

Kontrola kvalitete rezultata umjeravanja mjerila tlaka do 2 MPa

Vuković, Emanuel

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

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:235:968496>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-20**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Emanuel Vuković

Zagreb, 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Lovorka Grgec Bermanec, dipl. ing.

Student:

Emanuel Vuković

Zagreb, 2024.

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

Zahvaljujem se mentorici prof. dr. sc. Lovorki Grgec Bermanec na stručnim savjetima i pruženoj pomoći prilikom izrade rada. Također, zahvalio bih se asistentu Ivanu Matasu i laborantu Alenu Jurišincu na pomoći pri provedbi mjerenja u laboratoriju.

Emanuel Vuković



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite

Povjerenstvo za završne i diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:

Procesno-energetski, konstrukcijski, inženjersko modeliranje i računalne simulacije i brodstrojarski

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 – 04 / 24 – 06 / 1	
Ur.broj: 15 – 24 –	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Emanuel Vuković** JMBAG: **35226208**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Kontrola kvalitete rezultata umjeravanja mjerila tlaka do 2 MPa**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Quality control of pressure gauge calibration results up to 2 MPa**

Opis zadatka:

Kvaliteta rezultata umjeravanja može se pratiti unutrašnjim ili vanjskim mjerama kontrole kvalitete. Unutrašnje mjere kontrole kvalitete između ostalog obuhvaćaju ponovljivost i obnovljivost rezultata dok se vanjske u pravilu odnose na provedbu međulaboratorijskih usporedbi i ispitivanja sposobnosti. U ovom radu je potrebno osmisliti postupak osiguranja kvalitete rezultata kod umjeravanja mjerila tlaka do 2 MPa koja koriste plin kao tlačni medij i analizirati dobivene rezultate.

Potrebno je izraditi:

- Pregled normi i uputa za provedbu međulaboratorijskih usporedbi i obradu rezultata
- Pregled statističkih metoda za ocjenu rezultata umjeravanja
- Opis metode umjeravanja, korekcija i procjene mjerne nesigurnosti
- Protokol međulaboratorijske usporedbe za tlak do 2 MPa
- Analizu i prikaz rezultata provedenih umjeravanja

U radu navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

30. 11. 2023.

Datum predaje rada:

1. rok: 22. i 23. 2. 2024.
2. rok (izvanredni): 11. 7. 2024.
3. rok: 19. i 20. 9. 2024.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 26. 2. – 1. 3. 2024.
2. rok (izvanredni): 15. 7. 2024.
3. rok: 23. 9. – 27. 9. 2024.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Lovorka Grgec Bermanec

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Vladimir Soldo

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA.....	IV
POPIS OZNAKA	V
SAŽETAK.....	VII
SUMMARY	VIII
1. PREGLED NORMI I UPUTA ZA PROVEDBU MEĐULABORATORIJSKIH USPOREDBI I OBRADU REZULTATA	1
1.1. PREGLED NORMI	1
1.1.1. HRN EN ISO/IEC 17011, Ocjena sukladnosti - Opći zahtjevi za akreditacijska tijela koja akreditiraju tijela za ocjenu sukladnosti	1
1.1.2. HRN EN ISO/IEC 17025, Opći zahtjevi za osposobljenost ispitnih i umjernih laboratorija	4
1.1.3. HRN EN ISO/IEC 17020, Ocjenjivanje sukladnosti - Zahtjevi za rad različitih vrsta tijela koja provode inspekciju	6
1.1.4. HRN EN ISO/IEC 17043, Ocjenjivanje sukladnosti - Opći zahtjevi za ispitivanje sposobnosti.....	8
1.1.5. HRN ISO 13528, Statističke metode pri ispitivanju sposobnosti putem međulaboratorijskih usporedbi.....	11
1.2. UPUTE ZA PROVEDBU MEĐULABORATORIJSKIH USPOREDBI I OBRADU REZULTATA	11
1.2.1. Njemačka služba za umjeravanje (Deutscher Kaliberdienst – DKD).....	11
1.2.1.1. Općenito.....	11
1.2.1.2. DKD smjernice	12
1.2.1.3. Cilj.....	12
1.2.1.4. DKD-R 6-1 smjernica.....	13
1.2.1.4.1. Svrha i područje primjene	13
1.2.1.4.2. Mogućnost umjeravanja	13
1.2.1.4.3. Okolišni uvjeti	14
1.2.1.4.4. Metoda umjeravanja.....	14
1.2.2. EURAMET (European Association of National Metrology Institutes – Europsko udruženje nacionalnih mjeriteljskih instituta).....	15
1.2.2.1. Općenito.....	15
1.2.2.2. Cilj.....	16
1.2.2.3. EURAMET smjernice.....	17
2. PREGLED STATISTIČKIH METODA ZA OCJENU REZULTATA UMJERAVANJA 18	
3. IZRAČUN EFEKTIVNOG TLAKA TLAČNE VAGE.....	19

3.1. Osnovna jednadžba za izračun tlaka	19
3.2. Efektivni tlak tlačne vage (uz korekcije)	20
3.2.1. Korekcija površine	21
3.2.2. Korekcija sile	21
4. MJERNA NESIGURNOST	23
4.1. Definicija.....	23
4.2. Procjena mjerne nesigurnosti	23
4.2.1. Tip A	23
4.2.2. Tip B	24
5. PROTOKOL MEĐULABORATORIJSKE USPOREDBE ZA TLAK DO 2 MPa.....	25
5.1. Tehnički protokol za međulaboratorijsku usporedbu rezultata mjerenja tlaka na plinskim tlačnim vagama u rasponu do 2 MPa.....	25
5.2. Tehnički protokol za međulaboratorijske usporedbe do 2 MPa proveden između Laboratorija za procesna mjerenja i sudjelujućih laboratorija.....	25
5.2.1. Uvod.....	25
5.2.2. Organizacija	26
5.2.2.1. Koordinator	26
5.2.2.2. Sudionici usporedbe.....	27
5.2.2.3. Vremenski raspored	28
5.2.2.4. Transport i rukovanje prijenosnim etalonima	28
5.2.3. Opis prijenosnog etalona.....	28
5.2.4. Upute za provedbu umjeravanja	29
5.2.5. Mjerna nesigurnost.....	29
5.2.6. Izvještavanje i analiza rezultata usporedbe	30
6. ANALIZA I PRIKAZ REZULTATA PROVEDENIH UMJERAVANJA	31
6.1. Početno mjerenje.....	31
6.1.1. Rezultati početnog mjerenja.....	33
6.2. Rezultati sudjelujućih laboratorija	35
6.3. Analiza rezultata	37
7. ZAKLJUČAK.....	43
LITERATURA.....	44
PRILOZI.....	46

POPIS SLIKA

Slika 1.	Pregled normi	1
Slika 2.	Metoda B [6]	15
Slika 3.	Vizualna ilustracija osnovne jednadžbe za izračun tlaka [13]	19
Slika 4.	Usporedba idealnog i realnog sklopa tlačne vage klip/cilindar [14]	20
Slika 6.	Tlačna vaga [16]	20
Slika 7.	Pravokutna razdioba [17]	24
Slika 8.	Trokutasta razdioba [17]	24
Slika 9.	Mjerna linija Laboratorija za procesna mjerenja na Fakultetu strojarstva i brodogradnje.....	26
Slika 10.	Prijenosni etalon FLUKE [19]	27
Slika 11.	Shema mjerne linije – FSB-LPM	31
Slika 12.	Utezi u Laboratoriju za procesna mjerenja na Fakultetu strojarstva i brodogradnje	32
Slika 13.	Usporedba rezultata svih laboratorija pri tlaku od 0 bar	38
Slika 14.	Usporedba rezultata svih laboratorija pri tlaku od 2 bar	39
Slika 15.	Usporedba rezultata svih laboratorija pri tlaku od 4 bar	39
Slika 16.	Usporedba rezultata svih laboratorija pri tlaku od 6 bar	40
Slika 17.	Usporedba rezultata svih laboratorija pri tlaku od 8 bar	40
Slika 18.	Usporedba rezultata svih laboratorija pri tlaku od 10 bar	41
Slika 19.	Usporedba rezultata svih laboratorija pri tlaku od 14 bar	41
Slika 20.	Usporedba rezultata svih laboratorija pri tlaku od 18 bar	42
Slika 21.	Usporedba rezultata svih laboratorija pri tlaku od 20 bar	42

POPIS TABLICA

Tablica 1. Metode umjeravanja [6]	15
Tablica 2. Pregled nekih statističkih metoda za ocjenu rezultata umjeravanja [11]	18
Tablica 3. Podatci o koordinatoru	27
Tablica 4. Podatci o prijenosnom etalonu	28
Tablica 5. Okolišni uvjeti	31
Tablica 6. Podatci o utezima	32
Tablica 7. Kombinacije utega.....	33
Tablica 8. Podatci o etalonu DHI (do 70 bar)	33
Tablica 9. Vrijednosti očitavanja FSB-LPM.....	34
Tablica 10. Primjer proračuna mjerne nesigurnosti za mjernu točku 20 bar	34
Tablica 11. Rezultati FSB-LPM.....	35
Tablica 12. Očitane vrijednosti LAB 1	35
Tablica 13. Rezultati LAB 1.....	35
Tablica 14. Rezultati LAB 2.....	36
Tablica 15. Rezultati LAB 3.....	36
Tablica 16. Usporedba rezultata FSB-LPM/LAB 1	37
Tablica 17. Usporedba rezultata FSB-LPM/LAB 2	37
Tablica 18. Usporedba rezultata FSB-LPM/LAB 3	38

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
$D_{\%}$	%	Postotna razlika
z	-	z vrijednost
$\hat{\sigma}$	-	Standardno odstupanje ocjenjivanja sposobnosti
z'	-	z' vrijednost
u_x	-	Mjerna nesigurnost dodijeljene vrijednosti
ζ	-	Zeta vrijednost
u_x	-	Procjena mjerne nesigurnosti sudionikovog rezultata x
E_n	-	E_n vrijednost
E_z	-	E_z vrijednost
p	Pa	Tlak
F	N	Sila na površinu
A	m ²	Površina
A_{ef}	m ²	Efektivna površina pri efektivnom tlaku
A_0	m ²	Efektivna površina pri 20 °C i nultom tlaku
α_p	°C ⁻¹	Koeficijent temperaturene ekspanzije klipa
α_c	°C ⁻¹	Koeficijent temperaturene ekspanzije cilindra
ϑ	°C	Temperatura sklopa za vrijeme ispitivanja
λ	bar ⁻¹	Koeficijent distorzije
p_{ef}	bar	Efektivni iznos tlaka generiran u sklopu
m_i	kg	Prava masa i-tog utega postavljenog na sklop
ρ_a	kg/m ³	Gustoća zraka okoline
ρ_{m_i}	kg/m ³	Gustoća i-tog utega
h	m	Razlika u visini između etalonskog i ispitivanog sklopa
V	m ³	Volumen za koji se radi korekcija zbog uzgonskog djelovanja fluida
ρ_f	kg/m ³	Gustoća radnog medija
g	m/s ²	Iznos lokalnog gravitacijskog ubrzanja
θ	°	Kut nagiba osi klipa u odnosu na vertikalu
Γ	m	Opseg klipa
c	N/m	Površinska napetost radnog medija
p_e	bar	Efektivni tlak tlačne vage
a	-	Polu-interval nesigurnosti
$E_{FSB-LPM}$	bar	Odstupanje FSB-LPM
E_{LABX}	bar	Odstupanje umjeravanog laboratorija
$U_{FSB-LPM}$	bar	Mjerna nesigurnost FSB-LPM
U_{LABX}	bar	Mjerna nesigurnost umjeravanog laboratorija
m	g	Masa utega
u_m	g	Nesigurnost mase

p_n	bar	Nominalni tlak
ρ_m	kg/m ³	Gustoća utega
$u_{\rho m}$	kg/m ³	Nesigurnost gustoće utega
k	-	Faktor prekrivanja
ρ_N	kg/m ³	Gustoća dušika
α_{p+c}	°C ⁻¹	Koeficijent temperaturne ekspanzije
u	bar	Standardna mjerna nesigurnost
U	bar	Nesigurnost umjeravanja
M	bar	Srednja vrijednost
b	bar	Ponovljivost
h	bar	Histereza

