\varnothing$ 5 mm u slučaju referentne vrijednosti određene aritmetičkom srednjom vrijednosti .....	62
Tablica 14. Proračunate vrijednosti EURAMET L-K4 usporedbe nakon isključivanja <i>Laboratorija 7</i> iz usporedbe za nazivni promjer $\varnothing$ 5 mm u slučaju referentne vrijednosti određene aritmetičkom srednjom vrijednosti.....	64
Tablica 15. Izmjereni rezultati EURAMET L-S21 usporedbe kuta navoja $\alpha$ kontrolnog trna M36x1,5 [23].....	68
Tablica 16. Proračunate vrijednosti EURAMET L-S21 usporedbe za kut navoja $\alpha$ kontrolnog trna M36x1,5 u slučaju referentne vrijednosti određene težinskom srednjom vrijednosti.....	69
Tablica 17. Proračunate vrijednosti EURAMET L-S21 usporedbe nakon izbacivanja <i>Laboratorija 4</i> iz usporedbe za kut navoja $\alpha$ kontrolnog trna M36x1,5 u slučaju referentne vrijednosti određene težinskom srednjom vrijednosti.....	71
Tablica 18. Proračunate vrijednosti EURAMET L-S21 usporedbe za kut navoja $\alpha$ kontrolnog trna M36x1,5 u slučaju referentne vrijednosti određene aritmetičkom srednjom vrijednosti.....	73
Tablica 19. Proračunate vrijednosti EURAMET L-S21 usporedbe nakon izbacivanja <i>Laboratorija 4</i> iz usporedbe za kut navoja $\alpha$ kontrolnog trna M36x1,5 u slučaju referentne vrijednosti određene aritmetičkom srednjom vrijednosti.....	75

**POPIS OZNAKA**

<b>Oznaka</b>	<b>Jedinica</b>	<b>Opis</b>
$E_n$	-	$E_n$ -vrijednost
$i$	-	laboratorij sudionik usporedbe
$x_i$	mm	mjerni rezultat svakog pojedinog laboratorija
$u$	$\mu\text{m}$	mjerna nesigurnost
$C$	-	konstanta
$w_i$	-	težinski faktor svakog pojedinog laboratorija
$n$	-	broj laboratorija sudionika usporedbe
$\bar{x}_w$	mm	težinska srednja vrijednost
$x_{ref}$	mm	referentna vrijednost
$\bar{x}$	mm	prosječna vrijednost
$R_B$	-	Birgeov omjer
$u_{ext}$	$\mu\text{m}$	eksterna mjerna nesigurnost
$u_{int}$	$\mu\text{m}$	interna mjerna nesigurnost
$R_{Bcrit}$	-	kritična vrijednost Birgeovog omjera

**POPIS KRATICA**

<b>Kratika</b>	<b>Opis</b>
BIPM	<i>Bureau international des poids et mesures</i> – Međunarodni ured za mjere i utege
SI	<i>The international System of Units</i> – Međunarodni sustav mjernih jedinica
UTC	<i>Cordinated Universal Time</i> – Koordinirano svjetsko vrijeme
ISO	<i>International organization for standardization</i> – Međunarodna organizacija za standardizaciju
CIPM	<i>Comité international des poids et mesures</i> – Međunarodni odbor za utege i mjere
CGPM	<i>Conférence générale des poids et mesures</i> – Opća konferencija za utege i mjere
MRA	<i>Mutual Recognition Arrangement</i> – Sporazum o uzajamnom priznavanju
NMI	<i>National Metrology Institutes</i> – Nacionalni mjeriteljski instituti
CC	<i>Consultative Committees</i> – Savjetodavni odbori
KC	<i>Key Comparisons</i> – Ključne usporedbe
RMO	<i>Regional metrology organizations</i> – Regionalne mjeriteljske organizacije
EURAMET	<i>The European Association of National metrology institutes</i> – Europsko udruženje nacionalnih mjeriteljskih instituta
JCRB	<i>Join Committee of the Regional Metrology Organizations</i> – Zajednički odbor Regionalnih mjeriteljskih organizacija
EA	<i>European Accreditation</i> – Europska akreditacija
EMRP	<i>European Metrology Research Programme</i> – Europski mjeriteljski istraživački program
EMPIR	<i>European Metrology Programme for Innovation and Research</i> – Europski mjeriteljski program za inovacije i istraživanje
TC	<i>Technical Committee</i> – Tehnički odbor
SC	<i>Sub-Commitee</i> - Pododbor
DZM	<i>Državni zavod za mjeriteljstvo</i>
FSB	<i>Fakultet strojarstva i brodogradnje</i>
FER	<i>Fakultet elektrotehnike i računarstva</i>
IRB	<i>Institut Ruđer Bošković</i>

---

DHMZ	<i>Državni hidrometeorološki zavod</i>
SC	<i>Supplementary comparisons – Dodatne usporedbe</i>
PS	<i>Pilot studies – Pilot studije</i>
KCRV	<i>Key Comparison Reference Value – Referenta vrijednost ključne usporedbe</i>
KCDB	<i>Key Comparison Database – Baza podataka ključnih usporedbi</i>
TC-Chair	<i>Chair of the Technical Committee – Predsjedavajući tehničkog odbora</i>
DoE	<i>The degree of equivalence – Stupanj ekvivalentnosti</i>
TC-Q	<i>The Technical Committee for Quality – Tehnički odbor kvalitete</i>
SCRV	<i>Standard Certified Reference Values – Standardne certificirane vrijednosti</i>
CTE	<i>Coefficient of Thermal Expansion -Koeficijent toplinske ekspanzije</i>

**SAŽETAK**

U ovome diplomskome radu provedena je statistička analiza rezultata međulaboratorijskih usporedbi. Opisana je mjeriteljska infrastruktura, od svijetske pa sve do nacionalne razine u Hrvatskoj s posebnim naglaskom na provođenje međulaboratorijskih usporedbi. Zatim je objašnjen postupak statističke obrade rezultata mjerenja primjenom zadane referentne vrijednosti, referentne vrijednosti određene težinskom srednjom vrijednosti te referentne vrijednosti određene aritmetičkom srednjom vrijednosti. Za tri različite EURAMET međulaboratorijske usporedbe izvršena je statistička analiza rezultata mjerenja primjenom različitih statističkih pristupa. Rezultati rada prikazani su tablično i grafički. Na kraju rada donesen je zaključak s prednostima i nedostacima primjenjenih statističkih metoda na stvarnim primjerima.

Ključne riječi: BIPM, EURAMET, međulaboratorijska usporedba i referentna vrijednost

---

**SUMMARY**

The statistical analysis of the results of interlaboratory comparisons was conducted in this master's thesis. The metrological infrastructure, from the global to national level in Croatia, was described with a specific focus on the implementation of interlaboratory comparisons. Next, the procedure for statistical processing of measurement results was explained, using the given reference value, the reference value determined by weighted mean, and the reference value determined by arithmetic mean. For three different EURAMET interlaboratory comparisons, a statistical analysis of the measurement results was performed using various statistical approaches. The results of the study were presented in tables and graphs. In conclusion, the advantages and disadvantages of the applied statistical methods were discussed based on real examples.

Key words: BIPM, EURAMET, interlaboratory comparison and reference value



## 1. UVOD

U cilju osiguranja pouzdanosti rezultata mjerenja, laboratoriji provode niz aktivnosti. Međutim, jedini pravi način za potvrdu njihove točnosti je usporedba s drugim laboratorijima iste razine. Usporedbe uključuju slanje uzoraka različitim laboratorijima zbog provedbe mjerenja. Potom se rezultati uspoređuju s referentnim vrijednostima ili s rezultatima drugih laboratorija koji su sudjelovali u usporedbi. Na temelju tih rezultata moguće je procijeniti pouzdanost i točnost laboratorijskih metoda te identificirati i riješiti eventualne probleme ili nedostatke koji se mogu pojaviti.

U cilju osiguravanja pouzdanih, usporedivih i prihvaćenih mjeriteljskih rezultata diljem svijeta, predstavnici 17 zemalja, uključujući Austro-Ugarsku koja je tada uključivala i Hrvatsku, potpisali su dogovor o metru 1875. godine. Ovim dogovorom je osnovan Međunarodni ured za utege i mjere (BIPM) sa sjedištem u dvorcu Pavillon de Breteuil u Sèvresu pokraj Pariza. Danas BIPM ima 64 zemlje članice i 36 pridruženih država. Jedna od glavnih zadaća BIPM-a je upravo koordiniranje međunarodnih usporedbi nacionalnih etalona. Isto tako, od strane BIPM-a izdan je čitav niz dokumenata s uputama i preporukama kako se međulaboratorijske usporedbe vode, kako se analiziraju dobiveni rezultati i kako se postupa u slučaju nesukladnih rezultata.

U ovome radu opisat će se mjeriteljska infrastruktura od svjetske pa sve do nacionalne razine, s naglaskom na provedbu međulaboratorijskih usporedbi. Detaljnije će se opisati tipovi međulaboratorijskih usporedbi te njihova provedba.

U eksperimentalnom dijelu rada statistički će se analizirati rezultati triju EURAMET usporedbi. Statistička analiza rezultata provest će se za sve slučajeve računanja referentne vrijednosti, kako bi se u zaključku mogla donijeti odluka koji je način računanja najprikladniji.

## 2. MJERITELJSKE ORGANIZACIJE

### 2.1. Međunarodni ured za utege i mjere (BIPM)

BIPM je međunarodna organizacija uspostavljena konvencijom o metru, putem koje države članice zajedno djeluju u pitanjima koje se odnose na znanost o mjerenju i mjernim etalonima. Dom je Međunarodnog sustava jedinica (SI) i Međunarodne referentne vremenske skale (UTC). Trenutno postoje 64 država članica i 36 pridruženih država i gospodarstava. Hrvatska je članica od 2008. godine. Države članice zajedno djeluju na mjernim etalonima u četiri područja: kemiji, ionizirajućem zračenju, fizikalnom mjeriteljstvu kao i usklađivanju univerzalnog vremena. Sjedište joj je u Saint-Cloudu u Francuskoj. [1]

BIPM ima važnu ulogu u međunarodnom sustavu jedinica te osiguravanju točnosti i pouzdanosti mjerenja diljem svijeta. Glavne zadaće BIPM-a su:

1. Definiranje i održavanje Međunarodnog sustava jedinica SI te praćenje njihove primjene u različitim područjima znanosti i tehnologije
2. Održavanje referentnih etalona fizikalnih veličina koji se koriste za usporedbu i umjeravanje nacionalnih etalona diljem svijeta
3. Pružanje usluga međunarodnih usporedbi mjerenja za nacionalne mjerne institute, što omogućuje usporedbu i verifikaciju rezultata mjerenja različitih laboratorija te osigurava njihovu međusobnu usklađenost
4. Razvoj i diseminacija mjerne tehnologije
5. Suradnja s drugim međunarodnim organizacijama kako bi se osigurala usklađenost i međunarodna prihvaćenost mjernih standarda.

Navedene zadaće BIPM-a doprinose održavanju kvalitete i pouzdanosti mjerenja diljem svijeta te potiču znanstveni napredak i tehnološki razvoj u području metrologije. [1] [2]

## **2.2. Međunarodni odbor za utege i mjere (CIPM)**

BIPM je pod nadzorom Međunarodnog odbora za utege i mjere (CIPM), odbora od osamnaest članova koji se obično sastaju na dvije sjednice godišnje koju zauzvat nadzire Opća konferencija za utege i mjere (CGPM), koja se sastaje u Parizu obično jednom svake četiri godine, a sastoji se od izaslanika vlada država članica te promatrača i suradnika. CIPM je savjetodavno tijelo BIPM-a i igra ključnu ulogu u upravljanju BIPM-om i promicanju međunarodne suradnje u području metrologije. [1]

### **2.2.1. Sporazum o uzajamnom priznavanju (CIPM MRA)**

CIPM MRA je sporazum o međusobnom priznavanju potpisan od strane CIPM-a i Nacionalnih mjernih instituta NMI koji su članovi konvencije o metru. Služi za osiguravanje temelja koji je potreban vladi i ostalim gospodarskim društvima kako bi mogli proširiti svoju suradnju u međunarodnoj razmjeni, trgovini i vanjskim i unutarnjim poslovima. CIPM MRA sporazum je dokument od dva dijela od kojih se prvi odnosi na uzajamno priznavanje nacionalnih etalona svih sudionika sporazuma dok se drugi odnosi na uzajamno priznavanje potvrda o mjerenju pojedinih veličina i potvrda o umjeravanju mjernih uređaja i etalona.

Cilj CIPM MRA sporazuma je uspostaviti stupanj jednakosti mjerenja nacionalnih mjernih etalona, koji podrazumijeva stupanj do kojega su referenti etaloni u skladu s referentnim vrijednostima utvrđenim u ključnim usporedbama. Stupanj jednakosti nacionalnih etalona izražava se kvantitativno kao odstupanje od referentne vrijednosti i nesigurnosti istog.

Glavnu odgovornost u odabiru i provedbi CIPM ključnih usporedbi (KC) provode Savjetodavni odbori (CC) CIPM-a, BIPM-a i Regionalnih mjeriteljskih organizacija (RMO). Tehnička osnova CIPM MRA sporazuma je skup rezultata dobivenih putem tih ključnih usporedbi. [2]  
[3]

## **2.3. EURAMET**

U hijerarhiji vodećih organizacija u svijetu, iza BIPM-a nalaze se Regionalne mjeriteljske organizacije (RMO). RMO su regionalna udruženja nacionalnih mjeriteljskih instituta. U svijetu postoji šest RMO-a, ovisno o područjima koje zastupaju.

EURAMET je Regionalna mjeriteljska organizacija (RMO) Europe. Koordinira suradnju Nacionalnih mjeriteljskih instituta (NMI) u Europi, u područjima kao što su istraživanja u mjeriteljstvu, sljedivost mjerenja do SI jedinica, međunarodno priznavanje nacionalnih mjernih etalona i srodnih Umjernih i mjernih sposobnosti (CMC). Putem prijenosa znanja i suradnje između članica, EURAMET olakšava razvoj nacionalnih mjeriteljskih infrastruktura. [4]

Misija EURAMET-a je razvitak i širenje integrirane, isplative i međunarodno konkurentne mjerne infrastrukture u Europi. Uvijek uzimajući u obzir potrebe industrije, poslovanja i vlade. Svojim uslugama, EURAMET podržava članove da ispune svoje nacionalne zahtjeve i uspostave uravnoteženu europsku mjernu infrastrukturu. [4]

Dva glavna alata za postizanje ovih ciljeva su Europski mjeriteljski istraživački program (EMRP) i Europski mjeriteljski program za inovacije i istraživanje (EMPIR) s više od 100 zajedničkih istraživačkih projekata do sada. Osmišljeni su za poticanje suradnje NMI-a i partnera u industriji ili akademskoj zajednici. [4]

Kako bi se postigla infrastruktura kvalitete u Europi i šire, zadaće EURAMET-a su:

- Razumijevanje prave potrebe i vizije članova te uključiv pristup svim potrebama članova
- Podržavanje svih članova i suradnika u postizanju vlastitih ciljeva uzimajući u obzir raznolikost
- Povećanje opsega za suradnju i dijeljenje resursa za obostranu korist i konvergentni razvoj
- Poticanje razvoja stabilnog nacionalnog okvira mjeriteljstva i podupiranje mjeriteljske izvrsnosti kao pokretačke snage
- Poboljšanje učinkovitosti i djelotvornosti CIPM MRA
- Utjecaj na Zajednički odbor Regionalne mjeriteljske organizacije (JCRB) u bliskoj suradnji s drugim RMO-ima kako bi se optimizirali procesi i upravljanje CIPM MRA

- Ojačavanje suradnje s Europskom kooperacijom za akreditaciju (EA) u područjima od zajedničkog interesa povezanim s akreditacijom
- Suradnja s Europskom komisijom u provedbi projekata tehničke pomoći u pristupnim i izvaneuropskim zemljama. [4]

### **2.3.1. Tehnički odbori (TC)**

Tehnička suradnja u EURAMET-u organizirana je u okviru deset tehničkih odbora. Usredotočeni su na područja kao što su duljina, akustika, masa, vrijeme ili temperatura do ionizirajućeg zračenja. Tehnički odbori su EURAMET-ov forum za znanstvenu i tehničku suradnju u odgovarajućim područjima.

Vrste suradnje su:

- Suradnja u istraživanju
- Usporedba mjernih etalona
- Sljedivost
- Konzultacije o objektima. [4]

Tehnički odbori odgovorni su za izvršenje aktivnosti koje zahtijeva EURAMET za ispunjavanje CIPM MRA sporazuma. To uključuje unutar organizacijski pregled RMO-a i podnošenje Umjernih i mjernih sposobnosti (CMC) članova i suradnika EURAMETA. Osim toga, tehnički odbori doprinose razradi i provedbi europskih mjeriteljskih istraživačkih programa EMPR i EMPIR. [4]

Delegat člana ili suradnika EURAMET-a može imenovati kontakt osobu koja je tehnički kompetentna u dotičnom području za svaki tehnički odbor. Ista osoba može biti kontakt osoba u više od jednog tehničkog odbora. Odgovarajući NMI-i mogu sudjelovati u tehničkim odborima kao promatrači na poziv predsjednika tehničkog odbora. Tehnički odbori sastaju se jednom godišnje, a njihov rad koordinira predsjednik kojeg bira glavna skupština.

Ako je potrebno, tehnički odbori osnivaju Pododbore (SC) koji se bave posebnim pitanjima iz područja rada tehničkog odbora. Kontakt osoba pododbora može biti kontakt osoba tehničkog odbora ili druga osoba koju se imenuje. [4]

#### 2.3.1.1. Tehnički odbor za duljinu (TC-L)

Tehnički odbor za duljinu podržava industriju i istraživače koordiniranjem i daljnjim razvojem mjerenja vezanog uz jedinicu duljine, metar. Tehnička područja uključuju:

- Realizaciju etalona valne duljine
- Mjerenje dimenzija
- Mjerenja kuta
- Koordinatno mjerenje
- Mjerenje za mikro i nano tehnologiju
- Mjerenje oblika
- Mjerenje površinske hrapavosti
- Mjerenje kompleksne geometrije
- Umjeravanje mjernih instrumenata
- Mjerenje udaljenosti. [4]

#### 2.4. Nacionalni mjeriteljski instituti (NMI)

Nacionalni mjeriteljski instituti (NMI) su organizacije koje su odgovorne za pružanje mjeriteljskih usluga, provođenje istraživanja te razvoj u području mjeriteljstva na nacionalnoj razini. NMI su ključne institucije u svakoj zemlji koje osiguravaju točnost, pouzdanost i međunarodnu usklađenost rezultata mjerenja. NMI je odgovoran za razvoj i održavanje nacionalnih mjernih etalona i povezane mjerne mogućnosti. NMI-ji sudjeluju u međunarodnim usporedbama mjernih etalona prema CIPM MRA sporazumu. [5]

NMI zadužen je za:

- Uspostavljanje mjeriteljske sljedivosti prema SI
- Pružanje usluga umjeravanja
- Sudjelovanje u međunarodnim aktivnostima

- Osiguravanje međunarodnog priznavanja umjeravanja
- Provedba istraživačkih aktivnosti za pripremu sljedeće generacije mjeriteljstva
- Pružanje potrebnih savjeta i podrške vladi, industriji, trgovini i javnosti o mjeriteljskim pitanjima
- Pružanje čvrste mjeriteljske osnove za nacionalnu akreditacijsku shemu. [5]

U idealnom slučaju, država će uspostaviti jedinstveni nacionalni institut koji pokriva sve njezine potrebe. Zbog praktičnosti u nekim slučajevima, funkcije NMI-a može obavljati više od jedne organizacije. One mogu uključivati laboratorije koji su dio sveučilišta ili drugih znanstvenih ustanova. To se može dogoditi, na primjer, kada zemlje tradicionalno raspodjeljuju odgovornost za različite jedinice između različitih instituta. Međutim, sudjelovanje u CIPM MRA sporazumu moguće je za samo jedan institut po državi. Za potrebe CIPM MRA jedan institut obično se imenuje NMI, te je on jedini punopravni član EURAMET-a, dok ostali djeluju kao Imenovani instituti (DI). [5] EURAMET trenutno ima 40 članica koji su NMI i 17 DI koji zajedno doprinose napretku mjeriteljstva u Europi.

#### **2.4.1. Međunarodni standardi ISO/IEC 17025 i ISO/IEC 17043**

Da bi NMI ili DI mogućnosti umjeravanja ili mjerenja bile priznate unutar CIPM MRA sporazuma, laboratorij mora imati sustav upravljanja kvalitetom u skladu s odgovarajućim međunarodnim standardima, točnije ISO/IEC 17025 [6] te ako laboratorij proizvodi referentne materijale, ISO/IEC 17034 [7]. Odluku o akreditaciji donosi NMI sam ili vladajući ministri te zemlje.

Zahtjevi norme ISO/IEC 17025 opći su zahtjevi za osposobljenost ispitnih i umjernih laboratorija. Sadrže zahtjeve za laboratorije kako bi im se omogućilo da pokažu kompetentnost u radu i generiranje valjanih rezultata. Daju zahtjeve za opće zahtjeve kako bi se osigurala pouzdanost rezultata. Poštivanje zahtjeva normi ISO/IEC 17025 potrebno je za akreditaciju

postupka umjeravanja. Svi laboratoriji koji sudjeluju u međunarodnim usporedbama akreditiraju se po ISO/IEC 17025 normi.

Zahtjevi norme ISO/IEC 17043 opći su zahtjevi za ispitivanje sposobnosti. Sudjelovanje u ispitivanju sposobnosti omogućuje laboratoriju da prati svoju izvedbu usporedbom s rezultatima drugih laboratorija. Pružatelji usluga testiranja sposobnosti koji ispunjavaju zahtjeve ISO/IEC 17043 smatraju se kompetentnima.