SAŽETAK

Cilj ovog rada je pokazati osiguranje kvalitete rezultata umjeravanja mjerila tlaka do 2 MPa (20 bar) koje je osmišljeno provodeći međulaboratorijsku usporedbu. Prvi dio rada obuhvatio je pregled normi i smjernica za provedbu međulaboratorijskih usporedbi, uključujući statističke metode za procjenu rezultata umjeravanja. Također, objašnjen je postupak umjeravanja prema metodi B iz DKD-R 6-1 uputa koja se koristila u svim laboratorijskim mjerenjima, te je prikazana osnovna jednadžba za izračun efektivnog tlaka tlačne vage uz primjenu određenih korekcija. Eksperimentalni dio rada proveden je u Laboratoriju za procesna mjerenja Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu. Koristeći postojeće etalone sastavljena je i opisana mjerna linija za umjeravanje mjerila tlaka. Odabrani prijenosni etalon za međulaboratorijske usporedbe, pretvornik tlaka FLUKE 2700G, umjeren je na etalonskom sustavu i dostavljen u četiri laboratorija koja su sudjelovala u međulaboratorijskoj usporedbi: FSB-LPM – koordinator usporedbe, LAB 1 (ARDENTER), LAB 2 (Endress+Hauser) i LAB 3 (ostao anonimn zbog privatnosti podataka). Kriterij za prihvatljivost rezultata umjeravanja bio je izračunata E_n vrijednost, a rezultati su prikazani tablično i grafički za sve točke usporedbe.

Ključne riječi: osiguranje kvalitete, umjeravanje, međulaboratorijska usporedba, prijenosni etalon, E_n vrijednost

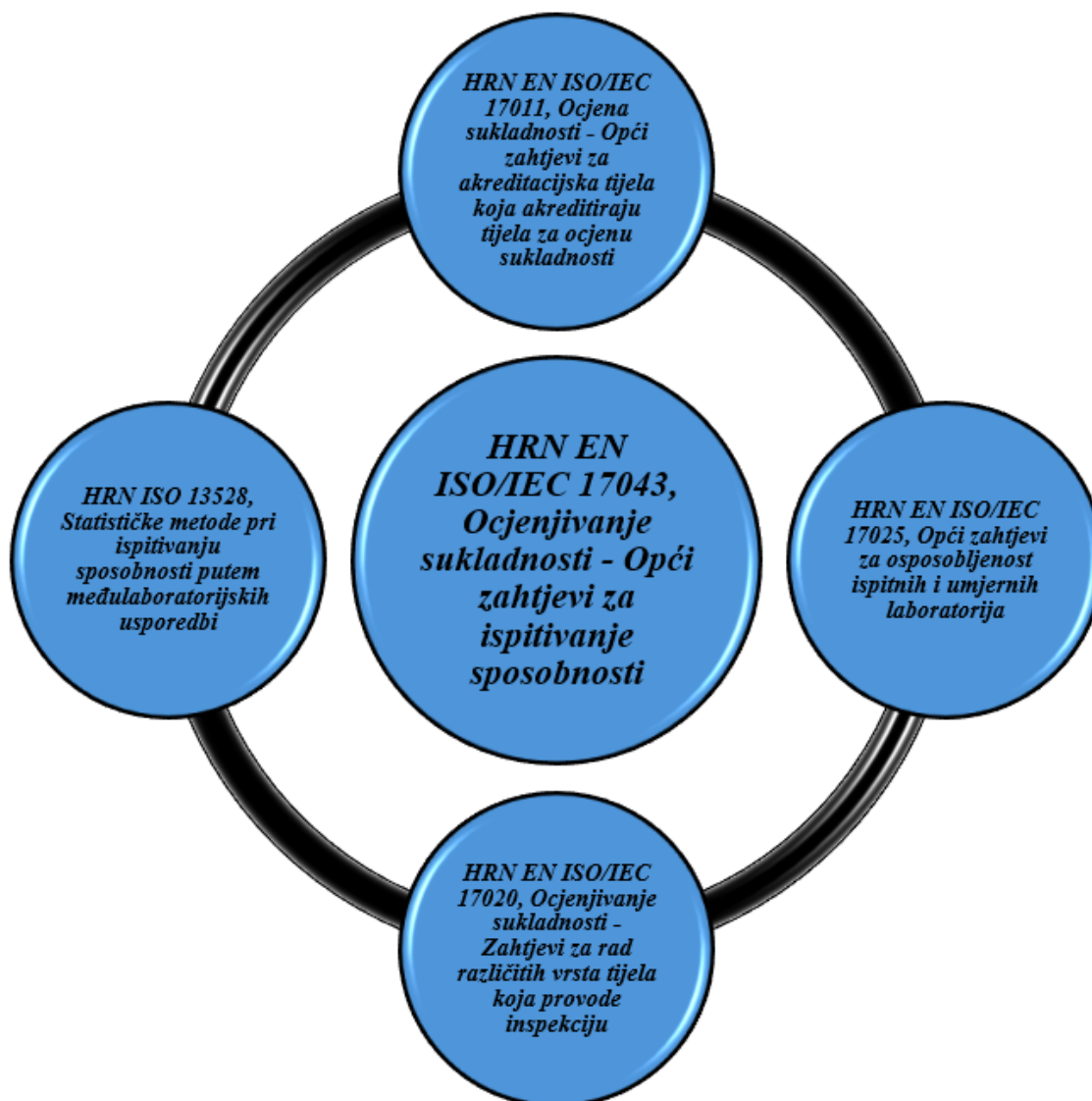
SUMMARY

The aim of this paper is to demonstrate quality assurance of pressure gauge calibration results up to 2 MPa (20 bar) designed through interlaboratory comparison. The first part of the paper encompassed a review of standards and guidelines for conducting interlaboratory comparisons, including statistical methods for evaluating calibration results. Also, the calibration procedure according to method B from DKD-R 6-1 guidelines, which was used in all laboratory measurements, was explained, and the basic equation for calculating the effective pressure of the pressure balance with the application of certain corrections was presented. The experimental part of the paper was conducted at the Laboratory for Process Measurements of the Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture in Zagreb. Using existing standards, a measurement line for calibrating pressure gauges was assembled and described. The selected transfer standard for interlaboratory comparisons, the FLUKE 2700G pressure gauge, was calibrated on the standard system and delivered to four laboratories that participated in the interlaboratory comparison: FSB-LPM as a coordinator, LAB 1 (ARDENTER), LAB 2 (Endress+Hauser) and LAB 3 (remained anonymous for data privacy reasons). The criterion for result acceptability was the calculated E_n value, and the results were presented in tables and graphs for all comparison points.

Key words: quality assurance, calibration, interlaboratory comparison, transfer standard, E_n value

1. PREGLED NORMI I UPUTA ZA PROVEDBU MEĐULABORATORIJSKIH USPOREDBI I OBRADU REZULTATA

1.1. PREGLED NORMI



Slika 1. Pregled normi

1.1.1. HRN EN ISO/IEC 17011, Ocjena sukladnosti - Opći zahtjevi za akreditacijska tijela koja akreditiraju tijela za ocjenu sukladnosti

- **PODRUČJE PRIMJENE**

U ovoj međunarodnoj normi određuju se opći zahtjevi za akreditacijska tijela koja ocjenjuju i akreditiraju tijela za ocjenu sukladnosti. Može se primijeniti za provedbu međusobnih ocjenjivanja akreditacijskih tijela s ciljem postizanja sporazuma o uzajamnom priznavanju. Akreditacijska tijela koja djeluju u skladu s ovom međunarodnom normom ne moraju pružati

usluge akreditacije za sve vrste tijela za ocjenu sukladnosti. Za potrebe ove međunarodne norme, tijela za ocjenu sukladnosti definiraju se kao organizacije koje obavljaju sljedeće usluge ocjene sukladnosti: ispitivanje, umjeravanje, inspekciju, certifikaciju sustava upravljanja, certifikaciju osoblja, certifikaciju proizvoda i ispitivanje sposobnosti [1].

- **SADRŽAJ NORME [1]**

1. Područje primjene
2. Upućivanje na druge norme
3. Nazivi i definicije
4. Akreditacijsko tijelo
5. Upravljanje
6. Ljudski resursi
7. Akreditacijski proces
8. Odgovornosti akreditacijskog tijela i tijela za ocjenjivanje sukladnosti

- **KRATKI PREGLED NORME**

- **Akreditacijsko tijelo**

Zahtjevi za akreditacijsko tijelo su sljedeći [1]:

- legalni pravi identitet
- ustrojstvo koje će osigurati povjerenje u njegov rad
- osiguranje objektivnosti i nepristranosti
- osiguranje zaštite povjerljivosti informacija
- osiguranje odgovornosti za njegove aktivnosti
- dokazivanje potrebnih financijskih resursa neophodnih za rad
- jasan opis akreditacijskih djelatnosti.

Svi ovi zahtjevi upućuju da akreditacijsko tijelo mora na odgovarajući način oblikovati svoj rad kojim bi se osiguralo ispravno provođenje njegovih aktivnosti [1].

- **Upravljanje**

Akreditacijsko tijelo je obavezno uspostaviti, implementirati i održavati sustav upravljanja u skladu s odredbama ove međunarodne norme, te kontinuirano unaprjeđivati njegovu učinkovitost. U slučaju kada ova norma zahtijeva da akreditacijsko tijelo posjeduje ili razvije postupke, to znači da ih je potrebno obavezno dokumentirati, primijeniti i održavati, uz jasno definiranu politiku kad god to bude prikladno.

Zahtjevi koji se tiču upravljanja obuhvaćaju [1]:

- sustav upravljanja

- nadzor dokumenata
- nadzor zapisa
- nadzor nesukladnosti i popravne radnje
- preventivne radnje
- unutrašnje audite
- preispitivanja upravljanja
- pritužbe.

➤ **Ljudski resursi**

Akreditacijsko tijelo mora imati dovoljan broj kvalificiranog osoblja s odgovarajućim znanjem i iskustvom. Treba osigurati potreban broj ocjenitelja, uključujući vodeće ocjenitelje i stručnjake, te ih uputiti u njihove dužnosti i ovlasti. Osoblje akreditacijskog tijela primorano je poštivati propisana pravila putem potpisa ili drugih prikladnih načina. Postupak odabira, obuke i formalnog potvrđivanja ocjenitelja i stručnjaka mora biti uspostavljen. Proces ocjenjivanja i donošenja odluka o akreditaciji mora se osigurati putem sustava nadzora postignuća i osposobljenosti osoblja. Ocjenjivanje rada ocjenitelja treba se provoditi svake tri godine. Zapisi o obrazovanju i osposobljenosti svakog pojedinca uključenog u akreditaciju moraju se održavati i redovito sinkronizirati.

➤ **Akreditacijski proces**

Opći kriteriji za akreditaciju tijela za ocjenjivanje sukladnosti moraju biti u skladu s relevantnim normativnim dokumentima, poput međunarodnih normi i uputa za rad tijela za ocjenjivanje sukladnosti. Informacije koje akreditacijsko tijelo mora učiniti javno dostupnima i obnavljati ih u određenim vremenskim intervalima dane su u točki 7.1.2 ove međunarodne norme [1].