#### **2.4.2. Nacionalni mjeriteljski laboratoriji u Hrvatskoj**

Državni zavod za mjeriteljstvo (DZM) je nadležno nacionalno tijelo za temeljno mjeriteljstvo u Republici Hrvatskoj te punopravni član EURAMET-a. DZM je potpisnik CIPM MRA sporazuma kojim se osigurava međunarodno priznavanje ravnopravnosti i kvalitete temeljnog mjeriteljstva u Republici Hrvatskoj kao preduvjeta ekonomske konkurentnosti i međunarodne zakonodavne suradnje. [8]

Nacionalni umjerni laboratoriji za masu i gustoću u sastavu je DZM-a, dok su laboratoriji za druge fizikalne veličine smješteni unutar drugih znanstvenoistraživačkih ustanova te ugovorno vezani s DZM-om. Nacionalni umjerni laboratoriji za pojedine fizikalne veličine su kako slijedi:

- Laboratorij za precizna mjerenja dužina – FSB
- Primarni elektromagnetski laboratorij – FER
- Laboratorij za masu i gustoću – DZM
- Sekundarni standardni dozimetrijski laboratorij – IRB
- Samostalna služba za umjerni laboratorij – DHMZ
- Laboratorij za ispitivanje mehaničkih svojstava – FSB
- Laboratorij za procesna mjerenja – FSB. [8]



### 3. MEĐULABORATORIJSKE USPOREDBE

Međulaboratorijska usporedba je organizacija, izvedba i vrednovanje mjerenja ili ispitivanja istih ili sličnih predmeta ispitivanja u dva ili više laboratorija prema unaprijed određenim uvjetima. [9]

Cilj međulaboratorijskih usporedbi je identificirati varijabilnost među laboratorijima i procijeniti njihovu preciznost, pouzdanost i sposobnost pružanja točnih rezultata. Ovi postupci pomažu laboratorijima u otkrivanju i ispravljanju eventualnih nedostataka u njihovim metodama ili procesima te poboljšavaju kvalitetu njihovih rezultata. Također, međulaboratorijske usporedbe mogu biti korisne za usporedbu rezultata laboratorijskih ispitivanja s propisanim standardima ili normama.

Kako bi se procijenio stupanj sličnosti u rezultatima koje su proizveli različiti laboratoriji koristeći istu metodu provodi se ISO 17025 Međulaboratorijska usporedba [6]. Isto tako, izjednačuje se s izvedbom i evaluacijom rezultata umjeravanja za sličnu stavku od strane različitih laboratorija u skladu s unaprijed dogovorenim uvjetima. [10]

Međulaboratorijske usporedbe se mogu provesti:

1. Na međunarodnoj razini, u organizaciji CC-a ili BIPM-a
2. Na regionalnoj razini, u organizaciji TC-a ili RMO-a. [11]

#### 3.1. Tipovi međulaboratorijskih usporedbi

CIPM MRA-G-11 [12] opisuje tri tipova usporedbi mjerenja unutar CIPM MRA. Pregled tipova međulaboratorijskih usporedbi prikazani su u [Tablica 1.].

Tablica 1. Vrste i ciljevi međulaboratorijskih usporedbi

Tip	Razina	Ciljevi
Ključne usporedbe (KC)	CC	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Generiranje KCRV</li> <li>• Podrška CMC zahtjeva</li> </ul>
	RMO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Povezivanje na KCRV</li> <li>• Podrška CMC zahtjeva</li> </ul>
Dodatne usporedbe (SC)	RMO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zadovoljavanje specifičnih potvrda koje nisu pokriveno KC-om</li> <li>• Podrška CMC zahtjeva</li> </ul>
Pilot studije (PS)	CC	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ispitivanje novih metoda ili instrumenata</li> </ul>
	RMO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Obuka za NMI</li> <li>• Može se koristiti kao dodatna informacija za podršku CMC zahtjeva</li> </ul>

### 3.1.1. Ključne usporedbe

Ključne usporedbe su međulaboratorijske usporedbe odabrane od strane CC-a u svrhu ispitivanja ključnih parametara te temeljnih tehnika i metoda koje su od vitalnog značaja za određeno područje ili industriju. Mogu uključivati usporedbe prikaza jedinica iz SI baze i izvedenih jedinica kao i usporedbe artefakata.

Ključne usporedbe međunarodnog opsega, organizirane su od strane CC-a ili država članica BIPM-a te daju Referentnu vrijednost ključne usporedbe (KCRV) za odabranu ključnu količinu.

Ključne usporedbe mogu također biti organizirane od strane RMO-a te otvorene laboratorijima suradnika kao i državama članicama. Imaju za cilj pružiti članovima RMO-a sredstva za povezivanje s KCRV te daju komplementarne informacije bez mijenjanja referentne vrijednosti. Ključne usporedbe organizirane od strane RMO-a moraju se također unaprijed odobriti od odgovarajućeg CC-a te se mogu pokrenuti dok su ključne usporedbe organizirane od CC-a još uvijek u tijeku. [11] [12]

### 3.1.1.1. Tipovi međulaboratorijskih usporedbi s obzirom na referentnu vrijednost

S obzirom na referentnu vrijednost, postoje tri tipa međulaboratorijskih usporedbi:

1. Više laboratorija iste razine: Referentna vrijednost izračunava iz rezultata svih uključenih laboratorija.
2. Više laboratorija s pilot laboratorijem: Pilot laboratorij djeluje kao referentni laboratorij te pruža referentne vrijednosti svim uključenim laboratorijima.
3. Dva laboratorija: Usporedbe u kojima djeluju dva laboratorija nazivaju se bilateralne usporedbe, a jedan od tih laboratorija smatra se referentnim.

### 3.1.1.2. Naknadne ključne usporedbe

Ključne usporedbe mogu se proširiti naknadnim ključnim usporedbama. Mogu biti organizirane za jednog ili više sudionika. Ako su organizirane s pilot laboratorijem i jednim ili više sudionika nazivaju se naknadne bilateralne usporedbe. Takve bilateralne usporedbe može zatražiti institut koji smatra svoj rezultat u KC-u nereprezentativnim za svoje standarde ili ako sudjelovanje instituta u vrijeme provedbe KC-a nije bilo moguće. Trebale bi se provoditi što je prije moguće nakon završetka odgovarajuće KC. Naknadna bilateralna usporedba smatra se posebnom i novom usporedbom.

Bilateralne usporedbe zahtijevaju dodatni napor u organizaciji i povezivanju s rezultatima KC-a. Laboratoriji bi trebali pokušati izbjeći bilateralnu usporedbu te umjesto toga se pridružiti KC-u ili SC-u u razumnom roku. Također, može se razmotriti pridruživanje KC-a ili SC-a drugog RMO-a. [11]

### 3.1.2. Dodatne usporedbe (SC)

Dodatne usporedbe (SC) su usporedbe koje obično provodi RMO radi ispunjavanja specifične potrebe koje nisu pokrivena KC-om, kao što je mjerenje specifičnih artefakata, količine ili mjerenje parametara koji nisu unutar opsega CC. Također, mogu uključivati laboratorije koji ne ispunjavaju zahtjeve za sudjelovanju u KC-u. SC su komplementarne KC i nisu zamišljene kao usporedbe druge razine. Njihova završna izvješća objavljuju se u Bazi podataka ključnih usporedbi (KCDB) te podržavaju CMC zahtjeve sudjelujućeg NMI-a. [11] [12]

### **3.1.3. Pilot studije (PS)**

Pilot studije (PS) je treća kategorija međulaboratorijskih usporedbi koja se koristi za sve usporedbe koje nisu KC ili SC. Obično se provodi kako bi se utvrdili mjerni parametri za novo područje ili instrument.

Specifične zadaće PS su:

- Ispitivanje novih instrumenata
- Ispitivanje novih metoda ili metoda u ranoj fazi
- Priprema KC-a
- Obuka za NMI u nastajanju
- Benchmarking NMI-a, posebno ako nikada nije sudjelovao u KC ili SC
- Nova područja ili količine mjerenja, gdje CMC-ovi ne bi trebali biti podržani sada ili u bliskoj budućnosti.

Sami rezultati PS-a obično se ne smatraju dovoljnom potporom za CMC te se ne registriraju niti objavljuju u KCDB. Međutim, mogu se koristiti kao dodatne informacije za podršku CMC zahtjeva, ako su rezultati mjerenja bili povjerljivi tijekom usporedba. [11] [12]

## **3.2. Uloge i odgovornosti**

U pripremi usporedbi uloge i odgovornosti trebaju biti dodijeljene tako da je osigurana učinkovita provedba usporedbe i da je radno opterećenje podijeljeno među sudionicima na pošten i najbolji mogući način. [11]

### **3.2.1. Sudionici**

O sudjelovanju u KC organiziranim od strane CC odlučuju CIPM MRA pravila. Općenito, sudjelovanje je ograničeno na NMI i DI iz zemalja koje su potpisnice CIPM MRA-a.

Sudjelovanje u EURAMET usporedbama moguće je za sve članice EURAMET-a, čija je tehnička osposobljenost primjerena za određenu usporedbu. Također, laboratoriji trebaju osigurati mjerenje kakvo je opisano u protokolu u za to zadanom roku te osigurati resurse za odgovarajući prijenos etalona u sljedeći laboratorij.

Od laboratorija se očekuje da sudjeluje u EURAMET KC, u slučaju da ima objavljene CMC-ove koji se odnose na taj KC. Laboratoriji koji sudjeluje mora prihvatiti da se njegovi rezultati objave u konačnom izvješću usporedbe, a prihvaćanje ovih uvjeta sudionici potvrđuju potpisivanjem EURAMET predloška [13].

### **3.2.2. Uloge i odgovornosti Tehničkog odbora (TC)**

Tehnički odbori (TC) odgovorni su za utvrđivanje potreba za usporedbama uz konzultacije članova EURAMET-a. Raspravljaju relevantnost, prioritete i modele predloženih usporedbi te odlučuju koje usporedbe treba provesti u određenom vremenskom roku.

U mnogim TC-ima, o specifičnim potrebama za usporedbama i njihovim modelima raspravljaju dotični Pododbori (SC). SC trebaju iznijeti svoje prijedloge cjelokupnom sastanku za odobrenje.

Predsjedavajući tehničkog odbora (TC-Chair) odgovoran je za koordinaciju i nadzor cijelog procesa, od konzultacija za iniciranje potrebnog procesa za nove usporedbe pa sve do podnošenja završnog izvješća u KCDB ured. Također, osigurava da je usporedba u skladu s politikama EURAMET-a i ispravno usklađena s TC-om. [11]

### **3.2.3. Uloge i odgovornosti Pilot laboratorija**

Prilikom dogovora o usporedbi, tijelo koje provodi usporedbu jednom od sudionika daje ulogu koordinatora, odnosno imenuje ga Pilot laboratorij. Pilot laboratorij preuzima glavnu odgovornost za:

- Određivanje grupe sudionika
- Izradu nacrtu tehničkog protokola u dogovoru sa sudionicima i TC-Chair-om
- Pripremu upisa usporedbe u baze podataka EURAMET i KCDB
- Organiziranje pripreme prijenosnih etalona i njihovo kruženje među sudionicima
- Uspoređivanje rezultata mjerenja sudionika
- Praćenje u svim fazama te upozoravanje na nepodmirene dužnosti
- Savjetovanje s TC-Chair-om u slučaju velikih problema
- Pripremanje godišnjih izvješća o napretku za sastanke i baze podataka TC-a
- Ocjenu usporedbe
- Povezivanje rezultata s KCRV
- Pripremu izvješća. [11]

## **3.3. Inicijacija i priprema usporedbi**

### **3.3.1. Predlaganje usporedbe i dogovori u TC**

EURAMET usporedbu može predložiti bilo koja kontakt osoba iz TC-a ili SC-a. Prijedlog se šalje TC-Chair-u koji obavještava sve kontakt osobe TC-a i pokreće daljnje korake. Preporučuje se unaprijed predložiti nove usporedbe na sastanku TC-a, jer će to omogućiti kontakt osobama da se prije konzultiraju s upravom svog instituta. Takve konzultacije važne su za postizanje dogovora o sudjelovanju instituta u usporedbi kako bi jamčili da su potrebna sredstva i vrijeme na raspolaganju. [11]

Na svojim godišnjim sastancima, TC treba raspraviti i ispitati stvarne potrebe za usporedbama i prioritetima. Odluku o usporedbama i njihovim modelima donosi TC, obično na svom plenarnom sastanku. Odgovornost je TC-Chair-a da vodi ovaj proces, kako bi osigurao da svi zainteresirani laboratoriji ili potencijalni sudionici budu pravilno obaviješteni i poduzmu odgovarajuće mjere.

Nakon svakog sastanka TC-a, TC-Chair obavještava tajništvo EURAMET-a o donesenim odlukama za EURAMET usporedbe koje će se organizirati.

Dugoročnim planiranjem i odgovarajućim rasporedima usporedbe, TC osigurava da radno opterećenje za cijeli niz usporedbi nije preveliko za sudionike i pilot institute te da se usporedbe mogu zaključiti u razumnom roku. Vremenski rok je tri godine. [11]

### **3.3.2. Tehnički protokol**

Tehnički protokol je važan dio usporedbe i detaljno navodi postupak koji treba slijediti. Pilot institut, u konzultacijama s TC-Chair-om, izrađuje detaljan tehnički protokol i raspored usporedbe te njezine otpreme. Protokol stoga navodi postupke potrebne za usporedbu, ali ne nužno i postupke koji se koriste za realizaciju etalona koji se uspoređuju. Protokol treba sadržavati:

1. Uvod u temu i točnu definiciju mjerne veličine usporedba
2. Opis sheme usporedbe
3. Provjeru stabilnosti prijenosnog etalona
4. Vremenski raspored, posebno datum početka i predviđeni datum zaključenja
5. Opis prijenosa etalona, točnije marka, tip, serijski broj te tehnički podaci potrebni za rad i izjavu o stabilnosti
6. Savjete o rukovanju i organiziranju prijevoza prijenosnog etalona

7. Ispitivanje koje treba provesti prije mjerenja
8. Opis rukovanja prijenosnim etalonom pri primitku i tijekom mjerenja
9. Opis korištene metode umjeravanja i uvjeta mjerenja
10. Prezentaciju rezultata
11. Popis glavnih komponenti proračuna nesigurnosti
12. Raspored za priopćavanje rezultata
13. Načelo evaluacije rezultata i mehanizam povezivanja s odgovarajućom KCRV-om
14. Financijske aspekte
15. Upućivanje na korisne dokumente. [11] [12]

EURAMET KC mora u osnovi slijediti isti protokol kao i KC organiziran od strane CC-a. Dopusćen je ograničen opseg za pojedinačne sudionike, ako sudionik nije u mogućnosti dostaviti sve mjerne točke protokola.

Vrijeme kruženja prijenosnih etalona ili prijenosnih instrumenata mora biti fiksno i može prekoračiti osamnaest mjeseci samo u iznimnim okolnostima. Mogućnost za suočavanje s velikim brojem sudionika u slučaju kružnih usporedbi treba biti analizirana, na primjer organiziranjem dvije ili više paralelne petlje s povezanim laboratorijima koji mjere prijenosne etalone obje petlje. [11]

U slučaju KC i SC koje se registriraju u KCDB, pilot laboratorij šalje nacrt protokola putem TC-Chair-a prema odgovarajućoj CC radnoj skupini.



U sljedećem koraku, pilot laboratorij šalje službeni poziv svim članovima TC-a i njihovim pododborima te predviđenim vanjskim sudionicima, s rokom za potvrdu sudjelovanja, korištenjem predloška [13]. Dobivši potvrde od laboratorija, pilot laboratorij izrađuje konačnu shemu cirkulacije prijenosnih etalona i vremenski raspored. [11]

### **3.3.3. Registracija u bazu podataka projekata EURAMET-a**

Svaka EURAMET usporedba registrira se u bazu podataka projekta TC-a na EURAMET web stranici.

Primjeri za usporedbe koje se ne bi trebale registrirati u bazu podataka projekta TC-a su:

- Jedan ili više EURAMET laboratorija sudjeluje u usporedbi u organizaciji drugog RMO-a
- Usporedbe, posebno PS, gdje EURAMET NMI pruža tehničku pomoć ili prijenos znanja nekom NMI-u van EURAMET-a.

Nakon što je usporedba odobrena, TC-Chair registrira usporedbu u bazu podataka projekta TC-a, slanjem ispunjenog predloška [13] tajništvu EURAMET-a. U ispunjavanju predloška pomaže mu pilot laboratorij. [11]

### **3.3.4. Registracija u KCDB**

Nakon što odgovarajuća CC radna skupina odobri tehnički protokol EURAMET KC ili SC, pilot laboratorij ispunjava odgovarajući BIPM obrazac za registriranje usporedbe u KCDB. TC-Chair registrira tu usporedbu. Nakon što je registrirana usporedba, pilot laboratorij tajništvu dostavlja registracijski broj za unos u bazu podataka projekta TC-a.

TC raspravlja hoće li usporedba imati format KC, SC ili PS i posljedično biti registriranu u KCDB. Općenito, svaka usporedba kojoj je glavna svrha podržati CMC zahtjeve sudjelujućeg laboratorija, treba biti predložena kao KC ili SC te registrirana u KCDB. [11]

Tijekom usporedbe koja je registrirana u KCDB, važno je da ažurirane informacije o napretku usporedbe budu uvijek dostupne. Pilot laboratorij će redovito primati automatsku obavijest za ažuriranje statusa usporedbe u KCDB. Predsjednik, izvršni tajnik i radna skupina imenovana od strane CC-a istodobno će biti obaviješteni od strane pilot laboratorija. [12]

### **3.4. Provođenje usporedbe**

#### **3.4.1. Izvođenje mjerenja**

Pilot laboratorij mora osigurati prijevoz prijenosnih etalona ili prijenosnih instrumenata te osigurati da sudionici naprave odgovarajuće aranžmane za lokalne carinske formalnosti. Transport prijenosnog etalona može se organizirati tako da svaki sudionik sam organizira prijevoz do sljedećeg sudionika na vlastitu odgovornost i trošak ili da se angažira tvrtka koja će organizirati prijevoz na trošak svih sudionika.

Mjerenja moraju provoditi sudionici strogo prema tehničkom protokolu. Ako iz nekih tehničkih razloga laboratorij ne može izvoditi mjerenja prema protokolu, a i dalje želi sudjelovati u usporedbi, prije izvođenja mjerenja potrebno je obaviti konzultacije s pilot laboratorijem.

Laboratoriji koji sudjeluju moraju dostaviti rezultate usporedbe pilot laboratoriju što je prije moguće, a najkasnije šest tjedana nakon što je mjerenje dovršeno. Laboratoriju se može ukinuti sudjelovanje u usporedbi, ako se ne ispoštuje rok od šest tjedana za prijavu rezultata. Radi potpune transparentnosti, pilot laboratorij može razmotriti podnošenje svojih rezultata nekoj samostalnoj stranci, prije nego što primi rezultate od drugih sudionika. [11]

### **3.4.2. Praćenje procesa**

Svaki laboratorij koji sudjeluje u usporedbi dužan je obavijestiti pilot laboratorij o primitku prijenosnog etalona te kada je isti poslan sljedećem sudioniku. Kad god se pojavi problem, poput dolaska etalona u neprikladnom obliku ili nemogućnosti provedbe mjerenja unutar vremenskog plana, pilot laboratorij mora biti odmah obaviješten. Status usporedbe treba biti poznat pilot laboratoriju u svakom trenutku, a pilot laboratorij o tome obavještava TC-Chair.

O napretku usporedbe izvještava se na godišnjem sastanku TC-a pomoću predloška za izvješće o napretku TC projekta [14]. Nakon sastanka TC-a, TC-Chair će proslijediti izvješće o projektu tajništvu EURAMET-a za učitavanje u bazu podataka projekta TC-a. [11]

## **3.5. Izvješća o usporedbi**

Pilot laboratorij odgovoran je za pisanje izvješća o usporedbi uz pomoć koordinacijske skupine. Izvješće prolazi kroz tri faze prije objave, koje se nazivaju Nacrt A, Nacrt B i završno izvješće.

Faze se razlikuju prema:

- Nacrt A, koji je dostupan samo sudionicima u usporedbi
- Nacrt B, koji je dostupan relevantnom CC-u
- Završno izvješće, koje je javno dostupno. [12]

### **3.5.1. Nacrt A izvješća EURAMET usporedbe**

Nakon što svi sudionici pošalju rezultate, pilot laboratorij ima dva mjeseca za pripremu Nacrta A izvješća. Nacrt A smatra se povjerljivim i dijeli se samo među sudionicima. S obzirom na to da se rezultati mogu promijeniti, Nacrt A izvješća neće se koristiti za potporu CMC zahtjeva. [11] [12]

Izvješće o SC i KC trebalo bi sadržavati:

- Uvod u temu i točnu definiciju mjerne veličine usporedbe

- Opis sheme usporedbe
- Sudionike
- Opis prijenosnog etalona i rukovanja opremom
- Opis korištene metode umjeravanja
- Uvjete mjerenja i opremu svakog sudionika
- Određivanje stabilnosti prijenosnog etalona i potrebne korekcije
- Rezultate sudionika
- Izračun referentne vrijednosti usporedbe u slučaju SC ili opisa veze s KCRV-om u slučaju KC
- Stupanj ekvivalentnosti (DoE) s referentnom vrijednošću svakog sudionika
- Proračun nesigurnosti svakog sudionika
- Zaključke
- Odgovarajuću analizu za provjeru odgovaraju li tvrdnje o nesigurnosti objavljenim CMC zahtjevima
- Literaturu. [11]

U slučaju EURAMET KC-a ne određuje se referentna vrijednost. DoE se izračunava prema odgovarajućoj metodi povezivanja s KCRV od KC organizirane od strane CC-a. U slučaju SC-a, DoE u odnosu na referentnu vrijednost SC-a se može izračunati, ali nije obavezno. Referentne vrijednosti usporedbe moraju se odrediti odgovarajućim statističkim metodama. [11]

Kada se Nacrt A podnese sudionicima, pilot laboratorij također daje prijedlog u kojem obliku trebaju biti objavljeni rezultati usporedbe. Sudionici imaju dva mjeseca za komentiranje Nacrta

A izvješća. Nacrt A izvješća, jednom odobren od strane sudionika, smatra se Nacrtom B izvješća. [11]

### **3.5.2. Nacrt B izvješća i završno izvješće EURAMET usporedbe**

Nacrt B izvješća KC može se koristiti kao podrška CMC zahtjevima. U ovoj se fazi mjerne vrijednosti ne smatraju povjerljivima i mogu se koristiti za prezentacije i publikacije. Međutim, referentna vrijednost KC i DoE neće se smatrati povjerljivima dok ih ne odobri CC te objavi u KCDB. [12]

U slučaju PS, prihvaćeni Nacrt B postaje završno izvješće te ga TC-Chair šalje tajništvu za objavu u bazu podataka projekta TC-a.

U slučaju KC-a, prihvaćeni Nacrt B izvješća TC-Chair šalje izvršnom tajniku odgovarajućeg CC-a i predsjedniku odgovarajuće CC radne skupine. U pravilu CC odlučuje o odobrenju u roku od šest mjeseci nakon podnošenja izvješća.

U slučaju SC-a, prihvaćeni Nacrt B izvješća TC-Chair šalje tajniku izvršnog odbora odgovarajućeg CC-a i predsjedniku odgovarajuće CC radne skupine koja će omogućiti šestotjedno razdoblje komentara i uredničke kontrole.

Nakon što CC odobri Nacrt B, on se smatra završnim izvješćem. Pilot laboratorij obavještava TC-Chair koji završno izvješće šalje sudionicima usporedbe, svim kontakt osobama i tajništvu za objavu u bazu podataka projekta TC-a. [11]

### **3.5.3. CMC zahtjevi i unos rezultata u KCDB**

#### **3.5.3.1. CMC**

Umjerna i mjerna sposobnost (CMC) odnosi se na procjenu sposobnosti laboratorija da pruži točna i pouzdana mjerenja putem procesa umjeravanja. Mjera je kompetencije i uspješnosti laboratorija u provođenju umjeravanja i ostvarivanju pouzdanih rezultata. Obično se izražava kao numerička vrijednost koja predstavlja mjernu nesigurnost laboratorija za određeni parametar ili količinu.

CMC-evi svakog NMI-ja nakon konačnog odobrenja se objavljuju u KCDB. Svaki CMC mora biti unutar tolerancije i nesigurnosti te odobren od strane EURAMET tehničkog odbora za kvalitetu. Nakon što su odobreni, CMC-evi prolaze međuregionalni pregled u kojem TC i radne skupine drugih RMO-a provjeravaju jesu li praćeni JCRB kriteriji. Time se osigurava tehničko povjerenje potrebno za objavljivanje.

Rezultati pregleda CMC zahtjeva raspravljaju se na sastanku TC-a. Nakon što su zahtjevi potvrđeni, TC-Chair prikupljene CMC-ove šalje članovima radne skupine na pregled. CMC pregledi provode se izravnim kontaktom recenzenata i odgovornih osoba NMI-a koji podnose zahtjev, a traju sve dok se ne postigne konsenzus. [15]

Prva i glavna odgovornost sudjelujućeg NMI-a je prepoznavanje da rezultati nisu u skladu s objavljenim CMC-ovima. Sudionici daju pismenu izjavu u kojoj naznačuju jesu li njihovi rezultati dosljedni s tvrdnjama CMC-a. Ako nisu, trebaju se pokrenuti popravne radnje. TC-Chair poduzima korake za korekciju, obavještavajući Tehnički odbor kvalitete (TC-Q) o nedosljednosti rezultata. TC-Q odlučuje o suspendiranju ili micanju CMC-a dok se ne poduzmu popravne radnje. [11]

---

*3.5.3.2. Unos rezultata u KCDB*

Rezultati KC-a i SC-a objavljuju se u KCDB bazu. TC-Chair šalje završno izvješće tajniku odgovarajućeg CC-a i uredu KCDB-a, zajedno s jasnom izjavom da je izvješće odobreno od strane EURAMET-a ili CC-a. [11]

## 4. STATISTIČKI PRISTUPI U OBRADI REZULTATA MEĐULABORATORIJSKIH USPOREDBI

### 4.1. Referentna vrijednost i njezina nesigurnost

Standardne certificirane referentne vrijednosti (SCRV) su vrijednosti certificirane za specifična kemijska ili fizikalna svojstva te se koriste kao referentne vrijednosti za kalibraciju, verifikaciju i provjeru točnosti analitičkih metoda u laboratorijskim postupcima. SCRV su karakterizirani visokom razinom točnosti, pouzdanosti i sljedivosti te se često koriste kao standardi za usporedbu i verifikaciju rezultata. [16]

Referentna vrijednost i njezina pripadajuća mjerna nesigurnost koja se koristi za međulaboratorijske usporedbe može se odrediti na dva načina:

1. Preuzeti od referentnog laboratorija koji ima potvrđene mjeriteljske sposobnosti.
2. Temeljem rezultata svih uključenih laboratorija koji su dokazali svoju mjeriteljsku sposobnost ( $|E_n| \leq 1$ ):
  - Referentna vrijednost predstavlja težinsku srednju vrijednost rezultata mjerenja
  - Referentna vrijednost predstavlja aritmetičku srednju vrijednost rezultata mjerenja. [17]

Referentna vrijednost računa se tako da se pretpostavi da će rezultati svih laboratorija biti usporedivi te se računa  $E_n$ -vrijednost za svaki laboratorij.  $E_n$ -vrijednost je mjerilo veličine uzorka laboratorija koji su sudjelovali u usporedbi. Ova vrijednost je važna za procjenu statističke pouzdanosti rezultata, određivanje preciznosti i provođenje analiza mjerne nesigurnosti. Kriteriji prihvatljivosti za rezultate laboratorija su:

- $|E_n| \leq 1$  zadovoljavajuće
- $|E_n| > 1$  nezadovoljavajuće.

Ako je rezultat pojedinog laboratorija izvan granica prihvatljivosti tada se taj rezultat ne uzima u obzir kod računanja referentne vrijednosti.

Onaj laboratorij koji ima  $E_n$ -vrijednost veću od 1 nije potvrdio svoju mjeriteljsku sposobnost te mora provesti pronalaženje uzroka takvog rezultata, pokrenuti odgovarajuće popravne radnje te vrednovati učinkovitost iste. Oni laboratoriji koji zadovoljavaju uvjet  $|E_n| \leq 1$ , uspješno sudjeluju u međulaboratorijskoj usporedbi te time dokazuju svoju mjeriteljsku sposobnost. [9]



#### 4.2. Težinska srednja vrijednost

Težinska srednja vrijednost je statistička mjera koja uzima u obzir važnost ili težinu svake vrijednosti pri izračunavanju ukupne srednje vrijednosti. Težine dodijeljene svakoj vrijednosti održavaju njihovu relativnu važnost ili doprinos ukupnoj srednjoj vrijednosti. Težinska srednja vrijednost posebno je korisna kada se radi o skupovima podataka koji imaju različite razine značajnosti ili kada neke vrijednosti imaju veću težinu zbog svoje pouzdanosti, veličine uzorka ili drugih čimbenika. Daje točniji prikaz podataka.

Za račun referentne vrijednosti uobičajeno se koristi težinska srednja vrijednost. Za razliku od aritmetičke srednje vrijednosti, težinska srednja vrijednost uzima u obzir i mjernu nesigurnost. Tako daje točniji prikaz srednje vrijednosti. Ako pojedini laboratorij ima mogućnost umjeravanja uz manju mjernu nesigurnost, tada se može smatrati da posjeduje bolje mjeriteljske sposobnosti i samim time će više utjecati na referentnu vrijednost.

Ako su prijavljene nesigurnosti nekog laboratorija značajno manje od ostalih, one će statistički značajno utjecati na referentnu vrijednost, odnosno privući će referentnu vrijednost svome rezultatu. Takva provedba usporedbe neće biti ispravna. U tom slučaju, preporučuje se računanje referentne vrijednosti kao aritmetičke srednje vrijednosti svih prijavljenih rezultata mjerenja. Pritom se prijavljene mjerne nesigurnosti ne uzimaju u obzir pri izračunu referentne vrijednosti.

Ako svi laboratoriji imaju bliske mjerne sposobnosti, rezultat referentne vrijednosti neće se znatno razlikovati na koji god način da se referentna vrijednost računala. [17]

### 4.3. Opis statističkog proračuna rezultata međulaboratorijskih usporedbi

#### 4.3.1. Opis statističkog proračuna u slučaju poznate referentne vrijednosti

U slučaju usporedbe s referentnim laboratorijem gdje je poznata referentna vrijednost i pripadajuća joj mjerna nesigurnost, proračun se izvodi prema sljedećim izrazima. [17] [18]

$E_n$ -vrijednost računa se za svaki laboratorij prema izrazu:

$$E_n = \frac{x_i - x_{ref}}{2 \cdot u(x_i - x_{ref})} \quad (1)$$

gdje je:

- $i$  laboratorij sudionik usporedbe
- $x_i$  mjerni rezultat svakog pojedinog laboratorija
- $x_{ref}$  referentna vrijednost
- $u$  mjerna nesigurnost.

Nesigurnost razlike računa se prema izrazu:

$$u(x_i - x_{ref}) = \sqrt{u^2(x_i) + u^2(x_{ref})} \quad (2)$$

#### 4.3.2. Opis statističkog proračuna u slučaju referentne vrijednosti određene težinskom srednjom vrijednosti

Ako se referentna vrijednost određuje kao težinska srednja vrijednost mjernih rezultata, onda vrijede sljedeći izrazi. [17] [18]

Normirani težinski faktor  $w_i$  za svaki laboratorij računa se prema jednadžbi:

$$w_i = C \cdot \frac{1}{u^2(x_i)} \quad (3)$$

gdje je:

- $C$  konstanta
- $w_i$  težinski faktor svakog pojedinog laboratorija.

Konstanta  $C$  računa se prema jednadžbi:

$$C = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{u^2(x_i)}} \quad (4)$$

gdje je:

$n$  broj laboratorija sudionika usporedbe.

Ako se referentna vrijednost određuje kao težinska srednja vrijednost onda vrijedi:

$$\bar{x}_w = \sum_{i=1}^n w_i \cdot x_i \rightarrow x_{ref} \quad (5)$$

gdje je:

$\bar{x}_w$  težinska srednja vrijednost.

$E_n$ -vrijednost računa se za svaki laboratorij prema izrazu:

$$E_n = \frac{x_i - x_{ref}}{2 \cdot u(x_i - x_{ref})} \quad (1)$$

Nesigurnost težinske srednje vrijednosti računa se prema izrazu:

$$u(\bar{x}_w) = \sqrt{\frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{u^2(x_i)}}} \rightarrow u(x_{ref}) \quad (6)$$

Ako je  $x_{ref} = f(x_i)$ , nesigurnost razlike  $u(x_i - x_{ref})$  za slučaj težinske srednje vrijednosti računa se prema izrazu:

$$u(x_i - x_{ref}) = u(x_i - \bar{x}_w) = \sqrt{u^2(x_i) - u^2(\bar{x}_w)} \quad (7)$$

#### 4.3.3. Opis statističkog proračuna u slučaju referentne vrijednosti određene aritmetičkom srednjom vrijednosti

Ako se referentna vrijednost određuje kao aritmetička srednja vrijednost mjernih rezultata, onda se u proračunu primjenjuju sljedeće jednadžbe. [17] [18]

Ako se referentna vrijednost određuje kao aritmetička srednja vrijednost onda vrijedi:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \rightarrow x_{ref} \quad (8)$$

gdje je:

$\bar{x}$  prosječna vrijednost.

$E_n$ -vrijednost računa se za svaki laboratorij prema izrazu:

$$E_n = \frac{x_i - x_{ref}}{2 \cdot u(x_i - x_{ref})} \quad (1)$$

Nesigurnost aritmetičke srednje vrijednosti računa se prema izrazu:

$$u(\bar{x}) = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n u^2(x_i)} \rightarrow u(x_{ref}) \quad (9)$$

Ako je  $x_{ref} = f(x_i)$ , nesigurnost razlike  $u(x_i - x_{ref})$  za slučaj aritmetičke srednje vrijednosti računa se prema izrazu:

$$u(x_i - x_{ref}) = u(x_i - \bar{x}) = \sqrt{\left(1 - \frac{2}{n}\right) \cdot u^2(x_i) + u^2(\bar{x})} \quad (10)$$

#### 4.3.4. Opis statističkog proračuna u slučaju izbacivanja nezadovoljavajućeg rezultata

Ako se rezultat pojedinog laboratorija ne može uključiti u izračun referentne vrijednosti jer mu je  $E_n$ -vrijednost veća od 1, onda se za taj laboratorij proračun izvodi prema sljedećim jednadžbama. [17] [18]

$E_n$ -vrijednost računa se prema izrazu:

$$E_n = \frac{x_i - x_{ref}}{2 \cdot u(x_i - x_{ref})} \quad (1)$$

Ako je  $E_n$ -vrijednost veća od 1, nesigurnost razlike računa se prema izrazu:

$$u(x_i - x_{ref}) = \sqrt{u^2(x_i) + u^2(x_{ref})} \quad (2)$$

#### 4.4. Birge ratio test

Birge ratio test je statistička metoda koja se koristi za provjeru homogenosti rezultata dobivenih međulaboratorijskim usporedbama. Ova metoda pomaže identificirati bilo kakva značajna odstupanja među rezultatima laboratorija koji sudjeluju u usporedbi.

Birge ratio test temelji se na usporedbi omjera razlika između svakog laboratorijskog rezultata s kritičnom vrijednošću. Taj omjer se naziva Birgeov omjer. Ako je Birgeov omjer manji od kritične vrijednosti, to ukazuje na homogenost rezultata i nema statistički značajnih razlika između laboratorija. S druge strane, ako je Birgeov omjer veći od kritične vrijednosti, to sugerira prisutnost značajnih odstupanja među laboratorijima.

Postupak za provođenje Birge ratio testa uključuje sljedeće korake:

1. Prikupljanje rezultata svih laboratorija koji sudjeluju u međulaboratorijskoj usporedbi
2. Izračunavanje razlika između svih mogućih rezultata
3. Izračunavanje Birgeovog omjera za svaki rezultat
4. Usporedba Birgeovih omjera s kritičnom vrijednošću.

Ako je Birgeov omjer za većinu mjernih rezultata manji od kritične vrijednosti, to se smatra dokazom homogenosti i statističke konzistentnosti rezultata. Međutim, ako Birgeov omjer za jedan ili više mjernih rezultata prelazi kritičnu vrijednost, to ukazuje na značajne razlike među laboratorijima odnosno da nešto s usporedbom ne odgovara. Takva se usporedba ne može prihvatiti kao dobra.

Birge ratio test je koristan alat za identifikaciju izuzetnih laboratorija koje se razlikuju od većine. To može ukazivati na potrebu dodatnih istraživanja, revizija postupaka ili korektivnih mjera kako bi se poboljšala konzistentnost rezultata između laboratorija u međulaboratorijskim usporedbama. [19] [20]

##### 4.4.1. Proračun Birge ratio testa

U svim slučajevima, bez obzira na način računanja referentne vrijednosti, vrijede sljedeći izrazi za provedbu Birge ratio testa.

Birgeov omjer računa se prema izrazu:

$$R_B = \frac{u_{ext}(x_{ref})}{u_{int}(x_{ref})} \quad (15)$$

gdje je:

$R_B$  Birgeov omjer

$u_{ext}(x_{ref})$  eksterna mjerna nesigurnost referentne vrijednosti

$u_{int}(x_{ref})$  interna mjerna nesigurnost referentne vrijednosti.

Eksterna mjerna nesigurnost referentne vrijednosti računa se prema izrazu:

$$u_{ext}(x_{ref}) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - x_{ref})^2}{u^2(x_i)}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{u^2(x_i)}}} \quad (16)$$

Interna mjerna nesigurnost referentne vrijednosti računa se prema izrazu:

$$u_{int}(x_{ref}) = u(x_{ref}) = \sqrt{C} \quad (17)$$

Ako je usporedba statistički konzistentna sljedeći uvjet mora biti zadovoljen:

$$R_B < R_{Bcrit}$$

$$R_B < \sqrt{1 + \frac{8}{n-1}}, \text{ uz } k = 2 \quad (18)$$

Ako ovaj uvjet nije zadovoljen iz računa referentne vrijednosti izostavlja se rezultat s najvećom  $E_n$  vrijednosti. Postupak se ponavlja sve dok se uvjet ne zadovolji. [18]

## 5. STATISTIČKA OBRADA REZULTATA MJERENJA PROVEDENIH EURAMET MEĐULABORATORIJSKIH USPOREDBI

### 5.1. Statistička obrada rezultata mjerenja EURAMET L-K7 usporedbe

EURAMET L-K7 je bilateralna međulaboratorijska usporedba provedena 2014. godine. U usporedbi su sudjelovala dva NMI-a, *Laboratorij 1* i *Laboratorij 2*. *Laboratorij 1* djelovao je kao pilot laboratorij te je bio odgovoran za prijenos etalona, ocjenu rezultata mjerenja i završno izvješće.

Usporedba je izvršena u skladu s EURAMET smjernicama za provođenje usporedbi [11] i BIPM smjernicama za planiranje, organiziranje, provođenje i izvješćivanje o ključnim, dopunskim i pilot usporedbama te registrirana u BIPM KCDB. [21]

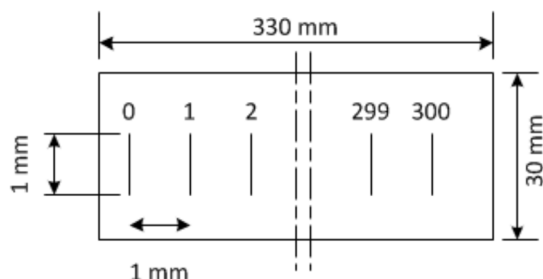
#### 5.1.1. Predmet i veličina mjerenja EURAMET L-K7 usporedbe

Artefakt mjerenja je precizna mjerna skala [Slika 1.], duljine 300 mm s milimetarskom podjelom. Mjerna skala izrađena je od stakla B 270 sa zadanom vrijednošću Koeficijenta toplinske ekspanzije (CTE)  $\alpha = 9,4 \cdot 10^{-6} K^{-1}$  koju je dao proizvođač.



Slika 1. Precizna mjerna skala [21]

Debljina gradacijske linije je 4  $\mu\text{m}$ . Ukupne dimenzije precizne mjerne skale su 330 mm za ukupnu duljinu, 30 mm za širinu i 20 mm za debljinu. Dimenzije precizne mjerne skale s gradacijskim linijama prikazane su na [Slika 2.].



Slika 2. Dimenzije precizne mjerne skale[22]

Za potrebe ovog diplomskog rada, statistička obrada rezultata mjerenja provest će se za nazivne udaljenosti od 10 mm i 150 mm.

### 5.1.2. Statistička obrada rezultata mjerenja nazivne udaljenosti od 10 mm

Za nazivnu udaljenost od 10 mm, izmjereni rezultati sudjelujućih laboratorija prikazani su u [Tablica 2.].

Tablica 2. Izmjereni rezultati EURAMET L-K7 usporedbe za nazivnu udaljenost od 10 mm

Laboratoriji	Nazivna udaljenost 10 mm	
	Izmjerena vrijednost $x_i$ , $\mu\text{m}$	Mjerna nesigurnost $u(x_i)$ , $\mu\text{m}$
Laboratorij 1	9999,94	0,028
Laboratorij 2	10000,11	0,600



5.1.2.1. Statistička obrada rezultata mjerenja nazivne udaljenosti od 10 mm u slučaju poznate referentne vrijednosti

S obzirom da je *Laboratorij 1* pilot laboratorij te zadovoljava uvjete da bude referentni laboratorij, njegove izmjerene vrijednosti mogu se uzeti kao referentne vrijednosti.

Prema tome vrijede sljedeći podaci:

$$x_{ref} = x_1 = 9,99994 \text{ mm} = 9999,94 \text{ } \mu\text{m} \text{ referentna vrijednost,}$$

$$U(x_{ref}) = U(x_1) = 2 \cdot u(x_1) = 0,56 \text{ } \mu\text{m} \text{ proširena nesigurnost referentne vrijednosti,}$$

$$u(x_{ref}) = u(x_1) = 0,028 \text{ } \mu\text{m} \text{ nesigurnost referentne vrijednosti.}$$

Nesigurnost razlike za *Laboratorij 1* računa se prema izrazu (2) te iznosi:

$$u(x_i - x_{ref}) = \sqrt{u^2(x_i) + u^2(x_{ref})} = \sqrt{u^2(x_1) + u^2(x_{ref})} = \sqrt{0,028^2 + 0,028^2} = 0,04 \text{ } \mu\text{m} \quad (2)$$

Nesigurnost razlike za *Laboratorij 2* računa se prema izrazu (2) te iznosi:

$$u(x_i - x_{ref}) = \sqrt{u^2(x_i) + u^2(x_{ref})} = \sqrt{u^2(x_2) + u^2(x_{ref})} = \sqrt{0,6^2 + 0,028^2} = 0,6 \text{ } \mu\text{m} \quad (2)$$

$E_n$ -vrijednost za *Laboratorij 1* računa se prema jednadžbi (1) te iznosi:

$$E_n = \frac{x_i - x_{ref}}{2 \cdot u(x_i - x_{ref})} = \frac{x_1 - x_{ref}}{2 \cdot u(x_1 - x_{ref})} = \frac{0}{2 \cdot 0,04} = 0 \quad (1)$$

$E_n$ -vrijednost za *Laboratorij 2* računa se prema jednadžbi (1) te iznosi:

$$E_n = \frac{x_i - x_{ref}}{2 \cdot u(x_i - x_{ref})} = \frac{x_2 - x_{ref}}{2 \cdot u(x_2 - x_{ref})} = \frac{10000,11 - 9999,94}{2 \cdot 0,6} = 0,14 \quad (1)$$

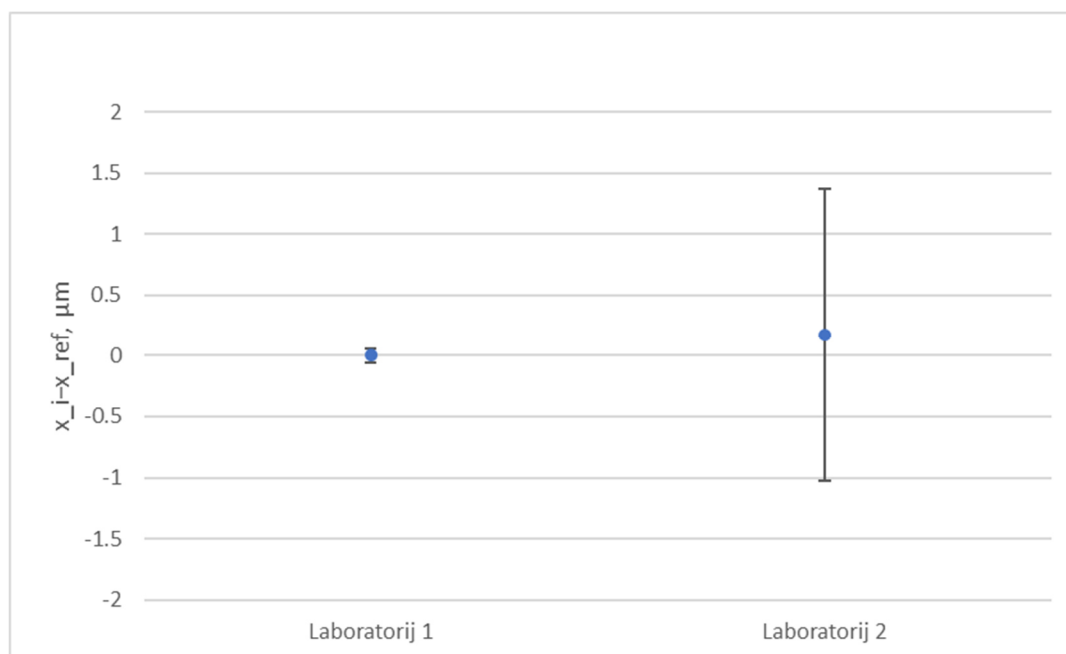
Oba rezultata zadovoljavaju uvjet  $|E_n| \leq 1$ , što znači da uspješno sudjeluju u usporedbi.