Akreditacijski proces obuhvaća [1]:

- prijavu za akreditaciju
- ocjenjivanje resursa
- podugovaranje ocjenjivanja
- pripremu za ocjenjivanje
- preispitivanje dokumentacije i zapisa
- ocjenjivanje na licu mjesta
- analizu nalaza i izvještaj o ocjenjivanju
- donošenje odluke o akreditaciji
- žalbe
- ponovnu akreditaciju i nadzor

- proširenje akreditacije
- suspenziju, povlačenje ili suženje akreditacije
- zapise o tijelima za ocjenjivanje sukladnosti
- ispitivanja sposobnosti i druge usporedbe laboratorija.

➤ **Odgovornosti akreditacijskog tijela i tijela za ocjenjivanje sukladnosti**

Obveze tijela za ocjenjivanje sukladnosti koje akreditacijsko tijelo treba propisati navedene su u točki 8.1 ove međunarodne norme, dok su obveze akreditacijskog tijela navedene su u točki 8.2 iste norme. Akreditacijsko tijelo kao vlasnik akreditacijskog simbola namijenjenog za uporabu akreditiranim tijelima za ocjenjivanje sukladnosti, mora imati politiku za nadzor nad njegovom zaštitom i uporabom. Akreditiranom tijelu za ocjenjivanje sukladnosti dopuštena je uporaba akreditacijskog simbola na izvještajima ili certifikatima izdanim unutar područja njegove akreditacije. [1]

1.1.2. HRN EN ISO/IEC 17025, Opći zahtjevi za osposobljenost ispitnih i umjernih laboratorija

- **PODRUČJE PRIMJENE**

Ova norma postavlja opće zahtjeve za osposobljenost, objektivnost i dosljednost u radu laboratorija. Primjenjiva je na sve organizacije koje provode laboratorijske aktivnosti (ispitivanja, umjeravanja, uzorkovanja), bez obzira na broj zaposlenika, veličinu organizacije i opseg aktivnosti [2].

- **SADRŽAJ NORME [2]**

1. Područje primjene
2. Upućivanje na druge norme
3. Nazivi i definicije
4. Opći zahtjevi
5. Strukturni zahtjevi
6. Zahtjevi za resurse
7. Zahtjevi za procese
8. Zahtjevi za sustav upravljanja

- **KRATKI PREGLED NORME**

➤ **Opći zahtjevi**

Opći zahtjevi obuhvaćaju održavanje objektivnosti i čuvanje povjerljivosti informacija u radu laboratorija. Sve laboratorijske aktivnosti trebaju biti provedene objektivno, a nepristranost rada laboratorija mora se kontinuirano održavati i nadzirati. Rizici nepristranosti moraju se redovito identificirati te smanjivati ili uklanjati.

➤ **Strukturni zahtjevi**

Strukturni zahtjevi odnose se na pravne odnose i organizaciju laboratorija. Laboratorij je pravno odgovoran za svoje aktivnosti, a uprava snosi cjelokupnu odgovornost. Laboratorij definira opseg svojih aktivnosti u skladu s ovom normom, te utvrđuje organizaciju, odgovornosti, ovlasti i međusobne odnose osoblja. Postupci se dokumentiraju kako bi se osigurao ustrajan rad i validnost rezultata. Uprava mora osigurati učinkovitu komunikaciju o sustavu upravljanja te održavati cjelovitost sustava prilikom planiranja i provedbe promjena.

➤ **Zahtjevi za resurse**

Laboratorij treba imati potrebno osoblje, prostor, opremu, sustave i podršku kako bi učinkovito upravljao svojim laboratorijskim aktivnostima. Osoblje treba biti osposobljeno, a ta se osposobljenost treba redovito održavati i nadograđivati putem definiranih postupaka. Prostori i uvjeti okoliša moraju biti prikladni za laboratorijske aktivnosti te ne smiju negativno utjecati na validnost rezultata. Oprema mora biti ispravna, verificirana i pod stalnim nadzorom laboratorija [2]. Gdje god je potrebno umjeravati opremu, treba uspostaviti program umjeravanja, a o opremi se moraju čuvati valjani zapisi. Mjeriteljska sljedivost treba biti osigurana. Proizvodi i usluge od vanjskih dobavljača moraju biti pod strogim nadzorom laboratorija, što zahtijeva postupak i održavanje odgovarajućih zapisa o vanjskim dobavljačima.

➤ **Zahtjevi za procese**

Zahtjevi za procese uključuju: preispitivanje zahtjeva, ponuda i ugovora; odabir, verifikaciju i validaciju metoda; uzorkovanje; postupanje s predmetima; stručne/tehničke zapise; vrednovanje mjerne nesigurnosti; osiguravanje valjanosti rezultata; izvještavanje o rezultatima; pritužbe; nesukladan rad i nadzor nad podacima [2]. Laboratorij mora imati postupak za preispitivanje zahtjeva, ponuda i ugovora, te jasno definirati specifikacije ili norme kada kupac traži izjavu o sukladnosti. Suradnja s kupcima i primjena prikladnih metoda te njihovo redovito obnavljanje su obavezni. Validirane i verificirane metode moraju se koristiti, a pri uzorkovanju, laboratorij mora imati plan i metodu uzorkovanja, prikupiti sve bitne informacije o uzorku, te pažljivo postupati s predmetima. Zapisi moraju jasno prepoznati faktore utjecaja na mjerni rezultat, a vrednovanje mjerne nesigurnosti i praćenje validnosti rezultata treba biti standardno. Definiranje unutarnjih mjera kontrole kvalitete i sudjelovanje u shemama ispitivanja sposobnosti također su obavezni. Rezultati se moraju prikazati putem odgovarajućih izvještaja koji sadrže potrebne informacije, uz mogućnost dodavanja izjava o sukladnosti, mišljenja i tumačenja. Laboratorij mora imati postupke za

pritužbe i nesukladan rad, te validan sustav upravljanja informacijama koji je zaštićen od neovlaštenog pristupa i koji održava integritet podataka.

➤ **Zahtjevi za sustav upravljanja**

Laboratorij treba implementirati, dokumentirati, provoditi i održavati sustav upravljanja koji jasno pokazuje dosljedno ispunjenje zahtjeva norme. Sustav upravljanja laboratorijem mora uključivati sljedeće elemente: dokumentaciju sustava upravljanja; nadzor nad dokumentima sustava upravljanja; nadzor nad zapisima; radnje za utvrđivanje rizika i prilika; poboljšanja; korektivne radnje; interne audite i preispitivanje upravljanja [2]. U tu svrhu može se koristiti postojeći sustav upravljanja sukladan ISO 9001, pod uvjetom da se može dosljedno primjenjivati zahtjeve ove norme. Uprava laboratorija je odgovorna za postavljanje, dokumentiranje i održavanje politika i ciljeva kako bi ispunila svrhu ove norme. Politike i ciljevi trebaju biti prihvaćeni i provedeni na svim razinama organizacije laboratorija. Periodično, laboratorij treba provoditi unutarnju reviziju i preispitivanje upravljanja.

1.1.3. HRN EN ISO/IEC 17020, Ocjenjivanje sukladnosti - Zahtjevi za rad različitih vrsta tijela koja provode inspekciju

- **PODRUČJE PRIMJENE**

Ova norma predstavlja opće zahtjeve za osposobljenost tijela koja provode inspekciju te zahtjeve za nepristranost i dosljednost u izvršavanju inspeksijskih poslova. Ovisno o stupnju neovisnosti, razlikuju se inspeksijska tijela vrste A, B i C. Ti stupnjevi uključuju dizajniranje, provjeru tipa, početnu provjeru, internu inspekciju ili nadzor. [3]

- **SADRŽAJ NORME [3]**

1. Područje primjene
2. Upućivanje na druge norme
3. Nazivi i definicije
4. Opći zahtjevi
5. Strukturni zahtjevi
6. Zahtjevi za resurse
7. Procesni zahtjevi
8. Zahtjevi za sustav upravljanja

- **KRATKI PREGLED NORME**

➤ **Opći zahtjevi**

Opći zahtjevi za inspeksijska tijela obuhvaćaju objektivnost, neovisnost i povjerljivost. Inspeksijsko tijelo mora provoditi svoje aktivnosti potpuno objektivno, prepoznajući rizike koji bi mogli ugroziti objektivnost. Uprava inspeksijskog tijela jasno mora podržavati

objektivnost. Inspekcijsko tijelo mora čuvati povjerljivost svih informacija [3].

➤ **Strukturni zahtjevi**

Strukturni zahtjevi obuhvaćaju administrativne zahtjeve te upravljačku i organizacijsku strukturu inspekcijskog tijela. Inspekcijsko tijelo mora djelovati kao pravni subjekt ili biti dio njega, posjedovati dokumentaciju koja opisuje njegove aktivnosti i imati osiguranje od odgovornosti. Organizacijska i upravljačka struktura moraju biti oblikovane kako bi se očuvala objektivnost. Tehnička uprava, odnosno voditelj inspekcije i njegove zamjene moraju biti jasno definirane. Inspekcijsko tijelo također treba imati opise poslova ili drugu dokumentaciju za svaku funkciju uključenu u provedbu inspekcijskih aktivnosti.

➤ **Zahtjevi za resurse**

Zahtjevi ovog dijela norme odnose se na cjelokupno osoblje, objekte i opremu i podugovaranje inspekcijskog tijela. Inspekcijsko tijelo mora efikasno upravljati i biti odgovorno za rad svog osoblja, osiguravajući dovoljan broj osposobljenih članova. Svi zahtjevi vezani za osposobljenost moraju biti precizno definirani, s jasnim određivanjem dužnosti, odgovornosti i ingerencije za svakog člana osoblja. Potrebni su postupci za odabir, osposobljavanje, formalno odobrenje i nadzor inspektora i ostalog osoblja, uz provjeru rada svakog inspektora. O inspektorima i osoblju moraju se voditi detaljni zapisi. Inspekcijsko tijelo također mora posjedovati adekvatne objekte i opremu za učinkovito provođenje inspekcijskih zadataka. Oprema mora biti pažljivo nadzirana, označena i održavana u skladu s propisanim postupcima, s posebnim programom umjeravanja za umjeravanje opreme. Mjerna sljedivost mora se osiguravati do nacionalnih ili međunarodnih standarda. Inspekcijsko tijelo mora imati dokumentirane postupke za rukovanje neispravnom opremom i voditi sve potrebne zapise. U slučaju podugovaranja, inspekcijsko tijelo mora moći dokazati osposobljenost podugovaratelja, s vođenjem odgovarajućih zapisa o provjerama njihove osposobljenosti.

➤ **Procesni zahtjevi**

Norma propisuje primjenu metoda i postupaka inspekcije prema zahtjevima, uz korištenje dokumentiranih uputa za planiranje inspekcije. Inspekcijsko tijelo treba imati sustav upravljanja ugovorima i radnim nalogima. Zapažanja i podatci tijekom inspekcijskih aktivnosti trebaju biti odmah zapisani kako bi se izbjegao gubitak važnih informacija. Upute za sigurnu provedbu inspekcije također su obavezne. Inspekcijski predmeti i uzorci moraju biti jasno identificirani kako bi se izbjegle zamjene identiteta. Sustav zapisa treba odražavati učinkovitost inspekcijskih postupaka i omogućiti procjenu inspekcijskih aktivnosti. Izvještaji ili certifikati moraju biti sljedivi do inspektora koji je proveo inspekcijske aktivnosti [3].

Inspeksijsko tijelo mora imati dokumentirani postupak za rješavanje prigovora i žalbi, s opisom procesa dostupnim na zahtjev zainteresiranih strana.