U [Tablica 3.] prikazane su izmjerene i proračunate vrijednosti sudjelujućih laboratorija u slučaju zadane referentne vrijednosti.

**Tablica 3. Proračunate vrijednosti EURAMET L-K7 usporedbe za nazivnu udaljenost od 10 mm u slučaju poznate referentne vrijednosti**

Laboratoriji	Nazivna udaljenost 10 mm					
	Izmjerena vrijednost $x_i$ , $\mu\text{m}$	Proširena mjerna nesigurnost $U(x_i), k = 2, \mu\text{m}$	Mjerna nesigurnost $u(x_i), \mu\text{m}$	$x_i - x_{ref}$ , $\mu\text{m}$	$u(x_i - x_{ref})$ , $\mu\text{m}$	$E_n$
Laboratorij 1	9999,94	0,056	0,028	0	0,04	0
Laboratorij 2	10000,11	1,2	0,600	0,17	0,6	0,14

Na [Slika 3.] prikazuju se odstupanja pojedinog laboratorija od referentne vrijednosti uz pridružene mjerne nesigurnosti uz faktor pokrivanja  $k=2$ , u slučaju poznate referentne vrijednosti za nominalnu udaljenost od 10 mm.



**Slika 3. Prikaz odstupanja laboratorija od referentne vrijednosti u EURAMET L-K7 usporedbi za nazivnu udaljenost od 10 mm u slučaju poznate referentne vrijednosti**

Za provjeru konzistentnosti međulaboratorijske usporedbe provodi se Birge ratio test. S obzirom da Birge ratio test provjerava da li je došlo do većih odstupanja među laboratorijima, u slučaju bilateralne usporedbe nije ga bitno provesti. Provjera Birge ratio testom napravljena je u sljedećem proračunu.

Eksterna mjerna nesigurnost referentne vrijednosti računa se prema izrazu (16) te iznosi:

$$u_{ext}(x_{ref}) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - x_{ref})^2}{u^2(x_i)}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{u^2(x_i)}}} = \sqrt{\frac{0 + \frac{0,17^2}{0,6^2}}{\frac{1}{0,028^2} + \frac{1}{0,6^2}}} = 0,008 \mu m \quad (16)$$

Interna mjerna nesigurnost referentne vrijednosti računa se prema izrazu (17) te iznosi:

$$u_{int}(x_{ref}) = \sqrt{C} = u(x_{ref}) = 0,028 \mu m \quad (17)$$

Birgeov omjer računa se prema izrazu (15) te iznosi:

$$R_B = \frac{u_{ext}(x_{ref})}{u_{int}(x_{ref})} = \frac{0,008}{0,028} = 0,28 \quad (15)$$

Konzistentnost usporedbe provjerava se prema jednadžbi (18) te vrijedi:

$$R_B < R_{Bcrit}$$

$$R_B < \sqrt{1 + \sqrt{\frac{8}{n-1}}}, \text{ uz } k = 2 \quad (18)$$

$$0,28 < \sqrt{1 + \sqrt{\frac{8}{2-1}}} = 1,96$$

Uvjet je zadovoljen te se međulaboratorijska usporedba smatra konzistentnom.

5.1.2.2. Statistička obrada rezultata mjerenja nazivne udaljenosti od 10 mm u slučaju referentne vrijednosti određene težinskom srednjom vrijednosti

Za izmjerene vrijednosti iz [Tablica 2.] provodi se proračun za referentnu vrijednost određenu težinskom srednjom vrijednosti prema sljedećim jednadžbama.

Konstanta  $C$  računa se prema jednadžbi (4) te iznosi:

$$C = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{u^2(x_i)}} = \frac{1}{\frac{1}{0,028^2} + \frac{1}{0,6^2}} = 0,00078 \quad (4)$$

Normirani težinski faktor  $w_1$  za *Laboratorij 1* računa se prema jednadžbi (3) te iznosi:

$$w_i = C \cdot \frac{1}{u^2(x_1)} = 0,000782 \cdot \frac{1}{0,028^2} = 0,9974 \quad (3)$$

Normirani težinski faktor  $w_2$  za *Laboratorij 2* računa se prema jednadžbi (3) te iznosi:

$$w_i = C \cdot \frac{1}{u^2(x_2)} = 0,000782 \cdot \frac{1}{0,6^2} = 0,00217 \quad (3)$$

Referentna vrijednost koja se određuje kao težinska srednja vrijednost računa se prema jednadžbi (5) te iznosi:

$$\bar{x}_w = \sum_{i=1}^n w_i \cdot x_i = 0,9974 \cdot 9999,94 + 0,00217 \cdot 10000,11 = 9999,9404 \mu m = 99,99 mm \rightarrow x_{ref} \quad (5)$$

Nesigurnost težinske srednje vrijednosti računa se prema izrazu (6) te iznosi:

$$u(\bar{x}_w) = \sqrt{\frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{u^2(x_i)}}} = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{0,028^2} + \frac{1}{0,6^2}}} = 0,02797 \mu m \rightarrow u(x_{ref}) \quad (6)$$

Pretpostavlja se da oba laboratorija imaju  $|E_n| \leq 1$ , odnosno da će biti uključeni u usporedbu. Stoga se nesigurnost razlike za *Laboratorij 1* računa prema jednadžbi (7) te iznosi:

$$u(x_i - x_{ref}) = u(x_1 - \bar{x}_w) = \sqrt{u^2(x_1) - u^2(\bar{x}_w)} = \sqrt{0,028^2 - 0,02797^2} = 0,0013 \mu m \quad (7)$$

Nesigurnost razlike za *Laboratorij 2* računa se prema jednadžbi (7) te iznosi:

$$u(x_i - x_{ref}) = u(x_2 - \bar{x}_w) = \sqrt{u^2(x_2) - u^2(\bar{x}_w)} = \sqrt{0,6^2 - 0,02797^2} = 0,5993 \mu m \quad (7)$$

$E_n$ -vrijednost za *Laboratorij 1* računa se prema jednadžbi (1) te iznosi:

$$E_n = \frac{x_i - x_{ref}}{2 \cdot u(x_i - x_{ref})} = \frac{x_1 - \bar{x}_w}{2 \cdot u(x_1 - \bar{x}_w)} = \frac{9999,94 - 9999,9404}{2 \cdot 0,0013} = -0,14 \quad (1)$$

$E_n$ -vrijednost za *Laboratorij 2* računa se prema jednadžbi (1) te iznosi:

$$E_n = \frac{x_i - x_{ref}}{2 \cdot u(x_i - x_{ref})} = \frac{x_2 - \bar{x}_w}{2 \cdot u(x_2 - \bar{x}_w)} = \frac{10000,11 - 9999,9404}{2 \cdot 0,6} = 0,14 \quad (1)$$

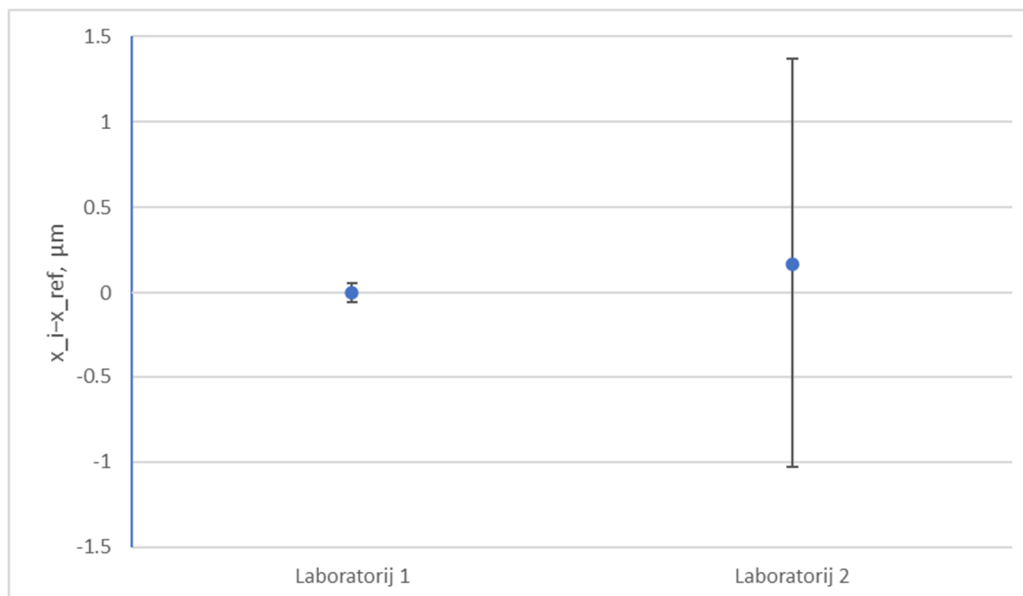
Oba rezultata zadovoljavaju uvjet  $|E_n| \leq 1$ , što znači da uspješno sudjeluju u usporedbi.

U [Tablica 4.] prikazane su izračunate vrijednosti za referentnu vrijednost određenu težinskom srednjom vrijednosti.

**Tablica 4. Proračunate vrijednosti EURAMET L-K7 usporedbe za nazivnu udaljenost od 10 mm u slučaju referentne vrijednosti određene težinskom srednjom vrijednosti**

Laboratoriji	Nazivna udaljenost 10 mm						
	Izmjerena vrijednost $x_i, \mu m$	Proširena mjerna nesigurnost $U(x_i), k = 2, \mu m$	Mjerna nesigurnost $u(x_i), \mu m$	$x_i - x_{ref}, \mu m$	$u(x_i - x_{ref}), \mu m$	$E_n$	$w_i$
Laboratorij 1	9999,94	0,056	0,028	-0,000	0,001	-0,14	0,9974
Laboratorij 2	10000,11	1,2	0,600	0,169	0,599	0,14	0,00217
$\bar{x}_w, \mu m$	9999,94						
$u(\bar{x}_w), \mu m$	0,027						

Na [Slika 4.] prikazuju se odstupanja pojedinog laboratorija od referentne vrijednosti uz pridružene mjerne nesigurnosti uz faktor pokrivanja  $k=2$ , u slučaju referentne vrijednosti određene težinskom srednjom vrijednosti za nominalnu udaljenost od 10 mm.



**Slika 4. Prikaz odstupanja laboratorija od referentne vrijednosti u EURAMET L-K7 usporedbi za nazivnu udaljenost od 10 mm u slučaju referentne vrijednosti određene težinskom srednjom vrijednosti**

Za provjeru konzistentnosti međulaboratorijske usporedbe provodi se Birge ratio test prema sljedećem proračunu.

Eksterna mjerna nesigurnost težinske srednje vrijednosti računa se prema izrazu (16) te iznosi:

$$u_{ext}(\bar{x}_w) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x}_w)^2}{u^2(x_i)}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{u^2(x_i)}}} = \sqrt{\frac{\frac{0,0004^2}{0,028^2} + \frac{0,1696^2}{0,6^2}}{\frac{1}{0,028^2} + \frac{1}{0,6^2}}} = 0,0079 \mu m \quad (16)$$

Interna mjerna nesigurnost težinske srednje vrijednosti računa se prema izrazu (17) te iznosi:

$$u_{int}(\bar{x}_w) = u(\bar{x}_w) = \sqrt{C} = u(x_{ref}) = 0,02797 \mu m \quad (17)$$

Birgeov omjer računa se prema izrazu (15) te iznosi:

$$R_B = \frac{u_{ext}(\bar{x}_w)}{u_{int}(\bar{x}_w)} = \frac{0,0079}{0,02797} = 0,28 \quad (15)$$

Konzistentnost usporedbe provjerava se prema jednadžbi (18) te vrijedi:

$$R_B < R_{Bcrit}$$

$$R_B < \sqrt{1 + \sqrt{\frac{8}{n-1}}}, \text{ uz } k = 2 \quad (18)$$

$$0,28 < \sqrt{1 + \sqrt{\frac{8}{2-1}}} = 1,96$$

Uvjet je zadovoljen te se međulaboratorijska usporedba smatra konzistentnom.

### 5.1.2.3. Statistička obrada rezultata mjerenja nazivne udaljenosti od 10 mm u slučaju referentne vrijednosti određene aritmetičkom srednjom vrijednosti

Za izmjerene vrijednosti iz [Tablica 2.] provodi se proračun za referentnu vrijednost određenu aritmetičkom srednjom vrijednosti prema sljedećim jednadžbama.

Kada se referentna vrijednost određuje kao aritmetička srednja vrijednost računa se prema jednadžbi (8) te iznosi:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{2} \cdot (9999,94 + 10000,11) = 10000,025 \mu\text{m} \rightarrow x_{ref} \quad (8)$$

Nesigurnost aritmetičke srednje vrijednosti računa se prema izrazu (9) te iznosi:

$$u(\bar{x}) = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n u^2(x_i)} = \frac{1}{2} \sqrt{0,028^2 + 0,6^2} = 0,3003 \mu\text{m} \rightarrow u(x_{ref}) \quad (9)$$

Nesigurnost razlike za *Laboratorij 1* za slučaj aritmetičke srednje vrijednosti računa se prema izrazu (10) te iznosi:

$$u(x_i - x_{ref}) = u(x_1 - \bar{x}) = \sqrt{\left(1 - \frac{2}{n}\right) \cdot u^2(x_1) + u^2(\bar{x})} = \sqrt{0 + 0,3003^2} = 0,3003 \mu m \quad (10)$$

Nesigurnost razlike za *Laboratorij 2* za slučaj aritmetičke srednje vrijednosti računa se prema izrazu (10) te iznosi:

$$u(x_i - x_{ref}) = u(x_2 - \bar{x}) = \sqrt{\left(1 - \frac{2}{n}\right) \cdot u^2(x_2) + u^2(\bar{x})} = \sqrt{0 + 0,3003^2} = 0,3003 \mu m \quad (10)$$

$E_n$ -vrijednost za *Laboratorij 1* računa se prema jednadžbi (1) te iznosi:

$$E_n = \frac{x_i - x_{ref}}{2 \cdot u(x_i - x_{ref})} = \frac{x_1 - \bar{x}}{2 \cdot u(x_1 - \bar{x})} = \frac{9999,94 - 10000,025}{2 \cdot 0,3003} = -0,14 \quad (1)$$

$E_n$ -vrijednost za *Laboratorij 2* računa se prema jednadžbi (1) te iznosi:

$$E_n = \frac{x_i - x_{ref}}{2 \cdot u(x_i - x_{ref})} = \frac{x_2 - \bar{x}}{2 \cdot u(x_2 - \bar{x})} = \frac{10000,11 - 10000,025}{2 \cdot 0,3003} = 0,14 \quad (1)$$

Oba rezultata zadovoljavaju uvjet  $|E_n| \leq 1$ , što znači da uspješno sudjeluju u usporedbi.

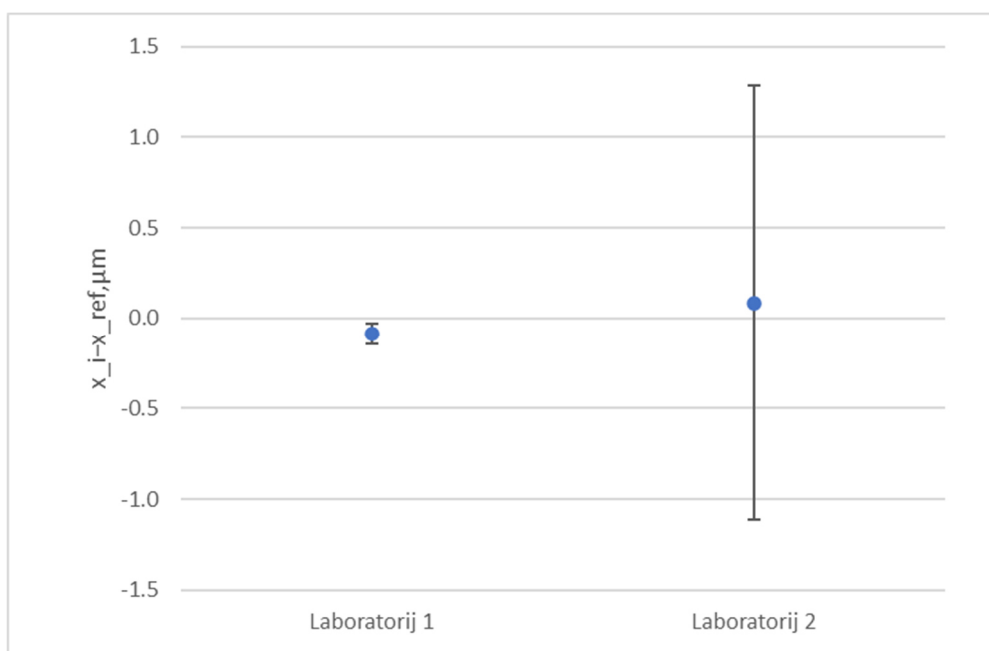
U [Tablica 5.] prikazane su izračunate vrijednosti za referentnu vrijednost određenu aritmetičkom srednjom vrijednosti.



**Tablica 5. Proračunate vrijednosti EURAMET L-K7 usporedbe za nazivnu udaljenost od 10 mm u slučaju referentne vrijednosti određene aritmetičkom srednjom vrijednosti**

Laboratoriji	Nazivna udaljenost 10 mm					
	Izmjerena vrijednost $x_i, \mu\text{m}$	Proširena mjerna nesigurnost $U(x_i), k = 2, \mu\text{m}$	Mjerna nesigurnost $u(x_i), \mu\text{m}$	$x_i - x_{ref}, \mu\text{m}$	$u(x_i - x_{ref}), \mu\text{m}$	$E_n$
Laboratorij 1	9999,94	0,056	0,028	-0,085	0,3003	-0,14
Laboratorij 2	10000,11	1,2	0,600	0,085	0,3003	0,14
$\bar{x}, \mu\text{m}$	10000,025					
$u(\bar{x}), \mu\text{m}$	0,3003					

Na [Slika 5.] prikazuju se odstupanja pojedinog laboratorija od referentne vrijednosti uz pridružene mjerne nesigurnosti uz faktor pokrivanja  $k=2$ , u slučaju referentne vrijednosti određene aritmetičkom srednjom vrijednosti za nominalnu udaljenost od 10 mm.



**Slika 5. Prikaz odstupanja laboratorija od referentne vrijednosti u EURAMET L-K7 usporedbi za nazivnu udaljenost od 10 mm u slučaju referentne vrijednosti određene aritmetičkom srednjom vrijednosti**

Za provjeru konzistentnosti međulaboratorijske usporedbe provodi se Birge ratio test prema sljedećem proračunu.

Eksterna mjerna nesigurnost aritmetičke srednje vrijednosti računa se prema izrazu (16) te iznosi:

$$u_{ext}(\bar{x}) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{u^2(x_i)}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{u^2(x_i)}}} = \sqrt{\frac{\frac{0,085^2}{0,028^2} + \frac{0,085^2}{0,6^2}}{\frac{1}{0,028^2} + \frac{1}{0,6^2}}} = 0,085 \mu m \quad (16)$$

Interna mjerna nesigurnost računa se prema izrazu (17) te iznosi:

$$u_{int}(\bar{x}) = u(\bar{x}) = \sqrt{C} = u(x_{ref}) = 0,3003 \mu m \quad (17)$$

Birgeov omjer računa se prema izrazu (15) te iznosi:

$$R_B = \frac{u_{ext}(\bar{x})}{u_{int}(\bar{x})} = \frac{0,085}{0,3003} = 0,28 \quad (15)$$

Konzistentnost usporedbe provjerava se prema jednadžbi (18) te vrijedi:

$$R_B < R_{Bcrit}$$

$$R_B < \sqrt{1 + \sqrt{\frac{8}{n-1}}}, \text{ uz } k = 2 \quad (18)$$

$$0,28 < \sqrt{1 + \sqrt{\frac{8}{2-1}}} = 1,96$$

Uvjet je zadovoljen te se međulaboratorijska usporedba smatra konzistentnom.

### 5.1.3. Statistička obrada rezultata mjerenja nazivne udaljenosti od 150 mm

Za nazivnu udaljenost od 150 mm, izmjereni rezultati sudjelujućih laboratorija prikazani su u [Tablica 6.].

**Tablica 6. Izmjereni rezultati EURAMET L-K7 usporedbe za nazivnu udaljenost od 150 mm**

Laboratoriji	Nazivna udaljenost 150 mm	
	Izmjerena vrijednost $x_i$ , $\mu\text{m}$	Mjerna nesigurnost $u(x_i)$ , $\mu\text{m}$
Laboratorij 1	149998,88	0,060
Laboratorij 2	149999.28	0,602

#### 5.1.3.1. Izmjereni rezultati EURAMET L-K7 usporedbe za nazivnu udaljenost od 150 mm

S obzirom da je *Laboratorij 1* pilot laboratorij te zadovoljava uvjete da bude referentni laboratorij kao što su akreditacija prema ISO/IEC 17025 standardima, podržavanje CMC zahtjeva te dokazana mjerna sposobnost, njegove izmjerene vrijednosti mogu se uzeti kao referentne vrijednosti.

Prema tome vrijede sljedeći podaci:

$$x_{ref} = x_1 = 149,99888 \text{ mm} = 149998,88 \mu\text{m} \quad \text{referentna vrijednost,}$$

$$U(x_{ref}) = U(x_1) = 2 \cdot u(x_1) = 0,12 \mu\text{m} \quad \text{proširena nesigurnost referentne vrijednosti,}$$

$$u(x_{ref}) = u(x_1) = 0,06 \mu\text{m} \quad \text{nesigurnost referentne vrijednosti.}$$

Nesigurnost razlike za *Laboratorij 1* računa se prema izrazu (2) te iznosi:

$$u(x_i - x_{ref}) = \sqrt{u^2(x_i) + u^2(x_{ref})} = \sqrt{u^2(x_1) + u^2(x_{ref})} = \sqrt{0,06^2 + 0,06^2} = 0,085 \mu\text{m} \quad (2)$$

Nesigurnost razlike za *Laboratorij 2* računa se prema izrazu (2) te iznosi:

$$u(x_i - x_{ref}) = \sqrt{u^2(x_i) + u^2(x_{ref})} = \sqrt{u^2(x_2) + u^2(x_{ref})} = \sqrt{0,602^2 + 0,06^2} = 0,605 \mu\text{m} \quad (2)$$

$E_n$ -vrijednost za *Laboratorij 1* računa se prema jednadžbi (1) te iznosi:

$$E_n = \frac{x_i - x_{ref}}{2 \cdot u(x_i - x_{ref})} = \frac{x_1 - x_{ref}}{2 \cdot u(x_1 - x_{ref})} = \frac{0}{2 \cdot 0,085} = 0 \quad (1)$$

$E_n$ -vrijednost za *Laboratorij 2* računa se prema jednadžbi (1) te iznosi:

$$E_n = \frac{x_i - x_{ref}}{2 \cdot u(x_i - x_{ref})} = \frac{x_2 - x_{ref}}{2 \cdot u(x_2 - x_{ref})} = \frac{149999,28 - 149998,88}{2 \cdot 0,605} = 0,33 \quad (1)$$

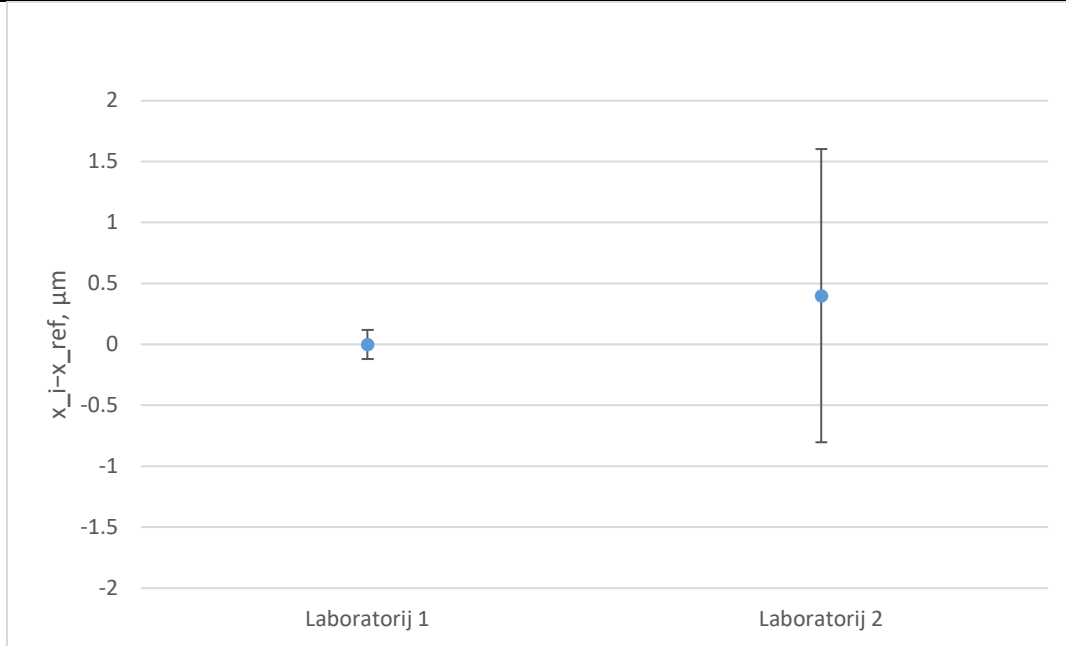
Oba rezultata zadovoljavaju uvjet  $|E_n| \leq 1$ , što znači da uspješno sudjeluju u usporedbi.

U [Tablica 7.] prikazane su izmjerene i proračunate vrijednosti sudjelujućih laboratorija u slučaju zadane referentne vrijednosti.

**Tablica 7. Proračunate vrijednosti EURAMET L-K7 usporedbe za nazivnu udaljenost od 150 mm u slučaju poznate referentne vrijednosti**

Laboratoriji	Nazivna udaljenost 150 mm					
	Izmjerena vrijednost $x_i$ , $\mu\text{m}$	Proširena mjerna nesigurnost $U(x_i)$ , $k = 2, \mu\text{m}$	Mjerna nesigurnost $u(x_i)$ , $\mu\text{m}$	$x_i - x_{ref}$ , $\mu\text{m}$	$u(x_i - x_{ref})$ , $\mu\text{m}$	$E_n$
Laboratorij 1	149998,88	0,12	0,06	0	0,085	0
Laboratorij 2	149999,28	1,204	0,602	0,4	0,605	0,33

Na [Slika 6.] prikazuju se odstupanja pojedinog laboratorija od referentne vrijednosti uz pridružene mjerne nesigurnosti uz faktor pokrivanja  $k=2$ , u slučaju poznate referentne vrijednosti za nominalnu udaljenost od 150 mm.



**Slika 6. Prikaz odstupanja laboratorija od referentne vrijednosti u EURAMET L-K7 usporedbi za nazivnu udaljenost od 150 mm u slučaju poznate referentne vrijednosti**

Za provjeru konzistentnosti međulaboratorijske usporedbe provodi se Birge ratio test prema sljedećem proračunu.

Eksterna mjerna nesigurnost referentne vrijednosti računa se prema izrazu (16) te iznosi:

$$u_{ext}(x_{ref}) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - x_{ref})^2}{u^2(x_i)}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{u^2(x_i)}}} = \sqrt{\frac{0 + \frac{0,4^2}{0,602^2}}{\frac{1}{0,06^2} + \frac{1}{0,602^2}}} = 0,0397 \mu m \quad (16)$$

Interna mjerna nesigurnost referentne vrijednosti računa se prema izrazu (17) te iznosi:

$$u_{int}(x_{ref}) = \sqrt{C} = u(x_{ref}) = 0,06 \mu m \quad (17)$$

Birgeov omjer računa se prema izrazu (15) te iznosi:

$$R_B = \frac{u_{ext}(x_{ref})}{u_{int}(x_{ref})} = \frac{0,0397}{0,06} = 0,66 \quad (15)$$

Konzistentnost usporedbe provjerava se prema jednadžbi (18) te vrijedi:

$$R_B < R_{Bcrit}$$

$$R_B < \sqrt{1 + \sqrt{\frac{8}{n-1}}}, \text{ uz } k = 2 \quad (18)$$

$$0,66 < \sqrt{1 + \sqrt{\frac{8}{2-1}}} = 1,96$$

Uvjet je zadovoljen te se međulaboratorijska usporedba smatra konzistentnom.

### 5.1.3.2. Statistička obrada rezultata mjerenja nazivne udaljenosti od 150 mm u slučaju referentne vrijednosti određene težinskom srednjom vrijednosti

Za izmjerene vrijednosti iz [Tablica 6.] provodi se proračun za referentnu vrijednost određenu težinskom srednjom vrijednosti prema sljedećim jednadžbama.

Konstanta  $C$  računa se prema jednadžbi (4) te iznosi:

$$C = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{u^2(x_i)}} = \frac{1}{\frac{1}{0,06^2} + \frac{1}{0,602^2}} = 0,0035646 \quad (4)$$

Normirani težinski faktor  $w_1$  za *Laboratorij I* računa se prema jednadžbi (3) te iznosi:

$$w_i = C \cdot \frac{1}{u^2(x_1)} = 0,0035646 \cdot \frac{1}{0,06^2} = 0,9902 \quad (3)$$

Normirani težinski faktor  $w_2$  za *Laboratorij 2* računa se prema jednadžbi (3) te iznosi:

$$w_i = C \cdot \frac{1}{u^2(x_2)} = 0,0035646 \cdot \frac{1}{0,602^2} = 0,0098 \quad (3)$$

Referentna vrijednost koja se određuje kao težinska srednja vrijednost računa se prema jednadžbi (5) te iznosi:

$$\bar{x}_w = \sum_{i=1}^n w_i \cdot x_i = 0,9902 \cdot 149998,88 + 0,0098 \cdot 149999,28 = 149998,884 \mu m = 14,9999 mm \rightarrow x_{ref} \quad (5)$$

Nesigurnost težinske srednje vrijednosti računa se prema izrazu (6) te iznosi:

$$u(\bar{x}_w) = \sqrt{\frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{u^2(x_i)}}} = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{0,06^2} + \frac{1}{0,602^2}}} = 0,0597 \mu m \rightarrow u(x_{ref}) \quad (6)$$

Pretpostavlja se da oba laboratorija imaju  $|E_n| \leq 1$ , odnosno da će biti uključeni u usporedbu. Stoga se nesigurnost razlike za *Laboratorij 1* računa prema jednadžbi (7) te iznosi:

$$u(x_i - x_{ref}) = u(x_1 - \bar{x}_w) = \sqrt{u^2(x_1) - u^2(\bar{x}_w)} = \sqrt{0,06^2 - 0,0597^2} = 0,00599 \mu m \quad (7)$$

Nesigurnost razlike za *Laboratorij 2* računa se prema jednadžbi (7) te iznosi:

$$u(x_i - x_{ref}) = u(x_2 - \bar{x}_w) = \sqrt{u^2(x_2) - u^2(\bar{x}_w)} = \sqrt{0,602^2 - 0,0597^2} = 0,59903 \mu m \quad (7)$$

$E_n$ -vrijednost za *Laboratorij 1* računa se prema jednadžbi (1) te iznosi:

$$E_n = \frac{x_i - x_{ref}}{2 \cdot u(x_i - x_{ref})} = \frac{x_1 - \bar{x}_w}{2 \cdot u(x_1 - \bar{x}_w)} = \frac{149998,88 - 149998,884}{2 \cdot 0,00599} = -0,33 \quad (1)$$

$E_n$ -vrijednost za *Laboratorij 2* računa se prema jednadžbi (1) te iznosi:

$$E_n = \frac{x_i - x_{ref}}{2 \cdot u(x_i - x_{ref})} = \frac{x_2 - \bar{x}_w}{2 \cdot u(x_2 - \bar{x}_w)} = \frac{149999,28 - 149998,884}{2 \cdot 0,59903} = 0,33 \quad (1)$$

Oba rezultata zadovoljavaju uvjet  $|E_n| \leq 1$ , što znači da uspješno sudjeluju u usporedbi.

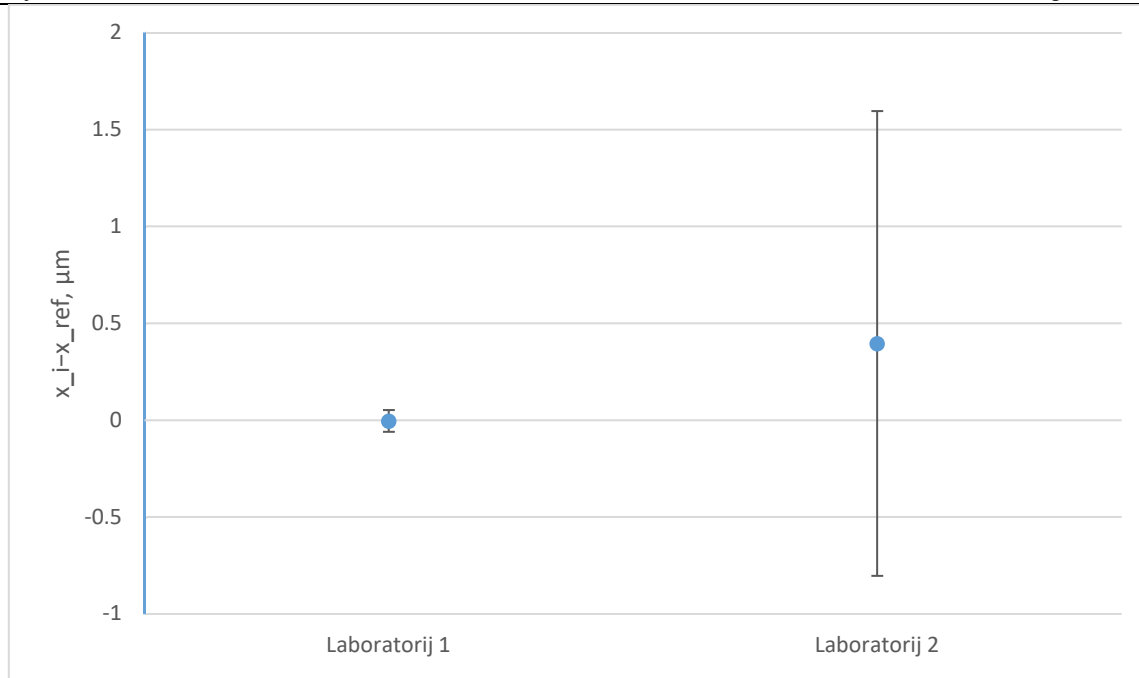
U [Tablica 8.] prikazane su izračunate vrijednosti za referentnu vrijednost određenu težinskom srednjom vrijednosti.

**Tablica 8. Proračunate vrijednosti EURAMET L-K7 usporedbe za nazivnu udaljenost od 150 mm u slučaju referentne vrijednosti određene težinskom srednjom vrijednosti**

Laboratoriji	Nazivna udaljenost 150 mm						
	Izmjerena vrijednost $x_i, \mu\text{m}$	Proširena mjerna nesigurnost $U(x_i), k = 2, \mu\text{m}$	Mjerna nesigurnost $u(x_i), \mu\text{m}$	$x_i - x_{ref}, \mu\text{m}$	$u(x_i - x_{ref}), \mu\text{m}$	$E_n$	$w_i$
Laboratorij 1	1499988,88	0,12	0,06	-0,004	0,006	-0,33	0,9902
Laboratorij 2	149999,28	1,204	0,602	0,396	0,599	0,33	0,0098
$\bar{x}_w, \mu\text{m}$	149998,88						
$u(\bar{x}_w), \mu\text{m}$	0,059						

Na [Slika 7.] prikazuju se odstupanja pojedinog laboratorija od referentne vrijednosti uz pridružene mjerne nesigurnosti uz faktor pokrivanja  $k=2$ , u slučaju referentne vrijednosti određene težinskom srednjom vrijednosti za nominalnu udaljenost od 150 mm.





**Slika 7. Prikaz odstupanja laboratorija od referentne vrijednosti u EURAMET L-K7 usporedbi za nazivnu udaljenost od 150 mm u slučaju referentne vrijednosti određene težinskom srednjom vrijednosti**

Za provjeru konzistentnosti međulaboratorijske usporedbe provodi se Birge ratio test prema sljedećem proračunu.

Eksterna mjerna nesigurnost težinske srednje vrijednosti računa se prema izrazu (16) te iznosi:

$$u_{ext}(\bar{x}_w) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x}_w)^2}{u^2(x_i)}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{u^2(x_i)}}} = \sqrt{\frac{\frac{0,0039^2}{0,06^2} + \frac{0,1696^2}{0,3961^2}}{\frac{1}{0,06^2} + \frac{1}{0,60^2}}} = 0,0259 \mu m \quad (16)$$

Interna mjerna nesigurnost težinske srednje vrijednosti računa se prema izrazu (17) te iznosi:

$$u_{int}(\bar{x}_w) = u(\bar{x}_w) = \sqrt{C} = u(x_{ref}) = 0,0597 \mu m \quad (17)$$

Birgeov omjer računa se prema izrazu (15) te iznosi:

$$R_B = \frac{u_{ext}(\bar{x}_w)}{u_{int}(\bar{x}_w)} = \frac{0,0259}{0,0597} = 0,43 \quad (15)$$

Konzistentnost usporedbe provjerava se prema jednadžbi (18) te vrijedi:

$$R_B < R_{Bcrit}$$

$$R_B < \sqrt{1 + \sqrt{\frac{8}{n-1}}}, \text{ uz } k = 2 \quad (18)$$

$$0,43 < \sqrt{1 + \sqrt{\frac{8}{2-1}}} = 1,96$$

Uvjet je zadovoljen te se međulaboratorijska usporedba smatra konzistentnom.

### 5.1.3.3. Statistička obrada rezultata mjerenja nazivne udaljenosti od 150 mm u slučaju referentne vrijednosti određene aritmetičkom srednjom vrijednosti

Za izmjerene vrijednosti iz [Tablica 6.] provodi se proračun za referentnu vrijednost određenu aritmetičkom srednjom vrijednosti prema sljedećim jednadžbama.

Kada se referentna vrijednost određuje kao aritmetička srednja vrijednost računa se prema jednadžbi (8) te iznosi:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{2} \cdot (149998,88 + 149999,28) = 149999,08 \mu m \rightarrow x_{ref} \quad (8)$$

Nesigurnost aritmetičke srednje vrijednosti računa se prema izrazu (9) te iznosi:

$$u(\bar{x}) = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n u^2(x_i)} = \frac{1}{2} \sqrt{0,06^2 + 0,602^2} = 0,3025 \mu m \rightarrow u(x_{ref}) \quad (9)$$

Nesigurnost razlike za *Laboratorij 1* za slučaj aritmetičke srednje vrijednosti računa se prema izrazu (10) te iznosi:

$$u(x_i - x_{ref}) = u(x_1 - \bar{x}) = \sqrt{\left(1 - \frac{2}{n}\right) \cdot u^2(x_1) + u^2(\bar{x})} = \sqrt{0 + 0,3025^2} = 0,3025 \mu m \quad (10)$$

Nesigurnost razlike za *Laboratorij 2* za slučaj aritmetičke srednje vrijednosti računa se prema izrazu (10) te iznosi:

$$u(x_i - x_{ref}) = u(x_2 - \bar{x}) = \sqrt{\left(1 - \frac{2}{n}\right) \cdot u^2(x_2) + u^2(\bar{x})} = \sqrt{0 + 0,3025^2} = 0,3025 \mu m \quad (10)$$

$E_n$ -vrijednost za *Laboratorij 1* računa se prema jednadžbi (1) te iznosi:

$$E_n = \frac{x_i - x_{ref}}{2 \cdot u(x_i - x_{ref})} = \frac{x_1 - \bar{x}}{2 \cdot u(x_1 - \bar{x})} = \frac{149998,88 - 149999,08}{2 \cdot 0,3025} = -0,33 \quad (1)$$

$E_n$ -vrijednost za *Laboratorij 2* računa se prema jednadžbi (1) te iznosi:

$$E_n = \frac{x_i - x_{ref}}{2 \cdot u(x_i - x_{ref})} = \frac{x_2 - \bar{x}}{2 \cdot u(x_2 - \bar{x})} = \frac{149999,28 - 149999,08}{2 \cdot 0,3025} = 0,33 \quad (1)$$

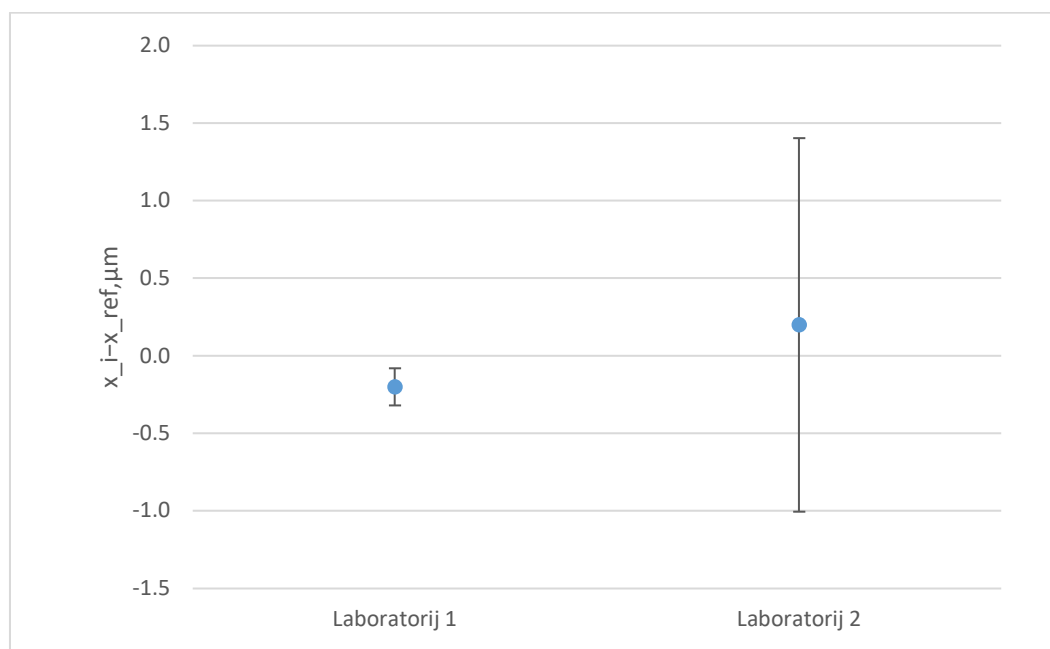
Oba rezultata zadovoljavaju uvjet  $|E_n| \leq 1$ , što znači da uspješno sudjeluju u usporedbi.

U [Tablica 9.] prikazane su izračunate vrijednosti za referentnu vrijednost određenu aritmetičkom srednjom vrijednosti.

**Tablica 9. Proračunate vrijednosti EURAMET L-K7 usporedbe za nazivnu udaljenost od 150 mm u slučaju referentne vrijednosti određene aritmetičkom srednjom vrijednosti**

Laboratoriji	Nazivna udaljenost 150 mm					
	Izmjerena vrijednost $x_i, \mu\text{m}$	Proširena mjerna nesigurnost $U(x_i), k = 2, \mu\text{m}$	Mjerna nesigurnost $u(x_i), \mu\text{m}$	$x_i - x_{ref}, \mu\text{m}$	$u(x_i - x_{ref}), \mu\text{m}$	$E_n$
Laboratorij 1	149998,88	0,12	0,06	-0,2	0,3025	-0,33
Laboratorij 2	149999,28	1,204	0,602	0,2	0,3025	0,33
$\bar{x}, \mu\text{m}$	149999,08					
$u(\bar{x}), \mu\text{m}$	0,3025					

Na [Slika 8.] prikazuju se odstupanja pojedinog laboratorija od referentne vrijednosti uz pridružene mjerne nesigurnosti uz faktor pokrivanja  $k=2$ , u slučaju referentne vrijednosti određene aritmetičkom srednjom vrijednosti za nominalnu udaljenost od 150 mm.



**Slika 8. Prikaz odstupanja laboratorija od referentne vrijednosti u EURAMET L-K7 usporedbi za nazivnu udaljenost od 150 mm u slučaju referentne vrijednosti određene aritmetičkom srednjom vrijednosti**

Za provjeru konzistentnosti međulaboratorijske usporedbe provodi se Birge ratio test prema sljedećem proračunu.