➤ **Zahtjevi za sustav upravljanja**

U vezi sa zahtjevima za sustav upravljanja, dostupne su dvije opcije:

1. Opcija A – implementacija sustava upravljanja prema zahtjevima točaka 8.2 do 8.8 norme [3].
2. Opcija B – ako tijelo već posjeduje i održava sustav usklađen s ISO 9001, što omogućuje podršku i dokazivanje ispunjenja ove norme, tijelo zadovoljava zahtjeve iz točaka 8.2 do 8.8 norme [3].

Točke 8.2 do 8.8 norme sadrže opće zahtjeve za sustav upravljanja, zatim zahtjeve za [3]:

- dokumentaciju sustava upravljanja
- nadzor dokumenata
- nadzor zapisa
- preispitivanja upravljanja
- unutrašnje audite
- popravne radnje
- preventivne radnje.

1.1.4. HRN EN ISO/IEC 17043, Ocjenjivanje sukladnosti - Opći zahtjevi za ispitivanje sposobnosti

- **PODRUČJE PRIMJENE**

Ova norma postavlja opće zahtjeve za osposobljenost organizatora shema ispitivanja sposobnosti, kao i za razvoj i provedbu tih shema [4]. Njezini opći zahtjevi namijenjeni su sveobuhvatnosti, primjenjivi za sve vrste shema ispitivanja sposobnosti. Također, ovi zahtjevi mogu poslužiti kao temelj za formuliranje specifičnih tehničkih zahtjeva u određenim područjima primjene.

- **SADRŽAJ NORME** [4]
 1. Područje primjene
 2. Upućivanje na druge norme
 3. Nazivi i definicije
 4. Tehnički zahtjevi
 5. Zahtjevi koji se odnose na upravljanje

- **KRATKI PREGLED NORME**

➤ **Tehnički zahtjevi**

Ovaj zahtjev norme propisuje kako organizatori ispitivanja sposobnosti moraju imati sposobnost provođenja međulaboratorijskih usporedbi sa stručnim pristupom za svaku vrstu predmeta ispitivanja sposobnosti. Također, moraju imati odgovarajuće ovlašteno osoblje, resurse i tehničku stručnost. Uprava organizatora mora postaviti minimalne razine kvalifikacija za ključne pozicije, osiguravajući njihovo ispunjenje. Organizator mora definirati i provesti procese koji utječu na kvalitetu sheme, uključujući pripremu predmeta ispitivanja. Planiranje sheme ispitivanja sposobnosti ne smije biti podugovoreno. Organizator mora dovoljno rano dokumentirati plan sheme koji uključuje ciljeve, svrhu i dizajn, te imati tehničku ekspertizu u području ispitivanja. Postupci za pripremu, manipulaciju i dostavu predmeta ispitivanja moraju biti uspostavljeni i dokumentirani, uz pravila za homogenost i stabilnost. Statistički dizajn i analiza podataka moraju biti dokumentirani, a organizator mora osigurati potvrdu isporuke. Oprema i programska podrška moraju se validirati, a rezultati se moraju bilježiti. Vrednovanje izvedbe, izrada izvještaja i politika dostupnosti izvještaja također su ključni dijelovi sheme. Organizator mora pružiti detaljne informacije o shemi i omogućiti žalbe sudionika. Identitet sudionika mora ostati povjerljiv, a informacije moraju biti tretirane kao povjerljive, s iznimkom slučajeva kada upravno tijelo zahtijeva izravno dostavljanje rezultata.

➤ **Zahtjevi koji se odnose na upravljanje**

Ovaj zahtjev norme propisuje organizatoru ispitivanja sposobnosti da definira pravni status, odgovornosti, ovlaštenja, te imenovanje ključnog osoblja kako bi se izbjegao sukob interesa itd. Organizator mora uspostaviti, primjenjivati i održavati prilagođeni sustav upravljanja koji odgovara području njegovog djelovanja, uključujući vrstu, opseg i veličinu ispitivanja sposobnosti koje provodi [4].

On mora [4]:

- dokumentirati politike, sustave, programe, postupke i upute za rad u mjeri potrebnoj da se osigura kvaliteta svih aspekata ispitivanja sposobnosti
- prenijeti odgovarajućemu osoblju dokumentaciju sustava koja mora biti razumljiva, dostupna i ono ju mora primjenjivati
- utvrditi politiku i sveukupne ciljeve kvalitete.

Uprava treba pružiti dokaz o svojoj predanosti razvoju i primjeni sustava upravljanja te neprestanom poboljšavanju njegove učinkovitosti. Organizator ispitivanja sposobnosti s obzirom na nadzor dokumenata mora ispuniti odgovarajuće zahtjeve [4]:

- uspostaviti i održavati postupke nadzora svim dokumentima
- dokumenti se moraju prethodno pregledati i odobriti

-
- mora postojati glavni popis dokumenata ili istovrijedan postupak koji utvrđuje status i razdiobu dokumenta
 - postupak mora osigurati da se dokumenti valjano čuvaju, periodično provjeravaju, da su važeća izdanja u primjeni i nad zastarjelim dokumentima da se vodi adekvatan nadzor
 - dokumenti moraju biti jednoznačno označeni
 - mora se uspostaviti nadzor nad promjenama i da se prepoznaju promjene
 - dopune u dokumentima moraju biti jasno označene, parafirane i datirane
 - moraju se uspostaviti postupci nadzora elektroničkih dokumenata.

Zahtjevi norme u pogledu preispitivanja zahtjeva, ponuda i ugovora su sljedeći:

- organizator ispitivanja sposobnosti mora uspostaviti i održavati politiku i postupke za preispitivanje zahtjeva, ponuda i ugovora
- o preispitivanjima se moraju voditi zapisi
- moraju se voditi zapisi i o odgovarajućoj razmjeni mišljenja s kupcima koja se odnosi na zahtjeve kupca ili rezultate rada tijekom provedbe ugovora
- kupac mora biti obaviješten o svakome odstupanju od ugovora.

Prilikom podugovaranja, organizator ispitivanja sposobnosti mora dokazati da je podugovaratelj dovoljno iskusan i tehnički osposobljen za zadatke te da se usklađuje s odgovarajućim normama. Moraju postojati jasna pravila za odabir usluga i potrepština kako bi se osigurala kvaliteta shema ispitivanja sposobnosti.

Organizator ispitivanja sposobnosti mora [4]:

- biti voljan surađivati sa sudionicima i drugim klijentima i omogućiti im praćenje izvedbe pod uvjetom da se osigura povjerljivost spram drugih klijenata
- nastojati pribaviti povratne obavijesti od svojih kupaca
- upotrebljavati i analizirati povratne informacije za poboljšanje sustava upravljanja.

Organizator ispitivanja sposobnosti mora imati jasne politike i postupke za rješavanje pritužbi, nadzor nesukladnog rada te stalno poboljšanje sustava upravljanja kroz politiku kvalitete, ciljeve kvalitete, rezultate revizije, analizu podataka, popravne i preventivne radnje te preispitivanje upravljanja. Također, treba utvrditi politiku i postupak za dodjelu ovlaštenja za provedbu popravnih radnji, identificirati poboljšanja i izvore nesukladnosti te razlikovati zapise o kvaliteti i tehničke zapise. Unutrašnju reviziju treba se redovito provoditi, a uprava mora periodički preispitivati sustav upravljanja sukladno planu i postupku.

1.1.5. HRN ISO 13528, Statističke metode pri ispitivanju sposobnosti putem međulaboratorijskih usporedbi

Norma HRN ISO 13528, koja se odnosi na statističke metode u međulaboratorijskim usporedbama, ključan je alat za organizatore ispitivanja sposobnosti (*Proficiency Testing Providers - PTP*) pri statističkoj obradi podataka tijekom provedbe ispitivanja. Ispitivanja sposobnosti, koja vrednuju izvedbu sudionika putem međulaboratorijskih usporedbi, koriste se za dokazivanje sposobnosti laboratorija i drugih tijela za ocjenjivanje sukladnosti. Sheme ispitivanja sposobnosti, definirane prema HRN EN ISO/IEC 17043, zahtijevaju odgovarajući pristup, a norma HRN ISO 13528 detaljno opisuje statističku obradu podataka koja je ključna u tom procesu. Ova norma također naglašava da rezultati ispitivanja sposobnosti mogu biti raznovrsni, obuhvaćajući različite vrste podataka i statističke razdiobe. Za analizu rezultata, norma HRN ISO 13528 preporučuje specifične metode prilagođene svakoj situaciji. Osim toga, HRN EN ISO/IEC 17043, uz oslonac na HRN ISO 13528 i IUPAC Technical Report "*The International Harmonized Protocol for the proficiency testing of analytical chemistry laboratories*", pruža smjernice za statističke metode u području ispitivanja sposobnosti.

Struktura norme HRN ISO 13528 takva je da obrađuje [5]:

- statističke upute za dizajniranje i tumačenje ispitivanja sposobnosti
- određivanje dodijeljene vrijednosti i njene nesigurnosti
- određivanje standardnog odstupanja ocjenjivanja sposobnosti
- statistički izračun izvedbe i vrednovanje rezultata
- grafičke metode obrade rezultata kruga ispitivanja sposobnosti
- grafičke metode obrade rezultata više krugova iste sheme ispitivanja sposobnosti.

HRN ISO 13528 pruža bitne postupke za provjeru homogenosti i stabilnosti (Dodatak B), te algoritme za robusnu analizu podataka (Dodatak C). Važno je napomenuti da HRN ISO 13528 nije namijenjena za akreditaciju organizatora ispitivanja sposobnosti; tu svrhu služi HRN EN ISO/IEC 17043. Norma HRN 13528 pruža statistička rješenja za obradu i vrednovanje rezultata ispitivanja sposobnosti, ali ne dokazuje osposobljenost organizatora za provedbu ispitivanja sposobnosti ili međulaboratorijskih usporedbi.

1.2. UPUTE ZA PROVEDBU MEĐULABORATORIJSKIH USPOREDBI I OBRADU REZULTATA

1.2.1. Njemačka služba za umjeravanje (*Deutscher Kalibrierdienst – DKD*)

1.2.1.1. Općenito

Od svog osnutka 1977. godine, DKD je okupljao umjerne laboratorije industrijskih poduzeća, istraživačkih instituta, tehničkih tijela, inspeksijskih i ispitnih instituta. Dana 3. svibnja 2011.

DKD je ponovno uspostavljen kao tehničko tijelo PTB-a (Physikalisch-Technische Bundesanstalt – Njemački nacionalni mjeriteljski institut) i akreditiranih laboratorija. Smjernice i vodiči koje je izradio DKD predstavljaju moderna tehnička područja stručnosti i mogu se koristiti od strane Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH (Njemačko akreditacijsko tijelo – DAkkS) za akreditaciju umjernih laboratorija. Akreditirani umjerni laboratoriji sada su akreditirani i nadzirani od strane DAkkS-a kao pravnog sljedbenika DKD-a [6]. Oni provode umjeravanja mjernih uređaja i etalona za mjerne vrijednosti i mjerna područja definirana prilikom akreditacije. Certifikati o umjeravanju izdani od strane ovih laboratorija dokazuju sljedivost prema nacionalnim standardima u skladu sa zahtjevima standarda DIN EN ISO 9000 i DIN EN ISO/IEC 1702 [6]. Umjeravanja u akreditiranim laboratorijima pružaju korisnicima sigurnost pouzdanih mjernih rezultata, povećavaju povjerenje kupaca, jačaju konkurentnost na domaćem i međunarodnom tržištu te služe kao temelj za praćenje mjerne i ispitne opreme u okviru sustava osiguranja kvalitete.