Eksterna mjerna nesigurnost aritmetičke srednje vrijednosti računa se prema izrazu (16) te iznosi:

$$u_{ext}(\bar{x}) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{u^2(x_i)}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{u^2(x_i)}}} = \sqrt{\frac{\frac{0,2^2}{0,06^2} + \frac{0,2^2}{0,602^2}}{\frac{1}{0,06^2} + \frac{1}{0,602^2}}} = 0,2 \mu m \quad (16)$$

Interna mjerna nesigurnost računa se prema izrazu (17) te iznosi:

$$u_{int}(\bar{x}) = u(\bar{x}) = \sqrt{C} = u(x_{ref}) = 0,3025 \mu m \quad (17)$$

Birgeov omjer računa se prema izrazu (15) te iznosi:

$$R_B = \frac{u_{ext}(\bar{x})}{u_{int}(\bar{x})} = \frac{0,2}{0,3025} = 0,66 \quad (15)$$

Konzistentnost usporedbe provjerava se prema jednadžbi (18) te vrijedi:

$$R_B < R_{Bcrit}$$

$$R_B < \sqrt{1 + \sqrt{\frac{8}{n-1}}}, uz k = 2 \quad (18)$$

$$0,66 < \sqrt{1 + \sqrt{\frac{8}{2-1}}} = 1,96$$

Uvjet je zadovoljen te se međulaboratorijska usporedba smatra konzistentnom.

## 5.2. Statistička obrada rezultata mjerenja EURAMET L-K4 usporedbe

Na svom sastanku u listopadu 2014. EURAMET TC za duljinu donio je odluku o ključnoj usporedbi kontrolnika promjera pod nazivom EURAMET.L-K4.2015. Cilj ključnih usporedbi je pokazati ekvivalentnost ključnih usluga umjeravanja. U tu svrhu, sudionici ove usporedbe složili su se da će koristiti iste mjerne uređaje i metode koje se ključno primijenjuju na artefaktima klijenata. [22]

Zbog velikog broja sudionika odlučeno je da se projekt podijeli u dvije grupe. Dvije skupine kontrolnika promjera iste vrste i veličine kružile su paralelno u dvije grupe. Dvanaest laboratorija iz EURAMET-a sudjelovalo je u skupini 1, dok je jedanaest laboratorija iz EURAMET-a i dva laboratorija iz drugih RMO-a sudjelovalo u skupini 2. Tri od ta laboratorija sudjelovali su u obje skupine kako bi ih povezali. *Laboratorij 1* djelovao je kao pilot laboratorij. [22]

Usporedba je slijedila smjernice za ključne usporedbe CIPM-a [12].

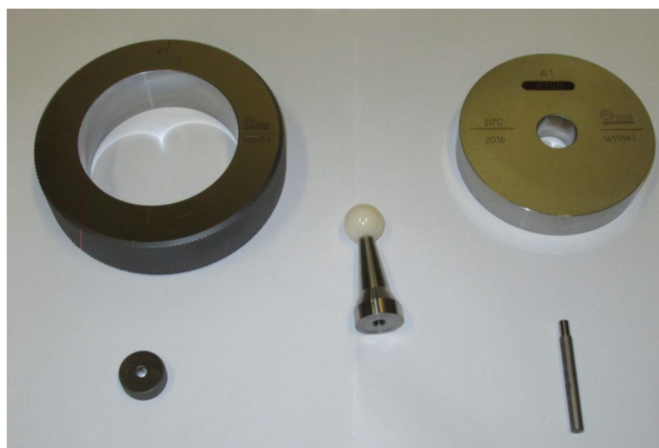
### 5.2.1. Predmet i veličina mjerenja EURAMET L-K4 usporedbe

Za transport artefakata korišteni su plastično metalni sanduci koji sadrže dva kontrolna prstena, dva kontrolna trna i mjernu kuglu [Slika 9].



Slika 9. Kontrolnici promjera [22]

Unutar svake grupe kružili su dva kontrolna prstena i dva kontrolna trna izrađeni od čelika AISI440C, te mjerna kugla izrađena od keramike [Slika 10.]. U tehničkom protokolu bili su navedeni CTE od  $(10,1 \pm 0,5) \cdot 10^{-6} K^{-1}$  proizvođača čeličnih kontrolnika te CTE od  $(4,6 \pm 0,5) \cdot 10^{-6} K^{-1}$  proizvođača keramičke mjerne kugle. [22]



**Slika 10. Kontrolni prstenovi, kontrolni trnovi i mjerna kugla [22]**

Za potrebe ovog diplomskog rada, statistička obrada rezultata mjerenja provest će se za kontrolni trn nazivnog promjera  $\emptyset 5$  mm.

### **5.2.2. Statistička obrada rezultata mjerenja nazivnog promjera $\emptyset 5$ mm**

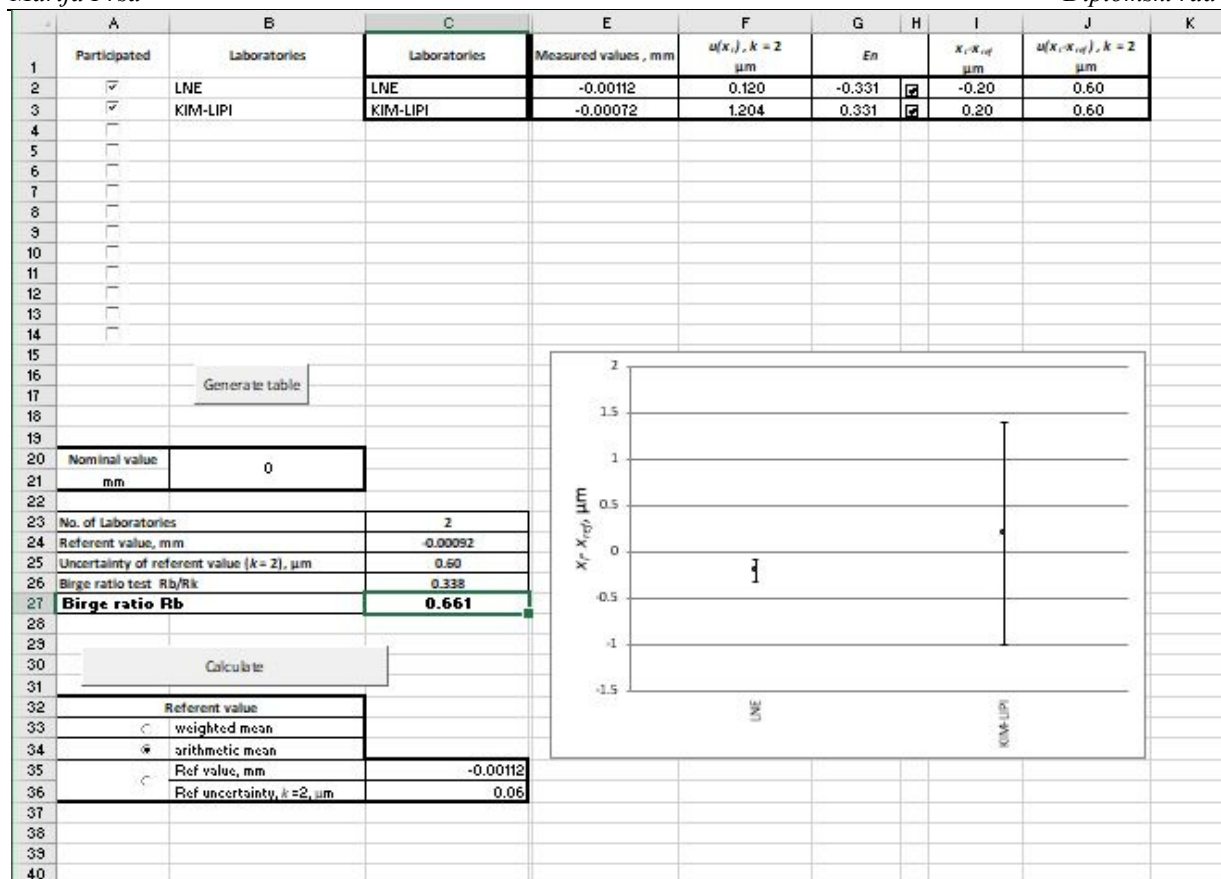
Za nazivni promjer od  $\emptyset 5$  mm, izmjereni rezultati skupine 1 sudjelujućih laboratorija prikazani su u [Tablica 10.].

**Tablica 10. Izmjereni rezultati EURAMET L-K4 usporedbe nazivnog promjera  $\varnothing$  5mm [22]**

Laboratoriji	Nazivni promjer $\varnothing$ 5 mm	
	Izmjerena vrijednost $x_i$ , $\mu\text{m}$	Mjerna nesigurnost $u(x_i)$ , $\mu\text{m}$
Laboratorij 1	4999,43	0,045
Laboratorij 2	4999,42	0,100
Laboratorij 3	4999,43	0,075
Laboratorij 4	4999,33	0,200
Laboratorij 5	4999,40	0,260
Laboratorij 6	4999,30	0,350
Laboratorij 7	4999,92	0,250
Laboratorij 8	4999,21	0,250
Laboratorij 9	4999,49	0,050
Laboratorij 10	4999,41	0,053
Laboratorij 11	4999,40	0,100
Laboratorij 12	4999,122	0,173

S obzirom da veliki broj laboratorija sudjeluje u usporedbi za lakše proračunavanje koristit će se softver napravljen u Microsoft Excel-u [Slika 11.]. Softver služi za statističku obradu rezultata mjerenja u međulaboratorijskim usporedbama. Nudi opciju statističke obrade podataka u slučaju zadane referentne vrijednosti, referentne vrijednosti određene težinskom srednjom vrijednosti i referentne vrijednosti određene aritmetičkom srednjom vrijednosti. Također, nudi mogućnost isključivanja laboratorija koji ne zadovoljava uvjet  $|E_n| \leq 1$ . Prema izračunatim podacima, softver prikazuje rezultate na grafu.





Slika 11. Prikaz softvera za statističku obradu rezultata mjerenja međulaboratorijskih usporedbi

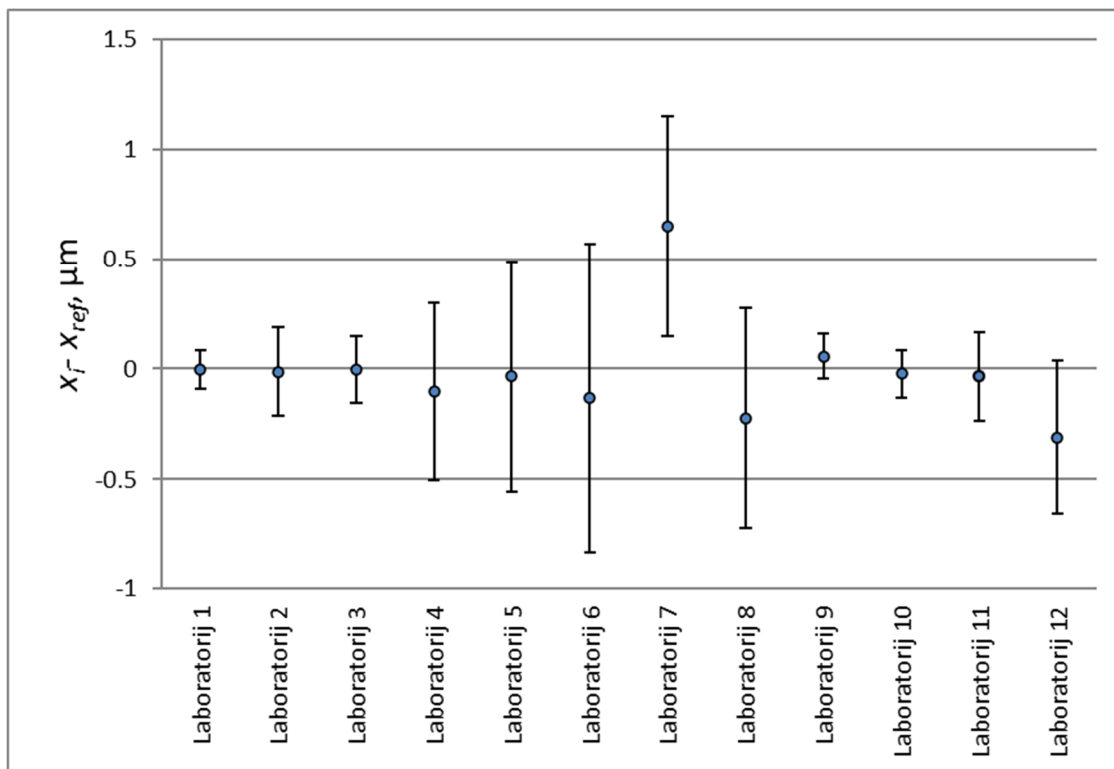
5.2.2.1. Statistička obrada rezultata mjerenja nazivnog promjer od  $\varnothing 5$  mm u slučaju referentne vrijednosti određene težinskom srednjom vrijednosti

Statistički proračuni rezultata mjerenja nazivnog promjera od  $\varnothing 5$  mm u slučaju referentne vrijednosti određene težinskom srednjom vrijednosti izvršeni su u softveru te su rezultati prikazani u [Tablica 11.].

**Tablica 11. Proračunate vrijednosti EURAMET L-K4 usporedbe za nazivni promjer  $\varnothing 5$  mm u slučaju referentne vrijednosti određene težinskom srednjom vrijednosti**

Laboratoriji	Nazivni promjer $\varnothing 5$ mm					
	$x_i - x_{nom}$ , $\mu\text{m}$	Proširena mjerna nesigurnost $U(x_i), k = 2, \mu\text{m}$	Mjerna nesigurnost $u(x_i)$ , $\mu\text{m}$	$x_i - x_{ref}$ , $\mu\text{m}$	$U(x_i - x_{ref}),$ $k=2,$ $\mu\text{m}$	$E_n$
Laboratorij 1	-0,570	0,090	0,045	0,00	0,08	-0,04
Laboratorij 2	-0,580	0,200	0,100	-0,01	0,19	-0,07
Laboratorij 3	-0,570	0,150	0,075	0,00	0,14	-0,02
Laboratorij 4	-0,670	0,400	0,200	-0,10	0,40	-0,26
Laboratorij 5	-0,600	0,520	0,260	-0,03	0,52	-0,06
Laboratorij 6	-0,700	0,700	0,350	-0,13	0,70	-0,19
Laboratorij 7	0,080	0,500	0,250	0,65	0,50	1,30
Laboratorij 8	-0,790	0,500	0,250	-0,22	0,50	-0,45
Laboratorij 9	-0,510	0,100	0,050	0,06	0,09	0,65
Laboratorij 10	-0,590	0,106	0,053	-0,02	0,09	-0,24
Laboratorij 11	-0,600	0,200	0,100	-0,03	0,19	-0,17
Laboratorij 12	-0,878	0,346	0,173	-0,31	0,34	-0,91
<b><math>n</math></b>	12					
<b><math>\bar{x}_w, \mu\text{m}</math></b>	-0,567					
<b><math>U(\bar{x}_w),</math> <math>k = 2, \mu\text{m}</math></b>	0,048					
<b><math>R_B</math></b>	1,08					
<b><math>R_{Bcrit}</math></b>	1,37					

Na [Slika 12.] prikazuju se odstupanja pojedinog laboratorija od referentne vrijednosti uz pridružene mjerne nesigurnosti uz faktor pokrivanja  $k=2$ , u slučaju referentne vrijednosti određene težinskom srednjom vrijednosti za nazivni promjer  $\emptyset 5$  mm.



**Slika 12. Prikaz odstupanja laboratorija od referentne vrijednosti u EURAMET L-K4 usporedbi za nazivni promjer  $\emptyset 5$  mm u slučaju referentne vrijednosti određene težinskom srednjom vrijednosti**

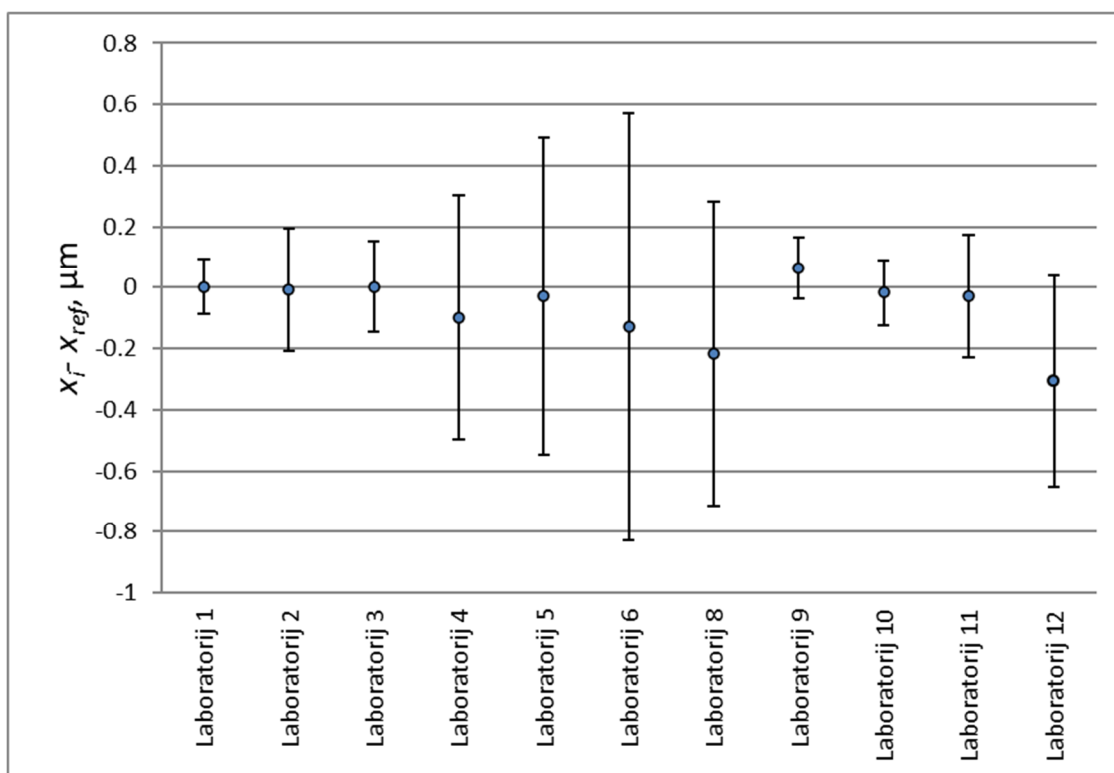
S obzirom da *Laboratorij 7* ima  $E_n$ -vrijednost veću od 1, smatra se da on nije uspješno sudjelovao u usporedbi te se taj laboratorij isključuje iz usporedbe. Znatno odstupanje od referentne vrijednosti i pripadajuće joj mjerne nesigurnosti vidljivo je i na grafu [Slika 12.].

Rezultati statističkih proračuna međulaboratorijske usporedbe nakon isključivanja *Laboratorija 7* prikazani su u [Tablica 12.].

**Tablica 12. Proračunate vrijednosti EURAMET L-K4 usporedbe nakon isključivanja Laboratorija 7 iz usporedbe za nazivni promjer  $\varnothing 5$  mm u slučaju referentne vrijednosti određene težinskom srednjom vrijednosti**

Laboratoriji	Nazivni promjer $\varnothing 5$ mm					
	$x_i - x_{nom}$ , $\mu\text{m}$	Proširena mjerna nesigurnost $U(x_i), k = 2, \mu\text{m}$	Mjerna nesigurnost $u(x_i)$ , $\mu\text{m}$	$x_i - x_{ref}$ , $\mu\text{m}$	$U(x_i - x_{ref}),$ $k=2,$ $\mu\text{m}$	$E_n$
Laboratorij 1	-0,570	0,090	0,045	0,00	0,08	0,04
Laboratorij 2	-0,580	0,200	0,100	-0,01	0,19	-0,04
Laboratorij 3	-0,570	0,150	0,075	0,00	0,14	0,02
Laboratorij 4	-0,670	0,400	0,200	-0,10	0,40	-0,25
Laboratorij 5	-0,600	0,520	0,260	-0,03	0,52	-0,05
Laboratorij 6	-0,700	0,700	0,350	-0,13	0,70	-0,18
Laboratorij 8	-0,790	0,500	0,250	-0,22	0,50	-0,44
Laboratorij 9	-0,510	0,100	0,050	0,06	0,09	0,72
Laboratorij 10	-0,590	0,106	0,053	-0,02	0,09	-0,18
Laboratorij 11	-0,600	0,200	0,100	-0,03	0,19	-0,14
Laboratorij 12	-0,878	0,346	0,173	-0,31	0,34	-0,89
<b><math>n</math></b>	11					
<b><math>\bar{x}_w, \mu\text{m}</math></b>	-0,573					
<b><math>U(\bar{x}_w),</math> <math>k = 2, \mu\text{m}</math></b>	0,048					
<b><math>R_B</math></b>	0,775					
<b><math>R_{Bcrit}</math></b>	1,38					

Na [Slika 13.] prikazuju se odstupanja pojedinog laboratorija od referentne vrijednosti uz pridružene mjerne nesigurnosti uz faktor pokrivanja  $k=2$ , nakon izbacivanja *Laboratorija 7* iz usporedbe, u slučaju referentne vrijednosti određene težinskom srednjom vrijednosti za nazivni promjer  $\emptyset 5$  mm.



**Slika 13.** Prikaz odstupanja laboratorija od referentne vrijednosti u EURAMET L-K4 usporedbi nakon izbacivanja *Laboratorija 7* iz usporedbe za nazivni promjer  $\emptyset 5$  mm u slučaju referentne vrijednosti određene težinskom srednjom vrijednosti

Nakon što se *Laboratorij 7* izbacio iz usporedbe, svi laboratoriji uspješno sudjeluju u usporedbi, odnosno svi zadovoljavaju uvjet  $|E_n| \leq 1$ .

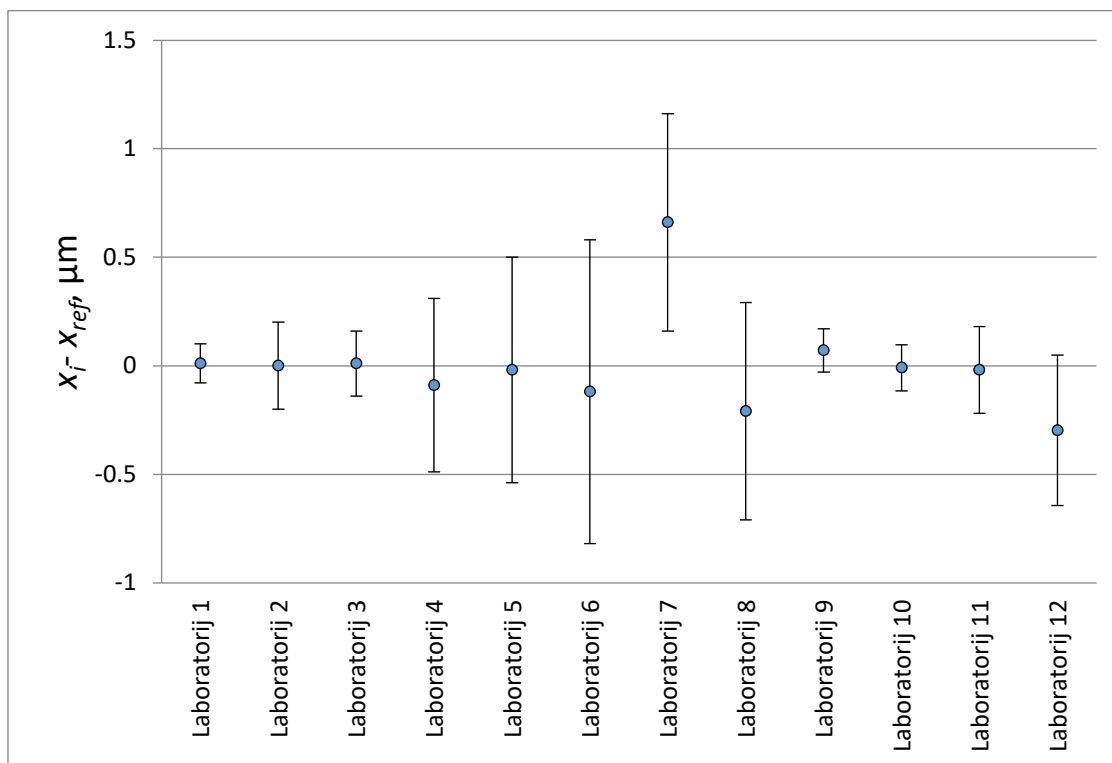
#### 5.2.2.2. Statistička obrada rezultata mjerenja nazivnog promjera od $\emptyset 5$ mm u slučaju referentne vrijednosti određene aritmetičkom srednjom vrijednosti

Statistički proračuni rezultata mjerenja nazivnog promjera od  $\emptyset 5$  mm u slučaju referentne vrijednosti određene aritmetičkom srednjom vrijednosti izvršeni su u softveru te su rezultati prikazani u [Tablica 13.].

**Tablica 13. Proračunate vrijednosti EURAMET L-K4 usporedbe za nazivni promjer  $\varnothing 5$  mm u slučaju referentne vrijednosti određene aritmetičkom srednjom vrijednosti**

Laboratoriji	Nazivni promjer $\varnothing 5$ mm					
	$x_i - x_{nom}$ , $\mu\text{m}$	Proširena mjerna nesigurnost $U(x_i), k = 2, \mu\text{m}$	Mjerna nesigurnost $u(x_i)$ , $\mu\text{m}$	$x_i - x_{ref}$ , $\mu\text{m}$	$U(x_i - x_{ref}),$ $k=2,$ $\mu\text{m}$	$E_n$
Laboratorij 1	-0,570	0,090	0,045	0,01	0,14	0,085
Laboratorij 2	-0,580	0,200	0,100	0,00	0,21	0,007
Laboratorij 3	-0,570	0,150	0,075	0,01	0,17	0,066
Laboratorij 4	-0,670	0,400	0,200	-0,09	0,38	-0,232
Laboratorij 5	-0,600	0,520	0,260	-0,02	0,49	-0,038
Laboratorij 6	-0,700	0,700	0,350	-0,12	0,65	-0,183
Laboratorij 7	0,080	0,500	0,250	0,66	0,47	1,41
Laboratorij 8	-0,790	0,500	0,250	-0,21	0,47	-0,44
Laboratorij 9	-0,510	0,100	0,050	0,07	0,14	0,51
Laboratorij 10	-0,590	0,106	0,053	-0,01	0,14	-0,06
Laboratorij 11	-0,600	0,200	0,100	-0,02	0,21	-0,09
Laboratorij 12	-0,878	0,346	0,173	-0,30	0,33	-0,89
<b><math>n</math></b>	12					
<b><math>\bar{x}, \mu\text{m}</math></b>	-0,582					
<b><math>U(\bar{x}),</math> <math>k = 2, \mu\text{m}</math></b>	0,108					
<b><math>R_B</math></b>	1,077					
<b><math>R_{Bcrit}</math></b>	1,36					

Na [Slika 14.] prikazuju se odstupanja pojedinog laboratorija od referentne vrijednosti uz pridružene mjerne nesigurnosti uz faktor pokrivanja  $k=2$ , u slučaju referentne vrijednosti određene aritmetičkom srednjom vrijednosti za nazivni promjer  $\emptyset 5$  mm.



**Slika 14. Prikaz odstupanja laboratorija od referentne vrijednosti u EURAMET L-K4 usporedbi za nazivni promjer  $\emptyset 5$  mm u slučaju referentne vrijednosti određene aritmetičkom srednjom vrijednosti**

S obzirom da *Laboratorij 7* ima  $E_n$ -vrijednost veću od 1, smatra se da on nije uspješno sudjelovao u usporedbi te se taj laboratorij isključuje iz usporedbe. Znatno odstupanje od referentne vrijednosti i pripadajuće joj mjerne nesigurnosti vidljivo je i na grafu [Slika 14.].

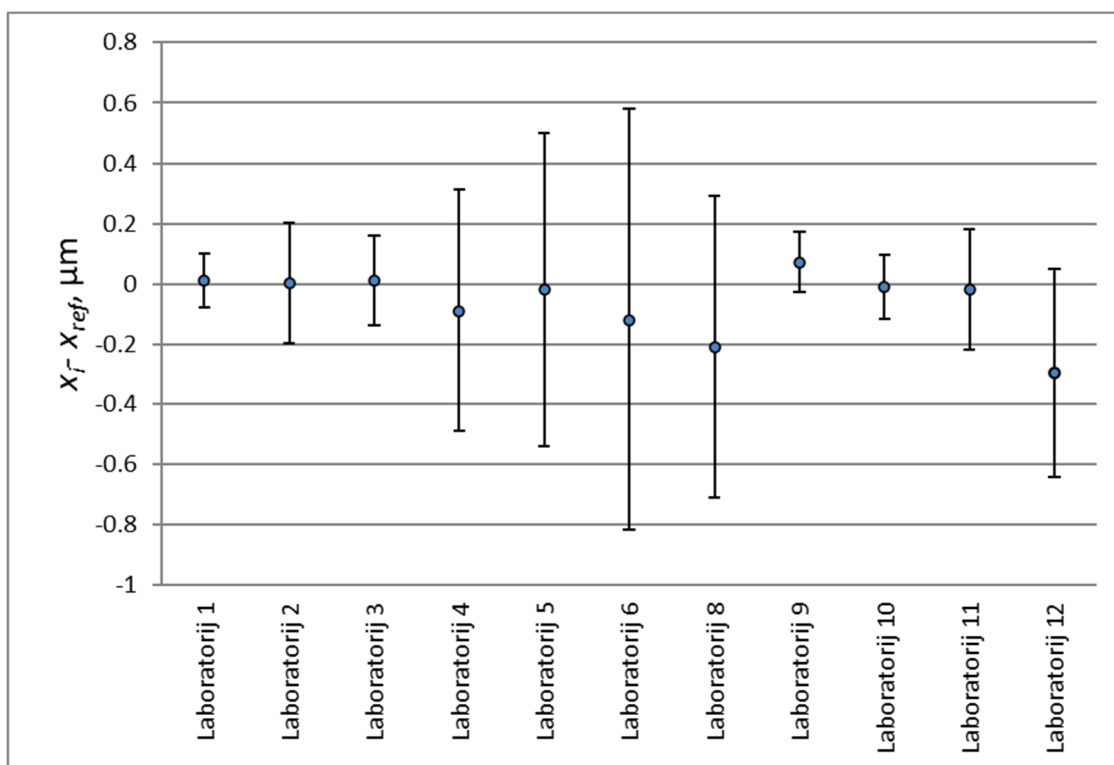
Rezultati statističkih proračuna međulaboratorijske usporedbe nakon isključivanja *Laboratorija 7* prikazani su u [Tablica 14.].

**Tablica 14. Proračunate vrijednosti EURAMET L-K4 usporedbe nakon isključivanja Laboratorija 7 iz usporedbe za nazivni promjer  $\varnothing 5$  mm u slučaju referentne vrijednosti određene aritmetičkom srednjom vrijednosti**

Laboratoriji	Nazivni promjer $\varnothing 5$ mm					
	$x_i - x_{nom}$ , $\mu\text{m}$	Proširena mjerna nesigurnost $U(x_i), k = 2, \mu\text{m}$	Mjerna nesigurnost $u(x_i)$ , $\mu\text{m}$	$x_i - x_{ref}$ , $\mu\text{m}$	$U(x_i - x_{ref}),$ $k=2,$ $\mu\text{m}$	$E_n$
Laboratorij 1	-0,570	0,090	0,045	0,01	0,14	0,085
Laboratorij 2	-0,580	0,200	0,100	0,00	0,21	0,007
Laboratorij 3	-0,570	0,150	0,075	0,01	0,17	0,066
Laboratorij 4	-0,670	0,400	0,200	-0,09	0,38	-0,232
Laboratorij 5	-0,600	0,520	0,260	-0,02	0,49	-0,038
Laboratorij 6	-0,700	0,700	0,350	-0,12	0,65	-0,183
Laboratorij 8	-0,790	0,500	0,250	-0,21	0,47	-0,44
Laboratorij 9	-0,510	0,100	0,050	0,07	0,14	0,51
Laboratorij 10	-0,590	0,106	0,053	-0,01	0,14	-0,06
Laboratorij 11	-0,600	0,200	0,100	-0,02	0,21	-0,09
Laboratorij 12	-0,878	0,346	0,173	-0,30	0,33	-0,89
<b><math>n</math></b>	11					
<b><math>\bar{x}, \mu\text{m}</math></b>	-0,582					
<b><math>U(\bar{x}),</math> <math>k = 2, \mu\text{m}</math></b>	0,108					
<b><math>R_B</math></b>	1,077					
<b><math>R_{Bcrit}</math></b>	1,36					



Na [Slika 15.] prikazuju se odstupanja pojedinog laboratorija od referentne vrijednosti uz pridružene mjerne nesigurnosti uz faktor pokrivanja  $k=2$ , nakon izbacivanja *Laboratorija 7* iz usporedbe, u slučaju referentne vrijednosti određene aritmetičkom srednjom vrijednosti za nazivni promjer  $\varnothing 5$  mm.



**Slika 15. Prikaz odstupanja laboratorija od referentne vrijednosti u EURAMET L-K4 usporedbi nakon izbacivanja Laboratorija 7 iz usporedbe za nazivni promjer  $\varnothing 5$  mm u slučaju referentne vrijednosti određene aritmetičkom srednjom vrijednosti**

Nakon što se *Laboratorij 7* izbacio iz usporedbe, svi laboratoriji uspješno sudjeluju u usporedbi, odnosno svi zadovoljavaju uvjet  $|E_n| \leq 1$ .

### 5.3. Statistička obrada rezultata mjerenja EURAMET L-S21 usporedbe

Kako bi se poboljšala istovjetnost i uzajamno priznavanje rezultata umjeravanja dobivenih od strane laboratorija koji izvode umjeravanja za određivanje srednjeg promjera kontrolnika navoja, EA Odbor 2 objavio je Vodič EA-10/10 [24]. Ovaj je dokument revidirao i ponovno objavio EURAMET TC za duljine. Zadnje izdanje ovog dokumenta je EURAMET cg-10, verzija 2.1 koji daje smjernice o tome kako odrediti srednji promjer navoja te povezanu mjernu nesigurnost. [23.]

EURAMET L-S21 međulaboratorijska usporedba izvedena je 2012. i 2013. godine između deset europskih NMI-a, gdje *Laboratorij 1* djeluje kao pilot laboratorij.

### 5.3.1. Predmet i veličina mjerenja EURAMET L-S21 usporedbe

U EURAMET L-S21 međulaboratorijskoj usporedbi mjerenje se vršilo na tri kontrolna trna:

- M6x1 6H
- M12x1,75 6H
- M36x1,5 6H.

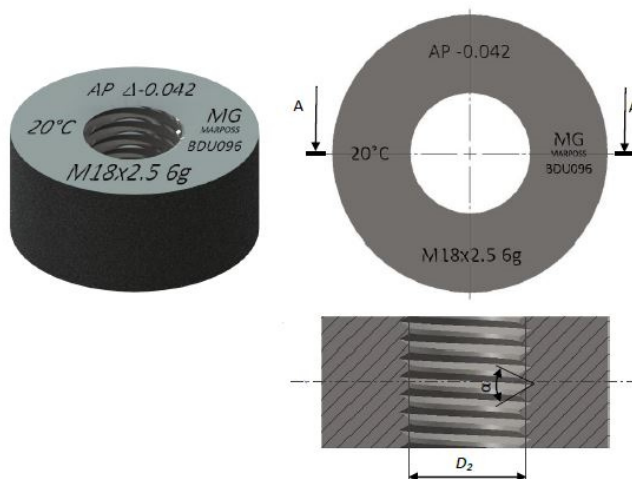
te na tri kontrolna prstena:

- M18x2,5 6g
- M42x4,5 6g
- M30x1,5 6g.

Svaki je laboratorij prema svojim mjernim mogućnostima izvršio mjerenje:

- Jednostavnog srednjeg promjera navoja
- Srednjeg promjera navoja
- Kuta navoja
- Koraka navoja. [23]

Kontrolni prsten navoja s naznačenim kutem i srednjim promjerom navoja koji se mjere u usporedbi prikazan je na [Slika 16.].



**Slika 16. Kontrolni prsten i pozicije mjerenja [23]**

Kontrolni trn navoja s naznačenim pozicijama srednjeg promjera i kuta navoja koji se mjere u usporedbi prikazan je na [Slika 17.].



**Slika 17. Kontrolni trn i pozicije mjerenja [23]**

Za potrebe ovog diplomskog rada izvršit će se statistička obrada rezultata mjerenja kuta navoja  $\alpha$  na kontrolnom trnu M36x1,5. Od deset laboratorija koji su sudjelovali u međulaboratorijskoj usporedbi, za statističku obradu mjernih rezultata kuta navoja upotrebljavat će se samo rezultati sedam laboratorija. Razlog tome je taj što neki od laboratorija nisu zadovoljili uvjete za uspješno sudjelovanje u usporedbi na mjerenjima provedenim na drugim kontrolnicima ili drugim dimenzijama.

### 5.3.2. Statistička obrada rezultata mjerenja kuta navoja $\alpha$ na kontrolnom trnu M36x1,5

Za kut navoja  $\alpha$  kontrolnog navoja M36x1,5, izmjereni rezultati međulaboratorijske usporedbe uključenih laboratorija prikazani su u [Tablica 15.].

**Tablica 15. Izmjereni rezultati EURAMET L-S21 usporedbe kuta navoja  $\alpha$  kontrolnog trna M36x1,5 [23]**

Laboratoriji	Kut navoja $\alpha$ kontrolnog trna M36x1,5	
	Izmjerena vrijednost $x_i, ^\circ$	Mjerna nesigurnost $u(x_i), ^\circ$
Laboratorij 1	59,73	0,10
Laboratorij 2	59,80	0,07
Laboratorij 3	59,70	0,19
Laboratorij 4	59,43	0,07
Laboratorij 5	59,67	0,02
Laboratorij 6	59,79	0,10
Laboratorij 7	59,67	0,02

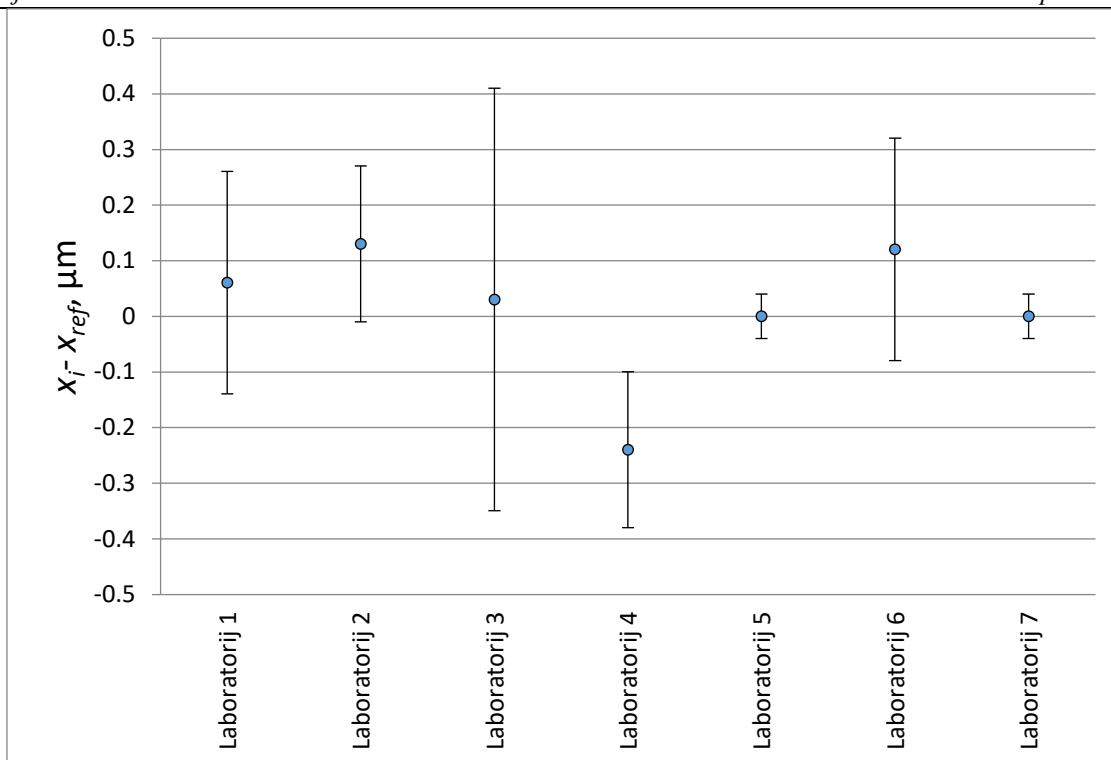
#### 5.3.2.1. Statistička obrada rezultata mjerenja kuta navoja $\alpha$ kontrolnog trna M36x1,5 u slučaju referentne vrijednosti određene težinskom srednjom vrijednosti

Statistički proračuni rezultata mjerenja kuta navoja  $\alpha$  kontrolnog trna M36x1,5 u slučaju referentne vrijednosti određene težinskom srednjom vrijednosti izvršeni su u softveru te su rezultati prikazani u [Tablica 16.].

**Tablica 16. Proračunate vrijednosti EURAMET L-S21 usporedbe za kut navoja  $\alpha$  kontrolnog trna M36x1,5 u slučaju referentne vrijednosti određene težinskom srednjom vrijednosti**

Laboratoriji	Kut navoja $\alpha$ kontrolnog trna M36x1,5					
	$x_i, \text{ }^\circ/1000$	Proširena mjerna nesigurnost $U(x_i), k = 2, \text{ }^\circ$	Mjerna nesigurnost $u(x_i), \text{ }^\circ$	$x_i - x_{ref}, \text{ }^\circ$	$U(x_i - x_{ref}), k=2, \text{ }^\circ$	$E_n$
Laboratorij 1	0,05973	0,20	0,100	0,06	0,20	0,306
Laboratorij 2	0,05980	0,14	0,070	0,13	0,14	0,951
Laboratorij 3	0,05970	0,38	0,19	0,03	0,38	0,081
Laboratorij 4	0,05943	0,14	0,07	-0,24	0,14	-1,742
Laboratorij 5	0,05967	0,04	0,02	0,00	0,03	0,022
Laboratorij 6	0,05979	0,20	0,10	0,12	0,20	0,609
Laboratorij 7	0,05967	0,04	0,02	0,00	0,03	0,02
$n$	7					
$\bar{x}_w, \text{ }^\circ/1000$	0,05967					
$U(\bar{x}_w), k = 2, \text{ }^\circ$	0,03					
$R_B$	1,685					
$R_{Bcrit}$	1,148					

Na [Slika 18.] prikazuju se odstupanja pojedinog laboratorija od referentne vrijednosti uz pridružene mjerne nesigurnosti uz faktor pokrivanja  $k=2$ , u slučaju referentne vrijednosti određene težinskom srednjom vrijednosti za kut navoja  $\alpha$  kontrolnog trna M36x1,5.



**Slika 18. Prikaz odstupanja laboratorija od referentne vrijednosti u EURAMET L-S21 usporedbi za kut navoja  $\alpha$  kontrolnog trna M36x1,5 u slučaju referentne vrijednosti određene težinskom srednjom vrijednosti**

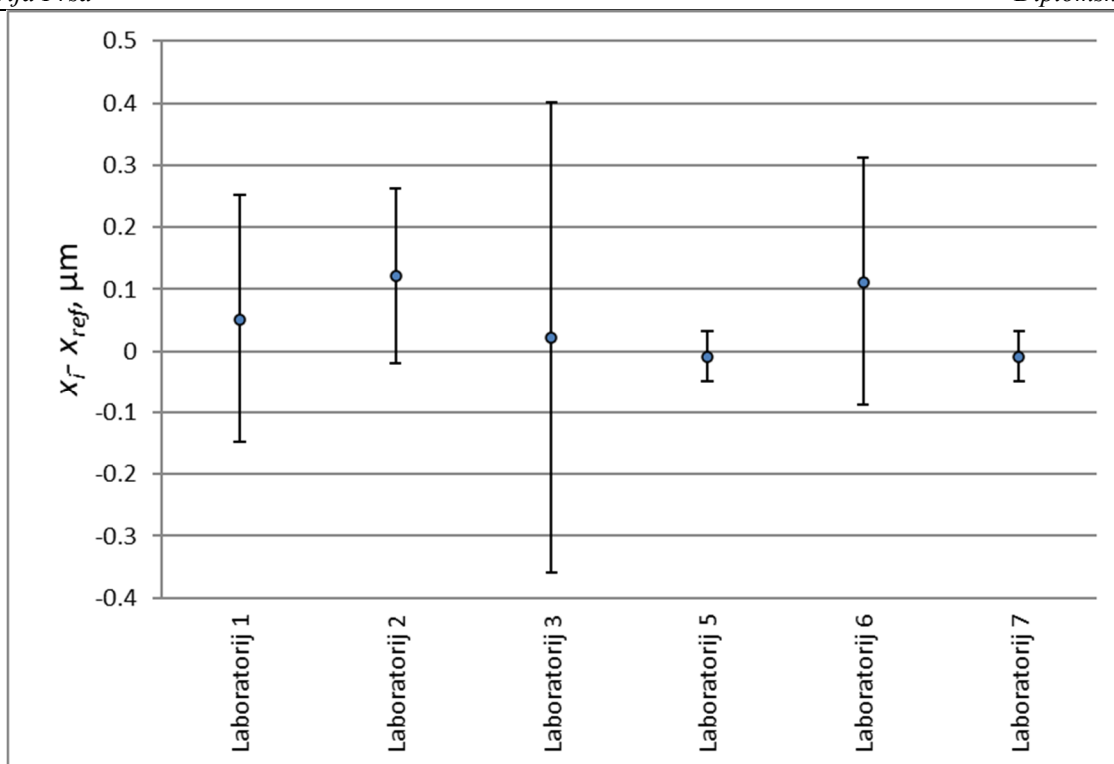
S obzirom da *Laboratorij 4* ima  $E_n$ -vrijednost veću od 1, smatra se da on nije uspješno sudjelovao u usporedbi te se taj laboratorij isključuje iz usporedbe. Znatno odstupanje od referentne vrijednosti i pripadajuće joj mjerne nesigurnosti vidljivo je i na grafu [Slika 18.]. Iznos  $R_B$  veći je od  $R_{Bcrit}$ , što ukazuje na to da s cijelom međulaboratorijskom usporedbom nešto nije u redu. Kako bi se to ispravilo, *Laboratorij 4* se izbacuje iz usporedbe te se proračun vrši ponovno.