1.2.1.2. DKD smjernice

DKD smjernice su dokumenti za primjenu koji se odnose na zahtjeve DIN EN ISO/IEC 17025 [6]. Sadrže opis tehničkih, procesnih i organizacijskih postupaka koje akreditirani umjerni laboratoriji koriste kao model za definiranje unutarnjih procesa i propisa [6]. Mogu postati bitna komponenta priručnika za upravljanje kvalitetom umjernih laboratorija. Primjenom smjernica osigurava se da svi uređaji koji se umjeravaju imaju jednak tretman u različitim umjernim laboratorijima te da se poboljšava kontinuitet i usporedivost rada umjernih laboratorija [6]. Smjernice DKD-a ne bi trebale spriječiti daljnji razvoj postupaka i procesa umjeravanja [6]. Odstupanja od smjernica kao i novi postupci dopušteni su u dogovoru s akreditacijskim tijelom ako postoje tehnički razlozi koji podupiru ovu radnju [6]. Smjernicu DKD-R 6-1 izradio je Tehnički odbor „Tlak i vakuum” u suradnji s PTB-om i akreditiranim umjernim laboratorijima, a odobrio ju je Upravni odbor DKD-a.

1.2.1.3. Cilj

Primarni fokus DKD-a je promicanje umjeravanja u smislu širenja jedinica. To uključuje poticanje razmjene informacija među članovima i razvoj smjernica za umjeravanje (DKD-R), koje predstavljaju vrhunsku praksu i mogu poslužiti kao osnova za akreditacijske postupke i evaluacije.

Ciljevi se posebno ostvaruju izvođenjem sljedećih zadataka [7]:

1. Informiranje članova o novim nacionalnim i međunarodnim razvojem u umjeravanju, na sastancima ili na drugi prikladan način

2. Aktivno sudjelovanje u pripremi propisa za umjeravanje na nacionalnoj, europskoj i međunarodnoj razini
3. Objavljivanje dokumenata
4. Sudjelovanje na sastancima i forumima Njemačkog tijela za akreditaciju (DAkKS)
5. Poticanje tečajeva obuke za zaposlenike iz sektora umjeravanja
6. Informiranje javnosti o aktivnostima DKD-a
7. Poticanje međulaboratorijskih usporedbi/usporednih mjerenja.

1.2.1.4. DKD-R 6-1 smjernica

U nastavku su istaknute i opisane glavne točke iz smjernice DKD-R 6-1.

1.2.1.4.1. Svrha i područje primjene

Ova smjernica propisuje minimalne zahtjeve za postupak umjeravanja i procjenu mjernih nesigurnosti pri umjeravanju mjeraca tlaka. Primjenjuje se na mjerače tlaka s Bourdonovom cijevi, električne mjerače tlaka i prijenosnike tlaka s električnim izlazom [6].

1.2.1.4.2. Mogućnost umjeravanja

Da bi se postupilo s nalogom za umjeravanje potrebna je umjerna prikladnost predmeta umjeravanja. To znači da trenutno stanje predmeta umjeravanja mora odgovarati općeprihvaćenim pravilima tehnologije, kao i specifikacijama navedenim u uputama proizvođača. Sposobnost umjeravanja se mora potvrditi putem vanjskih pregleda i funkcionalnih ispitivanja.

Vanjski pregledi obuhvaćaju [6]:

- vizualni pregled oštećenja (pokazivač, navoji, brtvena površina, tlačni kanal)
- kontaminacije i čistoća
- vizualni pregled glede označavanja, čitljivosti indikacija
- provjeru dokumenata za umjeravanje (tehnički podatci, upute za uporabu)

Funkcionalni testovi pokrivaju [6]:

- nepropusnost linijskog sustava predmeta umjeravanja
- električna operativnost
- ispravno funkcioniranje upravljačkih elemenata (npr. podešavanje nule)
- podešavanje elemenata u definiranom položaju
- izvršavanje funkcija samotestiranja i/ili samopodešavanja bez grešaka; ako je potrebno, unutarnje referentne vrijednosti treba očitati putem EDP (Electronic data processing – Elektronička obrada podataka) sučelja
- ovisnost momenta (nulti signal) tijekom montaže.

1.2.1.4.3. Okolišni uvjeti

Umjeravanje treba biti provedeno nakon što se temperatura predmeta umjeravanja izjednači s temperaturom okoline unutar prihvatljivog raspona (između 18 °C i 28 °C). Potrebno je uzeti u obzir vrijeme potrebno za zagrijavanje predmeta umjeravanja ili moguće zagrijavanje pod napajanjem. Trajanje zagrijavanja može varirati ovisno o osobnom iskustvu ili specifikacijama proizvođača. Umjeravanje se treba provesti pri konstantnoj temperaturi okoline, s preporučenom varijacijom od 1 K. Potrebno je također razmotriti dodatni doprinos nesigurnosti kada se koriste maksimalne granice tolerancije; temperatura tijekom ovog postupka treba biti unutar raspona od 18 °C do 28 °C i mora biti zabilježena.

1.2.1.4.4. Metoda umjeravanja

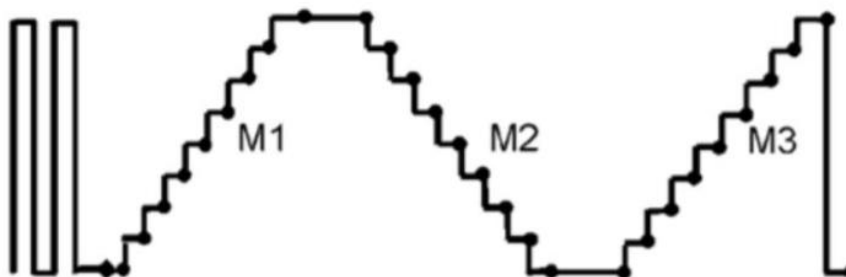
Manometar treba umjeriti kao cjelinu, uključujući cijeli mjerni lanac, ako je to izvedivo. Ako nije dovoljno poznato ponašanje predmeta umjeravanja u pogledu utjecaja zakretnog momenta tijekom montaže, ponovljivost se mora procijeniti dodatnim stezanjem. U takvim slučajevima vrijednost zakretnog momenta treba se dokumentirati. Važno je uzeti u obzir željeni položaj ugradnje. Razlika u visini između referentnih visina etalona i predmeta umjeravanja treba biti minimalna ili se mora izračunati korekcija. Na zahtjev, dodatni utjecaji poput temperature iz daljnjih mjerenja mogu se uzeti u obzir. Umjeravanje mjerača tlaka zahtijeva određene korake. Vrijeme predopterećenja pri maksimalnoj vrijednosti i vrijeme između dva predopterećenja treba biti najmanje 30 sekundi. Nakon postizanja stabilnih uvjeta, indikacija predmeta umjeravanja postavljena je na nulu, uz preduvjet da to podržava predmet umjeravanja. Očitavanje nule provodi se odmah nakon toga. Varijacije koraka tlaka tijekom niza mjerenja zahtijevaju jednakost vremena između dva uzastopna koraka opterećenja od najmanje 30 sekundi. Također, očitavanje se ne smije izvesti prije 30 sekundi nakon početka promjene tlaka. Umjeravanje treba biti provedeno na jednakim mjernim točkama unutar raspona umjeravanja. Očitavanja se trebaju uzimati prije i poslije vremena čekanja, pri čemu se nulto očitavanje na kraju niza mjerenja provodi najranije 30 sekundi nakon potpunog rasterećenja. U ovisnosti o željenoj mjernoj nesigurnosti razlikuju se tri metode umjeravanja. To su: metoda A, metoda B i metoda C. Prikazane su u Tablici 1.

Tablica 1. Metode umjeravanja [6]

Metoda	Željena mjerna nesigurnost (u % mjernog raspona)	Minimalni broj mjernih točaka, uključujući nulu (uzlazno/silazno)	Broj predopterećenja	Promjena opterećenja + vrijeme čekanja, [s]	Vrijeme čekanja na gornjoj vrijednosti mjernog područja, [min]	Broj mjernih serija	
						Uzlazno	Silazno
A	< 0,1	9	3	> 30	2	2	2
B	0,1 - 0,6	9	2	> 30	2	2	1
C	> 0,6	5	1	> 30	2	1	1

U ovom završnom radu koristi se metoda B. Shematski prikaz metode B prikazan je na Slici 2.

Metoda B



Slika 2. Metoda B [6]

1.2.2. EURAMET (European Association of National Metrology Institutes – Europsko udruženje nacionalnih mjeriteljskih instituta)

1.2.2.1. Općenito

EURAMET (Europsko udruženje nacionalnih mjeriteljskih instituta), prije poznat kao EUROMET (European Collaboration in Measurement Standards – Europska suradnja u mjeriteljskim standardima) predstavlja suradnički savez nacionalnih metroloških organizacija iz država članica Europske unije (EU) i Europske organizacije za slobodnu trgovinu (EFTA – European Free Trade Association), čija je svrha postizanje veće učinkovitosti koordinacijom i dijeljenjem metroloških aktivnosti i usluga [8]. EUROMET je osnovan u Madridu, Španjolska, 23. rujna 1987. godine i postao je operativan 1. siječnja 1988. EURAMET je osnovan 11. siječnja 2007. godine u Berlinu [8]. Pravno je registriran kao tvrtka prema njemačkom zakonu s uredima u Braunschweigu, a 1. srpnja 2007. preuzeo je ulogu EUROMET-a kao Regionalne metrološke organizacije [8]. EURAMET koordinira metrološke aktivnosti na europskoj razini, surađujući prema potrebi s Međunarodnom

organizacijom za zakonsko mjeriteljstvo (OIML – International Organization of Legal Metrology) i Međunarodnim uredom za utege i mjere (BIPM, fra. Bureau International des Poids et Mesures) [8]. Među objavljenim radovima EURAMET-a nalaze se različiti vodiči za umjeravanje, tehnički priručnici te brošure o vremenskim zonama u Europi. EURAMET je ključna organizacija koja igra značajnu ulogu u poboljšanju metroloških standarda i praksi diljem Europe. Kroz suradnju nacionalnih metroloških instituta, EURAMET doprinosi povećanju preciznosti i pouzdanosti mjerenja, što pozitivno utječe na industriju, znanost, te društvo u cjelini. Kontinuirano ulaganje u metrološka istraživanja i jačanje suradnje unutar EURAMET-a bit će od ključno za buduće inovacije i razvoj na području metrologije.

1.2.2.2. Cilj

Cilj EURAMET-a je [9]:

- razviti ključna partnerstva
- povećati utjecaj rada i predvidjeti trendove na tržištu i potrebe na temelju analize predviđanja
- razumjeti stvarne potrebe i vizije članova te imati uključujući pristup svim potrebama članova
- podržavati sve članove i suradnike u postizanju njihovih vlastitih ciljeva, uzimajući u obzir postojeću raznolikost, ali uravnotežujući s općim europskim potrebama
- povećati mogućnost suradnje i dijeljenja resursa/objekata radi međusobne koristi i konvergentnog razvoja
- poticati razvoj stabilnog nacionalnog okvira za metrologiju putem odgovarajuće uključenosti ključnih sudionika u metrologiji, kao i podršku izvrsnosti u metrologiji kao pokretačkoj sili
- povećati učinkovitost i efikasnost CIPM (Comité International des Poids et Mesures – Međunarodni odbor za utege i mjere) /MRA (Mutual Recognition Arrangement – Sporazum o međusobnom priznavanju)
- utjecati na Zajednički odbor Regionalne metrološke organizacije (Joint Committee of the Regional Metrology Organisation) u bliskoj suradnji s drugim RMO-ima (Regional Metrology Organisation – Regionalna metrološka organizacija) kako bi se optimizirali procesi i upravljanje CIPM MRA
- ojačati suradnju s Europskom suradnjom za akreditaciju (European Co-operation for Accreditation – EA) u područjima zajedničkog interesa povezanog akreditacijom
- suradnja s EC (European Commission – Europska komisija) u provedbi tehničkih

1.2.2.3. EURAMET smjernice

EURAMET e.V. (njem. eingetragener Verein – registrirano udruženje) podržava međunarodnu harmonizaciju tehničkih postupaka u području metrologije te potiče korištenje svojih vodiča za umjeravanje i tehničkih smjernica od strane drugih organizacija, poput nacionalnih metroloških instituta, regionalnih metroloških organizacija, nacionalnih akreditacijskih tijela ili regionalnih akreditacijskih organizacija izvan Europe [10]. Neki vodiči obrađuju umjeravanje elektromehaničkih i mehaničkih manometara te pružaju korisnicima elektromehaničkih i mehaničkih manometara osnove potrebne za uspostavljanje i primjenu postupaka umjeravanja u tom području.

2. PREGLED STATISTIČKIH METODA ZA OCJENU REZULTATA UMJERAVANJA

Kako bi se procijenila preciznost i pouzdanost mjerenja ključno je primijeniti statističke metode za ocjenu rezultata umjeravanja. Važno je prilagoditi pristup specifičnostima mjerenja i postaviti ih u kontekst potreba i normi relevantnih industrijskih sektora. Neke od statističkih metoda za ocjenu rezultata umjeravanja dane su u Tablici 2.

Tablica 2. Pregled nekih statističkih metoda za ocjenu rezultata umjeravanja [11]

razlika	D	$D = (x - X)$	x – rezultat sudionika X – dodijeljena vrijednost
postotna razlika	$D_{\%}$	$D_{\%} = \frac{(x - X)}{X} \times 100$	
z vrijednost	z	$z = \frac{(x - X)}{\hat{\sigma}}$	$\hat{\sigma}$ – standardno odstupanje ocjenjivanja sposobnosti
z' vrijednost	z'	$z' = \frac{(x - X)}{\sqrt{\hat{\sigma}^2 + u_x^2}}$	u_x – mjerna nesigurnost dodijeljene vrijednosti
zeta vrijednost	ζ	$\zeta = \frac{(x - X)}{\sqrt{u_x^2 + u_x^2}}$	u_x – procjena mjerne nesigurnosti sudionikovog rezultata x
E_n broj	E_n	$E_n = \frac{(x - X)}{\sqrt{U_x^2 + U_x^2}}$	U_x – proširena mjerna nesigurnost dodijeljene vrijednosti X (utvrđena u referentnom laboratoriju) U_x – proširena mjerna nesigurnost sudionikovog rezultata x
E_z vrijednost	E_z	$E_{z-} = \frac{x - (X - U_x)}{U_x}$ $E_{z+} = \frac{x - (X + U_x)}{U_x}$	

U ovom završnom radu koristit će se statistička metoda koja uključuje izračun E_n broja.

3. IZRAČUN EFEKTIVNOG TLAKA TLAČNE VAGE

3.1. Osnovna jednađba za izračun tlaka

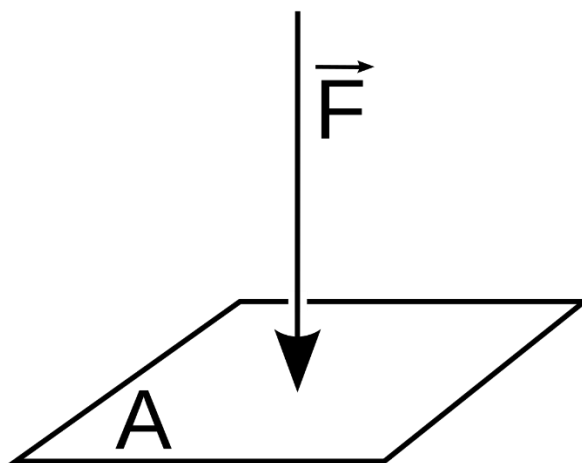
Tlak je fizikalna veličina (znak p) koja opisuje djelovanje sile na površinu (pritisak), određena je omjerom sile F , koja djeluje okomito na površinu ploštine A , dakle [12]:

$$p = \frac{F}{A} \quad (1)$$

p – tlak, [Pa]

F – sila na površinu, [N]

A – površina, [m²]



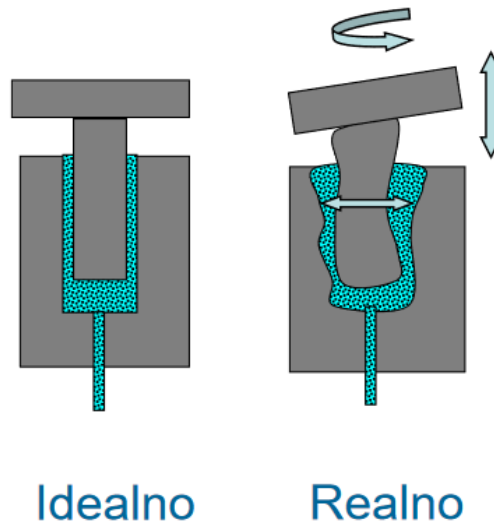
Slika 3. Vizualna ilustracija osnovne jednađbe za izračun tlaka [13]

Mjerna jedinica tlaka je paskal (znak Pa) ili njutn po metru kvadratnom (N/m²). Osim paskala može se upotrebljavati i mjerna jedinica tlaka bar (1 bar = 10⁵ Pa) [12]. Važno je napomenuti da se ova jednađba odnosi na idealni sustav, a u realnom sustavu sklopa tlačne vage klip/cilindar postoje odstupanja od idealnog sustava kao što se vidi na slici 4.

Razlozi tome su [14]:

- Dinamička ravnoteža
- Rotacija klipa
- Nesavršena geometrija
- Uzgonsko djelovanje zraka
- Elastična deformacija
- Površinska napetost

- Temperaturno širenje



Slika 4. Usporedba idealnog i realnog sklopa tlačne vage klip/cilindar [14]

3.2. Efektivni tlak tlačne vage (uz korekcije)

Proračun efektivnog tlaka tlačne vage (Slika 5.) zasniva se na osnovnoj jednadžbi za izračun tlaka (1), uzimajući u obzir bitne korekcije koje se odnose na [15]:

1. Površinu (temperaturno rastezanje klipa i cilindra, te njihova elastična deformacija uslijed djelovanja tlaka)
2. Silu (različito gravitacijsko ubrzanje, uzgonsko djelovanje zraka i radnog fluida, površinska napetost radnog fluida i razlika u visini stupca fluida)
3. Tlak okoline (korekcije ovisne o režimu rada: pretlak ili apsolutni tlak)



Slika 5. Tlačna vaga [16]

3.2.1. Korekcija površine

Jednadžba za korekciju površine:

$$A_{\text{ef}} = A_0(20; 0) \cdot [1 + (\alpha_p + \alpha_c)(\vartheta - 20 \text{ }^\circ\text{C})] \cdot (1 + \lambda \cdot p_{\text{ef}}) \quad (2)$$

A_{ef} – efektivna površina pri efektivnom tlaku, [m²]

A_0 – efektivna površina pri 20 °C i nultom tlaku, daje ju proizvođač, [m²]

α_p – koeficijent temperaturne ekspanzije klipa, [°C⁻¹]

α_c – koeficijent temperaturne ekspanzije cilindra, [°C⁻¹]

ϑ - temperatura sklopa za vrijeme ispitivanja, [°C]

λ – koeficijent distorzije, [bar⁻¹]

p_{ef} – efektivni iznos tlaka generiran u sklopu, [bar]

3.2.2. Korekcija sile

U općem slučaju, korekcija sile kojom utezi djeluju na tlačnu vagu obuhvaća sljedeće:

korekciju zbog uzgonskog djelovanja zraka i radnog medija, korekciju zbog statičkog tlaka stupca fluida, korekciju zbog površinske napetosti radnog medija te korekciju zbog varijacije vrijednosti gravitacijske konstante [15].

$$F = \left\{ \sum_i \left[m_i \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_{m_i}} \right) \right] + (hA_0 - V) \cdot (\rho_f - \rho_a) \right\} \cdot g \cdot \cos \theta + \Gamma \cdot c \quad (3)$$

m_i – prava masa i-tog utega postavljenog na sklop, [kg]

ρ_a – gustoća zraka okoline, [kg/m³]

ρ_{m_i} - gustoća i-tog utega, [kg/m³]

h - razlika u visini između etalonskog i ispitivanog sklopa, [m]

V – volumen za koji se radi korekcija zbog uzgonskog djelovanja fluida, [m³]

ρ_f – gustoća radnog medija, [kg/m³]

g – iznos lokalnog gravitacijskog ubrzanja, [m/s²]

θ - kut nagiba osi klipa u odnosu na vertikalu, [°]

Γ – opseg klipa, [m]

c - površinska napetost radnog medija, [N/m]

Uvrštavanjem jednadžbi (2) i (3) u jednadžbu (1) dobiva se općenita jednadžba za računanje efektivnog tlaka tlačne vage (4):

$$p_e = \frac{\left\{ \sum_i \left[m_i \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_{m_i}} \right) \right] + (hA_0 - V) \cdot (\rho_f - \rho_a) \right\} \cdot g \cdot \cos \theta + \Gamma \cdot c}{A_0(20; 0) \cdot [1 + (\alpha_p + \alpha_c)(\vartheta - 20 \text{ }^\circ\text{C})] \cdot (1 + \lambda \cdot p_{ef})} \quad (4)$$

U ovom završnom radu zanemarena je korekcija uzgonskog djelovanja i površinske napetosti radnog medija, budući da je korišten čisti dušik kao radni medij, čija je gustoća vrlo slična gustoći zraka pri atmosferskom tlaku. Također, s obzirom na to da je os klipa paralelna s vertikalom, nema razlike u visinama između etalonskog i ispitivanog sklopa. S obzirom na navedena zanemarivanja, jednadžba (4) prelazi u jednadžbu (5):

$$p_e = \frac{\left\{ \sum_i \left[m_i \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_{m_i}} \right) \right] \right\} \cdot g}{A_0(20; 0) \cdot [1 + (\alpha_p + \alpha_c)(\vartheta - 20 \text{ }^\circ\text{C})] \cdot (1 + \lambda \cdot p_{ef})} \quad (5)$$

4. MJERNA NESIGURNOST

4.1. Definicija

Mjerna nesigurnost je parametar pridružen rezultatu mjerenja koji opisuje rasipanje vrijednosti koje bi se razumno mogle pripisati mjerenoj veličini, uz određenu vjerojatnost. Mjerenja nisu savršena kako zbog djelovanja slučajnih utjecaja (trenutna promjena temperature, tlaka i vlage ili neiskustvo mjeritelja, nesavršenost uređaja i osjetila) tako i zbog ograničenih mogućnosti korekcije sustavnih djelovanja (promjena karakteristike instrumenta između dva umjeravanja, utjecaj mjeritelja pri očitavanju analogne skale, nesigurnost vrijednosti referentnog etalona itd.). Mjerna nesigurnost je upravo posljedica djelovanja slučajnih utjecaja i ograničenih mogućnosti korekcije sustavnih djelovanja [17].

4.2. Procjena mjerne nesigurnosti

Mjerna nesigurnost se procjenjuje na 2 načina:

1. Tip A – procjenjuje se statističkim metodama
2. Tip B – procjenjuje se na temelju prethodnog iskustva, specifikacija proizvođača, podataka iz umjernica

4.2.1. Tip A

Standardna mjerna nesigurnost (u) je eksperimentalno standardno odstupanje srednje vrijednosti.