Rezultati statističkih proračuna međulaboratorijske usporedbe nakon isključivanja *Laboratorija 4* prikazani su u [Tablica 17.].

**Tablica 17. Proračunate vrijednosti EURAMET L-S21 usporedbe nakon izbacivanja Laboratorija 4 iz usporedbe za kut navoja  $\alpha$  kontrolnog trna M36x1,5 u slučaju referentne vrijednosti određene težinskom srednjom vrijednosti**

Laboratoriji	Kut navoja $\alpha$ kontrolnog trna M36x1,5					
	$x_i, \text{ }^\circ/1000$	Proširena mjerna nesigurnost $U(x_i), k = 2, \text{ }^\circ$	Mjerna nesigurnost $u(x_i), \text{ }^\circ$	$x_i - x_{ref}, \text{ }^\circ$	$U(x_i - x_{ref}), k=2, \text{ }^\circ$	$E_n$
Laboratorij 1	0,05973	0,20	0,100	0,05	0,20	0,261
Laboratorij 2	0,05980	0,14	0,070	0,12	0,14	0,886
Laboratorij 3	0,05970	0,38	0,19	0,02	0,38	0,057
Laboratorij 5	0,05967	0,04	0,02	-0,01	0,03	-0,284
Laboratorij 6	0,05979	0,20	0,10	0,11	0,20	0,563
Laboratorij 7	0,05967	0,04	0,02	-0,01	0,03	-0,28
$n$	6					
$\bar{x}_w, \text{ }^\circ/1000$	0,05968					
$U(\bar{x}_w), k = 2, \text{ }^\circ$	0,03					
$R_B$	0,989					
$R_{Bcrit}$	1,505					

Na [Slika 19.] prikazuju se odstupanja pojedinog laboratorija od referentne vrijednosti uz pridružene mjerne nesigurnosti uz faktor pokrivanja  $k=2$ , nakon izbacivanja Laboratorija 4 iz usporedbe, u slučaju referentne vrijednosti određene težinskom srednjom vrijednosti za kut navoja  $\alpha$  kontrolnog trna M36x1,5.



**Slika 19.** Prikaz odstupanja laboratorija od referentne vrijednosti u EURAMET L-S21 usporedbi nakon izbacivanja *Laboratorija 4* iz usporedbe za kut navoja  $\alpha$  kontrolnog trna M36x1,5 u slučaju referentne vrijednosti određene težinskom srednjom vrijednosti

Nakon što se izbacio *Laboratorij 4* iz usporedbe, svi ostali laboratoriji zadovoljili su uvjet  $|E_n| \leq 1$  te time dokazuju uspješno sudjelovanje u usporedbi.

#### 5.3.2.2. Statistička obrada rezultata mjerenja kuta navoja $\alpha$ kontrolnog trna M36x1,5 u slučaju referentne vrijednosti određene aritmetičkom srednjom vrijednosti

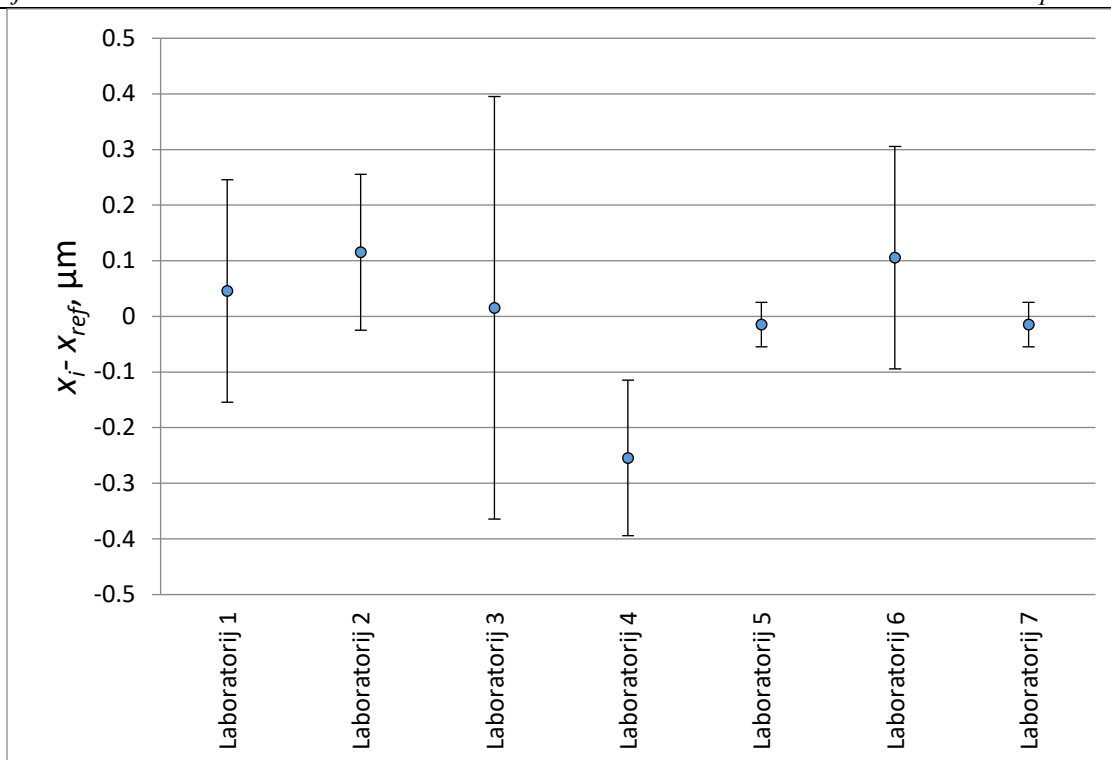
Statistički proračuni rezultata mjerenja kuta navoja  $\alpha$  kontrolnog trna M36x1,5 u slučaju referentne vrijednosti određene aritmetičkom srednjom vrijednosti izvršeni su u softveru te su rezultati prikazani u [Tablica 18.].



**Tablica 18. Proračunate vrijednosti EURAMET L-S21 usporedbe za kut navoja  $\alpha$  kontrolnog trna M36x1,5 u slučaju referentne vrijednosti određene aritmetičkom srednjom vrijednosti**

Laboratoriji	Kut navoja $\alpha$ kontrolnog trna M36x1,5					
	$x_i, \text{ }^\circ/1000$	Proširena mjerna nesigurnost $U(x_i), k = 2, \text{ }^\circ$	Mjerna nesigurnost $u(x_i), \text{ }^\circ$	$x_i - x_{ref}, \text{ }^\circ$	$U(x_i - x_{ref}), k=2, \text{ }^\circ$	$E_n$
Laboratorij 1	0,05973	0,20	0,100	0,05	0,18	0,248
Laboratorij 2	0,05980	0,14	0,070	0,12	0,14	0,830
Laboratorij 3	0,05970	0,38	0,19	0,02	0,33	0,048
Laboratorij 4	0,05943	0,14	0,07	-0,25	0,14	-1,824
Laboratorij 5	0,05967	0,04	0,02	-0,01	0,08	-0,176
Laboratorij 6	0,05979	0,20	0,10	0,11	0,18	0,573
Laboratorij 7	0,05967	0,04	0,02	-0,01	0,08	-0,18
$n$	7					
$\bar{x}, \text{ }^\circ/1000$	0,05968					
$U(\bar{x}), k = 2, \text{ }^\circ$	0,07					
$R_B$	1,685					
$R_{Bcrit}$	1,148					

Na [Slika 20.] prikazuju se odstupanja pojedinog laboratorija od referentne vrijednosti uz pridružene mjerne nesigurnosti uz faktor pokrivanja  $k=2$ , u slučaju referentne vrijednosti određene aritmetičkom srednjom vrijednosti za kut navoja  $\alpha$  kontrolnog trna M36x1,5.



**Slika 20. Prikaz odstupanja laboratorija od referentne vrijednosti u EURAMET L-S21 usporedbi za kut navoja  $\alpha$  kontrolnog trna M36x1,5 u slučaju referentne vrijednosti određene aritmetičkom srednjom vrijednosti**

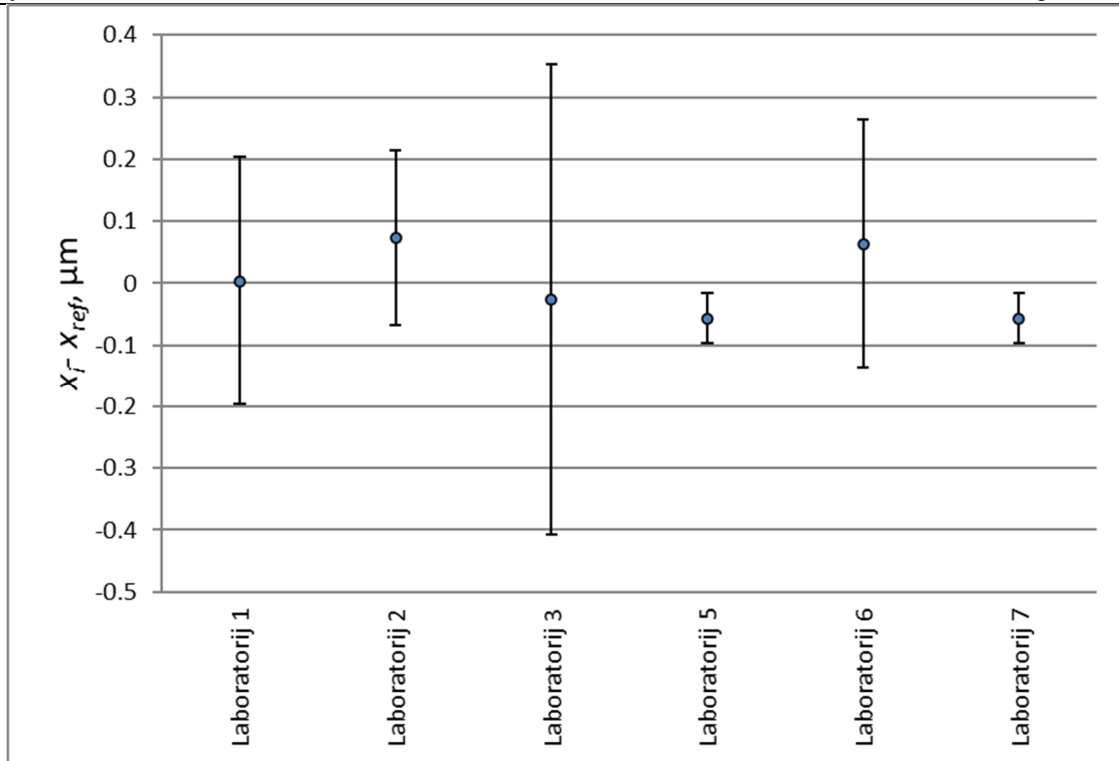
S obzirom da *Laboratorij 4* ima  $E_n$ -vrijednost veću od 1, smatra se da on nije uspješno sudjelovao u usporedbi te se taj laboratorij isključuje iz usporedbe. Znatno odstupanje od referentne vrijednosti i pripadajuće joj mjerne nesigurnosti vidljivo je i na grafu [Slika 20.]. Iznos  $R_B$  veći je od  $R_{Bcrit}$ , što ukazuje na to da s cijelom međulaboratorijskom usporedbom nešto nije u redu. Kako bi se to ispravilo, *Laboratorij 4* se izbacuje iz usporedbe te se proračun vrši ponovno.

Rezultati statističkih proračuna međulaboratorijske usporedbe nakon isključivanja *Laboratorija 4* prikazani su u [Tablica 19.].

**Tablica 19. Proračunate vrijednosti EURAMET L-S21 usporedbe nakon izbacivanja Laboratorija 4 iz usporedbe za kut navoja  $\alpha$  kontrolnog trna M36x1,5 u slučaju referentne vrijednosti određene aritmetičkom srednjom vrijednosti**

Laboratoriji	Kut navoja $\alpha$ kontrolnog trna M36x1,5					
	$x_i, \text{ }^\circ/1000$	Proširena mjerna nesigurnost $U(x_i), k = 2, \text{ }^\circ$	Mjerna nesigurnost $u(x_i), \text{ }^\circ$	$x_i - x_{ref}, \text{ }^\circ$	$U(x_i - x_{ref}), k=2, \text{ }^\circ$	$E_n$
Laboratorij 1	0,05973	0,20	0,100	0,00	0,18	0,018
Laboratorij 2	0,05980	0,14	0,070	0,07	0,14	0,519
Laboratorij 3	0,05970	0,38	0,19	-0,03	0,32	-0,083
Laboratorij 5	0,05967	0,04	0,02	-0,06	0,09	-0,636
Laboratorij 6	0,05979	0,20	0,10	0,06	0,18	0,346
Laboratorij 7	0,05967	0,04	0,02	-0,06	0,09	-0,64
$n$	6					
$\bar{x}, \text{ }^\circ/1000$	0,05973					
$U(\bar{x}), k = 2, \text{ }^\circ$	0,08					
$R_B$	0,989					
$R_{Bcrit}$	1,505					

Na [Slika 21.] prikazuju se odstupanja pojedinog laboratorija od referentne vrijednosti uz pridružene mjerne nesigurnosti uz faktor pokrivanja  $k=2$ , nakon izbacivanja *Laboratorija 4* iz usporedbe, u slučaju referentne vrijednosti određene aritmetičkom srednjom vrijednosti za kut navoja  $\alpha$  kontrolnog trna M36x1,5.



**Slika 21. Prikaz odstupanja laboratorija od referentne vrijednosti u EURAMET L-S21 usporedbi nakon izbacivanja Laboratorija 4 iz usporedbe za kut navoja  $\alpha$  kontrolnog trna M36x1,5 u slučaju referentne vrijednosti određene aritmetičkom srednjom vrijednosti**

Nakon što se izbacio *Laboratorij 4* iz usporedbe, svi ostali laboratoriji zadovoljili su uvjet  $|E_n| \leq 1$  te time dokazuju uspješno sudjelovanje u usporedbi. Također  $R_B$  vrijednost je manja od  $R_{Bcrit}$ , što znači da je međulaboratorijska usporedba uspješno provedena.

## 6. ZAKLJUČAK

Glavna svrha provođenja međulaboratorijskih usporedbi je procjena preciznosti, pouzdanosti i usklađenosti rezultata mjerenja ili ispitivanja dobivenih od strane različitih laboratorija ili organizacija. Važno je tijekom provođenja međulaboratorijske usporedbe prepoznati laboratorij koji ne zadovoljava uvjete, odnosno koji ne sudjeluje uspješno u usporedbi te ga pravovremeno o tome obavijestiti kako bi taj laboratorij poduzeo popravne mjere.

U ovome radu su za tri različite EURAMET usporedbe provedene statističke obrade rezultata mjerenja različitim statističkim pristupima, odnosno različitim načinima računanja referentne vrijednosti. Razlog tome je prikaz i donošenje odluke o tome koji statistički pristup najrealnije prikazuje uspješnost usporedbe i uspješnost pojedinog laboratorija u usporedbi.

U EURAMET L-K7 usporedbi provedene analize pokazale su da ne postoje značajne razlike u dobivenim rezultatima. Ipak, određena razlika u  $E_n$ -vrijednosti *Laboratorija 2* vidljiva je pri umjeravanju podjele od 10 mm. Ako se prijavljena vrijednost *Laboratorija 1* uzima kao referentna vrijednost, tada  $E_n$ -vrijednost *Laboratorija 2* iznosi 0,17 što je ujedno i najveća vrijednost u odnosu na dvije ostale metode. S obzirom na to da je cilj ove bilateralne usporedbe upravo dokazati sposobnost mjerenja *Laboratorija 2* nije ispravno koristiti njihove rezultate za račun referentne vrijednosti, posebice zbog velike razlike u razini mjernih nesigurnosti. Stoga je ispravno zaključiti da je *Laboratorij 2* ostvario  $E_n$ -vrijednost od 0,17. Pri umjeravanju podjele od 150 mm ne postoje numeričke razlike između pojedinih metoda pa se zaključuje da je *Laboratorij 2* ostvario  $E_n$ -vrijednost od 0,33. U oba slučaju, bez obzira na korištenu statističku metodu *Laboratorij 2* potvrdio je svoje mjeriteljske sposobnosti. S obzirom na to da je pilot laboratorij dokazao svoju mjeriteljsku sposobnost na prijašnjim usporedbama te posjeduje objavljene CMC vrijednosti BIPM-a u KCDB bazi, preporučuje se da se njegove izmjerene vrijednosti uzmu kao referentne vrijednosti.

U EURAMET L-K4 usporedbi provedne analize pokazale su da ne postoje značajnije razlike u dobivenim rezultatima. S obzirom na to da svi laboratoriji, sudionici ove usporedbe, ostvaruju podjednake mjerne nesigurnosti, odabir računa referentne vrijednosti neće utjecati na rezultat usporedbe.

U EURAMET L-S21 usporedbi provedene analize pokazale su da ne postoje značajnije razlike u dobivenim rezultatima. Ipak, u odnosu na ostale vidljivo je značajno odstupanje u razini mjernih nesigurnosti između *Laboratorija 5* i *Laboratorija 7*. Ovi laboratoriji prijavili su značajno manje nesigurnosti i ako se referentna vrijednost računa kao težinska srednja vrijednost, postoji mogućnost da će se referentna vrijednost približiti njihovim prijavljenim rezultatima. Iz tog razloga, u ovakvim slučajevima preporučuje se dodatni račun referentne vrijednosti kao aritmetičke srednje vrijednosti prijavljenih rezultata, što je i učinjeno u ovome radu. Rezultati su pokazali da su u oba slučaja svi sudionici usporedbe, osim *Laboratorija 4*, potvrdili svoje mjeriteljske sposobnosti i da je usporedba uspješno provedena. Za slučaj da je utvrđena značajna razlika, bez obzira na uspješnost Birge ratio testa ne bi bilo ispravno tvrditi da je usporedba korektno provedena.

**LITERATURA**

- [1] BIPM, <https://www.bipm.org/en/home>, Pristupljeno: 23. svibnja 2023.
- [2] Mršo, A.: Međulaboratorijske usporedbe, Diplomski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2022.
- [3] Sporazum o uzajamnom priznavanju, *Mutual recognition of national measurement standards and of calibration and measurement certificates issued by national metrology institutes*, 2000.
- [4] EURAMET, <https://www.euramet.org/>, Pristupljeno: 25. svibnja 2023.
- [5] Nacionalni mjeriteljski sustavi, *National Metrology Systems Developing the institutional and legislative framework*, BIPM, veljača 2021.
- [6] ISO/IEC 17025:2017 Opći zahtjevi za osposobljenost ispitnih i umjernih laboratorija, *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*
- [7] ISO/IEC 17034:2010 Ocjenjivanje sukladnosti - Opći zahtjevi za ispitivanje sposobnosti, *General requirements for the competence of reference material producers*
- [8] Međunarodna suradnja, <https://dzm.gov.hr/istaknute-teme/temeljno-mjeriteljstvo/medjunarodna-suradnja-498/498>, Pristupljeno: 25. svibnja 2023.
- [9] Pravila za međulaboratorijske usporedbe, Hrvatska akreditacijska agencija, 5. izdanje, srpanj 2015.
- [10] ISO 17025 Interlaboratory Comparison, <https://www.qse-academy.com/iso-17025-interlaboratory-comparison/>, Pristupljeno: 26. svibnja 2023.
- [11] EURAMET *Guide on Comparisons*, No. 4, Version 1.0, 2016.
- [12] CIPM MRA-G-11 *Measurement comparisons in the CIPM MRA*, Version 1.1, 2021.
- [13] EURAMET template, *Acceptance of conditions for participating in a EURAMET comparison*
- [14] G-OPS-TMP-025, *EURAMET Project Report*
- [15] EURAMET Guide, *Procedures and Review Criteria for CMCs*, Version 2.0, 2015.
- [16] ISO 17034:2016 Certifikacija referentnih materijala – Opći zahtjevi, *Certification of reference materials - General requirements*
- [17] Šimunović, V.: Predavanja iz Teorije i tehnike mjerenja: Međulaboratorijske usporedbe, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2020.
- [18] Šimunović, V.: Utjecaj mjernih postupaka na rezultat mjerenja srednjeg promjera navoja, Disertacija, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2014.

- [19] ISO 5725-6:1994 Točnost (istinitost i preciznost) metoda i rezultata mjerenja, Dio 6: Upotreba vrijednosti točnosti, *Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results, Part 6: Use in practice of accuracy values*
- [20] ASTM-E0691-23 Praksa provođenja međulaboratorijske studije za određivanje preciznosti testne metode, *Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method*
- [21] Salgado, J., Alfiyati N.: EURAMET L-K7.2014 Izvješće o EURAMET bilateralnoj linearnoj usporedbi, *Report on EURAMET Bilateral Line-scale Comparison*, LNE, Pariz, 2015.
- [22] EURAMET.L-K4.2015 Ključna usporedba umjeravanja standarda promjera, *Key Comparison Calibration of Diameter Standards EURAMET project 1410*, Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica, Torino, 2015.
- [23] Mudronja, V., Šimunović, V.: EURAMET.I-S21 Završno izvješće, Dodatna usporedba kontrolnika navoja, *Supplementary comparison of Parallel Thread Gauges*, Hrvatski mjeriteljski institut, Zagreb, 2013.
- [24] EURAMET Smjernice za umjeravanje cg-10, Određivanje srednjeg promjera navoja kontrolnika navoja mehaničkim sondiranjem, *Calibration Guide EURAMET cg-10, Determination of Pitch Diameter of Parallel Thread Gauges by Mechanical Probing*, 2012.