- Srednja vrijednost (aritmetička sredina):

$$\bar{q} = \frac{1}{n} \sum_{K=1}^n q_K \quad (6)$$

\bar{q} – aritmetička sredina

q_K – pojedini članovi skupa

n – ukupan broj članova u skupu

$\sum_{K=1}^n$ – suma svih članova od $K = 1$ do $K = n$

- Standardna devijacija:

$$s(q_k) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{K=1}^n (q_k - \bar{q})^2} \quad (7)$$

- Standardna devijacija srednje vrijednosti:

$$u = s(\bar{q}) = \frac{s(q_k)}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum(q_k - \bar{q})^2}{n(n-1)}} \quad (8)$$

4.2.2. Tip B

U mnogim slučajevima mogu se navesti donje i gornje granice (a_+ i a_-) za vrijednost veličine, pri čemu se sve vrijednosti unutar granica mogu smatrati jednako vjerojatnim [6].

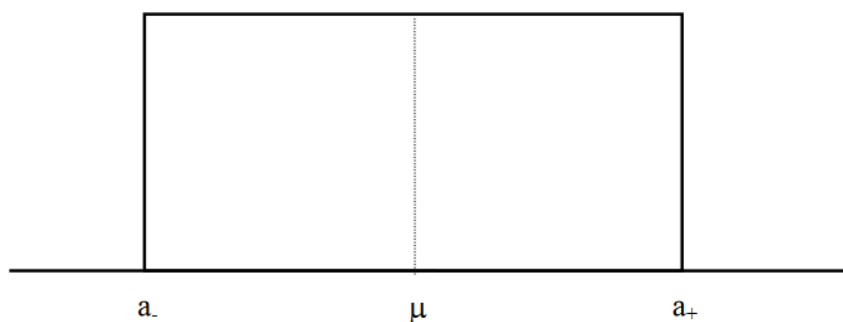
Razdiobe koje se koriste pri izračunu mjerne nesigurnosti tipa B su:

- Pravokutna:

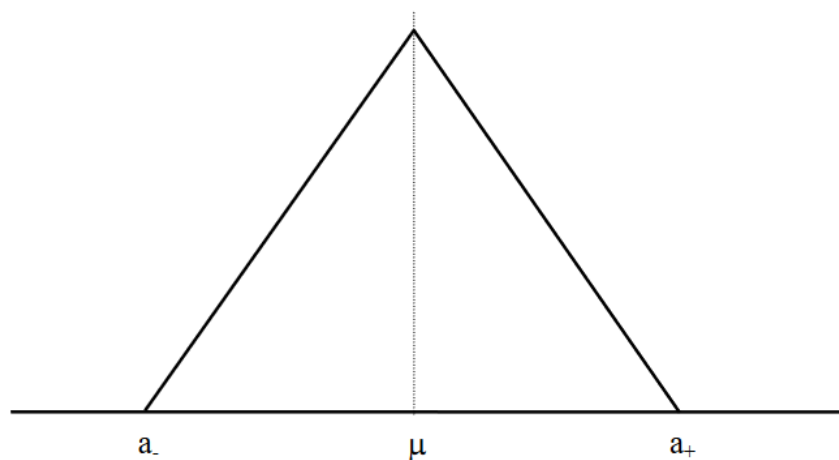
$$u = \frac{a}{\sqrt{3}} \quad (9)$$

- Trokutasta:

$$u = \frac{a}{\sqrt{6}} \quad (10)$$



Slika 6. Pravokutna razdioba [17]



Slika 7. Trokutasta razdioba [17]

5. PROTOKOL MEĐULABORATORIJSKE USPOREDBE ZA TLAK DO 2 MPa

5.1. Tehnički protokol za međulaboratorijsku usporedbu rezultata mjerenja tlaka na plinskim tlačnim vagama u rasponu do 2 MPa

Tehnički protokol sastavlja pilot laboratorij u dogovoru sa sudionicima usporedbe. Za osiguranje visoke kvalitete mjerenja važno je strogo se pridržavati protokola. Prema smjericama EURAMET-a, tehnički protokol trebao bi obuhvaćati sljedeće podatke [18]:

- uvod u temu i točnu definiciju mjernih veličina u usporedbi
- opis sheme/topologije usporedbe
- provjeru stabilnosti prijenosnih standardnih uređaja mjerenjem standarda na početku i na kraju u istom laboratoriju
- vremenski raspored, posebice datum početka i predviđeni datum završetka usporedbe
- opis prijenosnih standardnih uređaja: proizvod, vrstu, serijski broj, tehničke podatke potrebne za rad, izjava o stabilnosti itd.
- savjete za rukovanje i organiziranje transporta prijenosnog standarda
- ispitivanje koje treba provesti prije mjerenja
- rukovanje prijenosnim standardnim uređajem pri primitku i tijekom mjerenja
- opis korištene metode umjeravanja, mjernih uvjeta i umjeravanih točaka
- prikaz rezultata
- popis glavnih sastavnica proračuna mjerne nesigurnosti
- tablični prikaz rezultata mjerenja
- raspored za priopćavanje rezultata
- načelo vrednovanja rezultata i način povezivanja s odgovarajućim ključnim referentnim vrijednostima za usporedbu
- financijske aspekte, npr. putni troškovi ili troškovi za prijenos standarda
- upućivanje na korisne dokumente.

5.2. Tehnički protokol za međulaboratorijske usporedbe do 2 MPa proveden između Laboratorija za procesna mjerenja i sudjelujućih laboratorija

5.2.1. Uvod

Laboratorij za procesna mjerenja na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu (FSB-

LPM) definirao je tehnički protokol međulaboratorijske usporedbe između njega i zainteresiranih umjernih laboratorija. Usporedba je obuhvaćala postupak usporedbenog umjeravanja mjerila tlaka koja koriste plin kao tlačni medij u području pretlaka od 0 bar do 20 bar. Nakon provedbe umjeravanja u svim sudioničkim laboratorijima koordinator usporedbe analizirao je i usporedio dobivene rezultate. Koordinator ove usporedbe bio je Laboratorij za procesna mjerenja na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu (FSB-LPM) koji djeluje kao Nacionalni umjerni laboratorij (NUL) za tlak u Republici Hrvatskoj. Prijenosne etalone za usporedbu osigurao je FSB-LPM. Ovim protokolom opisani su ciljevi usporedbe, organizacija i postupci kojih su se sudionici morali pridržavati tijekom provedbe mjerenja, analize rezultata i izvještavanja.



Slika 8. Mjerna linija Laboratorija za procesna mjerenja na Fakultetu strojarstva i brodogradnje

5.2.2. Organizacija

5.2.2.1. Koordinator

Tablica 3. Podatci o koordinatoru

Laboratorij	Adresa	Kontakt osoba
Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Laboratorij za procesna mjerjenja	Ivana Lučića 5, HR-10000 Zagreb	

- Koordinator je sudionicima na raspolaganje dao pretvornik tlaka FLUKE (0 bar do 20 bar) koji se koristio isključivo kao prijenosni etalon, prikazan je na Slici 8.
- Koordinator je proveo umjeravanja prijenosnog etalona u skladu s vlastitim akreditiranim umjernim postupkom i definiranim tehničkim protokolom.
- Nakon provedbe umjeravanja prijenosnog etalona, koordinator je o tome obavijestio sudionički laboratorij koji je bio sljedeći na rasporedu za provedbu umjeravanja.
- Na temelju rezultata umjeravanja dostavljenih od strane svih laboratorija sudionika, koordinator je proveo analizu rezultata usporedbe i izradio izvješće o usporedbi.



Slika 9. Prijenosni etalon FLUKE [19]

5.2.2.2. Sudionici usporedbe

Podatci o laboratoriju koje je bilo potrebno dostaviti:

Naziv laboratorija:

Adresa:

Kontakt osoba:

Telefon:

e-mail:

- Sudionici su proveli umjeravanja prijenosnog etalona u skladu s vlastitim akreditiranim umjernim postupcima i definiranim tehničkim protokolom.
- Nakon što je proveo umjeravanje prijenosnog etalona, pojedini sudionik usporedbe je o tome obavijestio koordinatora te mu poslao rezultate umjeravanja.
- Nakon što je proveo umjeravanje prijenosnog etalona, pojedini sudionik usporedbe je organizirao transport prijenosnog etalona u sljedeći sudionički laboratorij ili ga je vratio koordinatoru.

5.2.2.3. *Vremenski raspored*

Planirano je da su se umjeravanja prijenosnog etalona u sudioničkim laboratorijima provela tijekom prosinca 2023. i siječnja 2024. godine, pri čemu su se umjeravanja najprije provela u FSB-LPM-u, te zatim u laboratorijima sudionicima. Kako bi se odredilo klizanje prijenosnog etalona, FSB-LPM je na kraju usporedbe ponovio njegovo umjeravanje. Predviđeno trajanje umjeravanja u pojedinom sudioničkom laboratoriju bilo je jedan tjedan. Ako je to bilo moguće, potrebno je bilo izbjegavati dugotrajna mjerenja. Ako iz bilo kojeg razloga laboratoriji sudionici nisu mogli umjeravanja provesti u predviđenom terminu (npr. zbog kvara opreme), potrebno je bilo o tome obavijestiti koordinatora, nakon čega bi se dogovorio novi raspored i termin umjeravanja.

5.2.2.4. *Transport i rukovanje prijenosnim etalonima*

Prijenosni etalon transportirao se isključivo u transportnoj kutiji predviđenoj za tu namjenu. Prilikom primitka prijenosnog etalona i pripadne opreme, potrebno ih je bilo pažljivo pregledati kako bi se utvrdilo da nisu bili oštećeni. Prijenosnim etalomom smjelo je rukovati isključivo osoblje laboratorija koje je za to osposobljeno.

5.2.3. *Opis prijenosnog etalona*

Tablica 4. Podatci o prijenosnom etalonu

Pretvornik tlaka
Proizvođač: FLUKE
Model: 2700G
Rezolucija: 0,001 bar
Priključak: ¼ NPT muški

Svi prijenosni etaloni i pripadna oprema su zahtijevali pažljivo rukovanje. Kada nisu bili u upotrebi instrumente je bilo potrebno odložiti na sigurno mjesto.

5.2.4. Upute za provedbu umjeravanja

Sudionici su usporedbena umjeravanja proveli u skladu s vlastitim akreditiranim umjernim postupcima, u rasponu od 0 bar do 20 bar. Umjeravanja je bilo potrebno provesti u nominalnim točkama:

0 bar,
2 bar,
4 bar,
6 bar,
8 bar,
10 bar,
14 bar,
18 bar,
20 bar.

Ako sudionik nije raspolagao opremom potrebnom za provedbu umjeravanja u svim navedenim nominalnim točkama ili nije imao potrebu za usporedbom u cijelom navedenom rasponu, umjeravanje je mogao provesti u onim od navedenih točaka koje su mu bile od interesa i za koje je raspolagao potrebnom opremom. Nakon provedbe umjeravanja sudionici usporedbe su pripadne rezultate poslali koordinatoru u obliku Potvrde o umjeravanju. Na temelju primljenih rezultata i rezultata vlastitih umjeravanja FSB-LPM je proveo analizu i utvrdio razinu podudaranja rezultata.

Dodatne napomene:

Prije umjeravanja sudionici su pregledali prijenosni etalon radi utvrđivanja eventualnih oštećenja. Sudionici usporedbe nisu mijenjali postavke pokazne jedinice prijenosnog etalona.

5.2.5. Mjerna nesigurnost

Nesigurnost umjeravanja potrebno je bilo odrediti u skladu s vlastitim akreditiranim postupcima i smjernicama ISO “Evaluation of measurement data – Guide to expression of uncertainty in measurement”, “JCGM 100:2008, GUM 1995 with minor corrections” i “EA-4/02 (EA, 2022)”. Ako je bilo potrebno za analizu rezultata, sudionici usporedbe su koordinatoru poslali popunjene proračune nesigurnosti za predmetno umjeravanje.

5.2.6. Izvještavanje i analiza rezultata usporedbe

Rezultate umjeravanja potrebno je bilo poslati kontakt osobi laboratorija koordinatora, poželjno unutar jednog tjedna od završetka umjeravanja.

Kao kriterij za ocjenu razine podudaranja koristila se vrijednost normalizirane pogreške E_n :

$$E_n = \left| \frac{E_{\text{FSB-LPM}} - E_{\text{LABX}}}{\sqrt{U_{\text{FSB-LPM}}^2 + U_{\text{LABX}}^2}} \right| \quad (11)$$

$E_{\text{FSB-LPM}}$ - odstupanje FSB-LPM, [bar]

E_{LABX} - odstupanje umjeravanog laboratorija, [bar]

$U_{\text{FSB-LPM}}$ - mjerna nesigurnost FSB-LPM, [bar]

U_{LABX} - mjerna nesigurnost umjeravanog laboratorija, [bar]

Razlike u rezultatima umjeravanja prijenosnog etalona ($E_{\text{FSB-LPM}} - E_{\text{LABX}}$) odredile su se njihovim svođenjem na iste referentne tlakove, pri čemu se koristio interpolacijski polinom koje je FSB-LPM odredio metodom najmanjih kvadrata na temelju vlastitih rezultata umjeravanja. Na temelju svih prikupljenih podataka FSB-LPM je izradio izvještaj o međulaboratorijskoj usporedbi ili, prema dogovoru, izdao Potvrdu o provedenoj bilateralnoj usporedbi. U okviru analize rezultata usporedbe, rezultati umjeravanja provedenih u FSB-LPM-u smatrali su se referentnima te su se eventualna odstupanja sudionika odredila u odnosu na referentne vrijednosti. Klizanje prijenosnog etalona odredilo se kao razlika odstupanja utvrđena ponovljenim umjeravanjem u laboratoriju FSB-LPM.

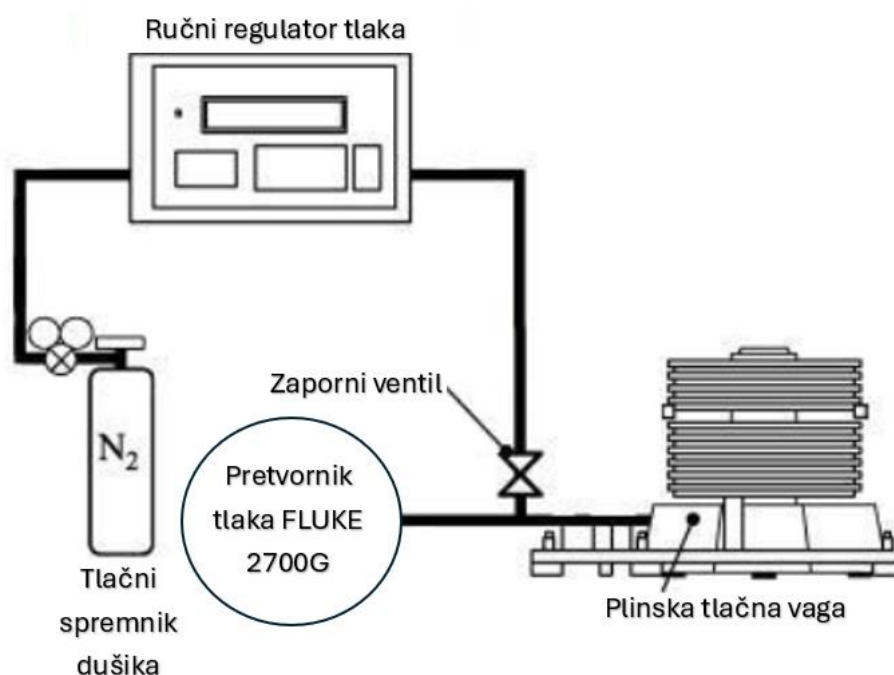
6. ANALIZA I PRIKAZ REZULTATA PROVEDENIH UMJERAVANJA

6.1. Početno mjerenje

Početno mjerenje za međulaboratorijsku usporedbu provedeno je u Laboratoriju za procesna mjerenja na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu koji je ujedno i koordinator usporedbe. Prije početka mjerenja zabilježeni su mjernim uređajem okolišni uvjeti, nalaze se u tablici 5. Također, rastavio se sklop klip-cilindar plinske tlačne vage koji se očistio od kontaminacija posebnim papirom kako bi se uklonile minimalne smetnje u radu uređaja. Važno je napomenuti da su se tijekom rastavljanja sklopa i ponovnog sastavljanja dijelovi uređaja progrijali. Zatim su se spojili svi dijelovi mjerne linije i izvelo se predopterećenje kako bi se osiguralo da je uređaj spreman za mjerenje. Shema mjerne linije prikazana je na slici 9.

Tablica 5. Okolišni uvjeti

Temperatura, [°C]	20±1
Tlak, [mbar]	996±2
Relativna vlažnost, [%]	55±2

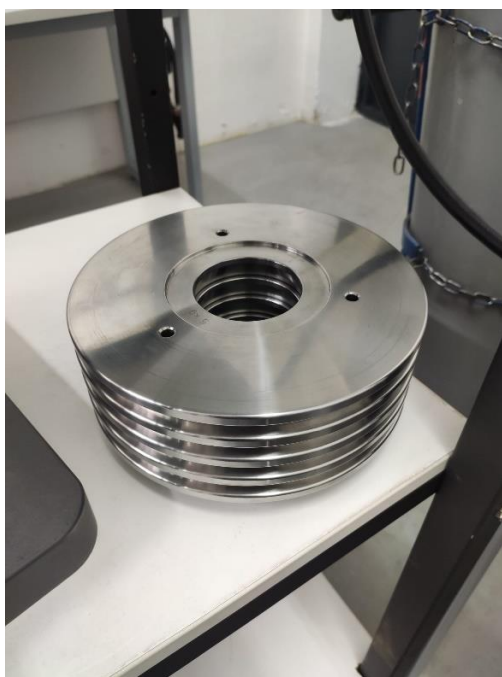


Slika 10. Shema mjerne linije – FSB-LPM

Različitim kombinacijama utega koji se postavljaju na tlačnu vagu simuliraju se željeni različiti tlakovi. Za svaku točku željeni tlak se namješta regulatorom tlaka koji je spojen na spremnik dušika određene čistoće. Očitavanja koja pokazuje pretvornik tlaka FLUKE 2700G bilježe se na papir.

Tablica 6. Podatci o utezima

	Oznaka na utegu	Masa utega m , [g]	Nesigurnost mase u_m , [g]	Nominalni tlak p_n , [bar]	Gustoća utega ρ_m , [kg/m ³]	Nesigurnost gustoće utega u_{ρ_m} , [kg/m ³]
	o.u.	199,999	0,0020	0,400	10080,0	75
	dodatak	299,979	0,0200	0,600	10080,0	75
	dodatak	0,000	0,0000	0,000	7975,0	75
original utezi	1	100,002	0,0080	0,200	7975,0	75
	2	200,004	0,0150	0,400	7975,0	75
	3	199,990	0,0150	0,400	7975,0	75
	4	499,991	0,0150	1,000	7975,0	75
	5	1000,006	0,0200	2,000	7975,0	75
	6	2000,014	0,0250	4,001	7975,0	75
	7	2000,016	0,0250	4,001	7975,0	75
	8	4500,023	0,0340	9,002	7975,0	75
	9	5000,028	0,0400	10,002	7975,0	75
	10	5000,027	0,0400	10,002	7975,0	75
	11	5000,024	0,0400	10,002	7975,0	75
	12	5000,035	0,0400	10,003	7975,0	75
	13	5000,027	0,0400	10,002	7975,0	75



Slika 11. Utezi u Laboratoriju za procesna mjerenja na Fakultetu strojarstva i brodogradnje

Kombinacije utega koji su korišteni za svaku mjernu točku prikazani su u Tablici 7.

Tablica 7. Kombinacije utega

Slak etalona, [bar]	Kombinacija utega
0	-
2	Osnovni uteg + uteg broj 4
4	Osnovni uteg + utezi broj: 4, 5
6	Osnovni uteg + utezi broj: 4, 6
8	Osnovni uteg + utezi broj: 4, 5, 6
10	Osnovni uteg + uteg broj 8
14	Osnovni uteg + utezi broj: 6, 8
18	Osnovni uteg + utezi broj: 6, 7, 8
20	Osnovni uteg + utezi broj: 5, 6, 7, 8

Tablica 8. Podatci o etalonu DHI (do 70 bar)

Podaci o etalonu (iz umjernice)	Oznaka	Iznos	Jedinica	Nesigurnost ($k = 2$)
Efektivna površina	A_0	$4,901912 \cdot 10^{-5}$	m^2	$7,80 \cdot 10^{-10}$
Koeficijent distorzije	λ	$-3,400000 \cdot 10^{-7}$	bar^{-1}	$1,10 \cdot 10^{-7}$
Volumen za koji se radi korekcija	V	0,000000	m^3	0,5
Gustoća dušika	ρ_N	-	kg/m^3	-
Ubrzanje sile teže za LPM	g	9,806218	m/s^2	0,00002
Opseg klipa	Γ	$2,481290 \cdot 10^{-2}$	m	0
Koeficijent temperaturne ekspanzije	α_{p+c}	$9,00 \cdot 10^{-6}$	$^{\circ}C^{-1}$	$1,00 \cdot 10^{-6}$

6.1.1. Rezultati početnog mjerenja

Mjerenje je provedeno prema metodi B iz DKD-R 6-1 uputa za umjeravanje. Vrijednosti očitavanja prikazane su u tablici 9.

Tablica 9. Vrijednosti očitavanja FSB-LPM

Broj ispitnih točaka	Tlak etalona p_e , [bar]	Pokazivanje mjerila		
		Uzlazno, [bar]	Silazno, [bar]	Uzlazno, [bar]
1	0,0000	0,000	0,000	0,000
2	2,0002	1,999	2,000	2,000
3	4,0005	3,999	4,000	4,000
4	6,0008	5,999	6,000	6,000
5	8,0010	8,000	8,000	8,000
6	10,0013	10,000	10,001	10,001
7	14,0019	14,000	14,000	14,000
8	18,0025	17,999	18,000	17,999
9	20,0028	19,999	19,999	19,999

U nastavku je dan primjer proračuna mjerne nesigurnosti za jednu mjernu točku, a za ostale točke koristi se ista procedura proračuna mjerne nesigurnosti.

Tablica 10. Primjer proračuna mjerne nesigurnosti za mjernu točku 20 bar

Točka 9	$(p_9 = 20,003 \text{ bar})$				
Utjecajna veličina	Izvor	Podaci	Vrijednost u bar/mbar	Faktor	u^2 u bar ²
Etalon	iz umjernice	0,00100014	0,00100014	0,5	0,00000025
Etalon pod uvjetima ispitivanja	iz mjerenja	0,00044006	0,00044006	0,57737	0,00000006
Razlika visina	iz mjerenja	41,9215478	0,00041922	0,57737	0,00000006
Pojačalo	iz umjernice	0	0	0,5	0,00000000
Multimetar	iz umjernice	0	0	0,5	0,00000000
Razlučljivost (kod opružnih)	1/5 * podjela	0	0	0,57737	0,00000000
Razlučljivost (kod električnih)	Indikacija	0,001	0,001	0,2887	0,00000008
Odstupanje od nultočke	iz mjerenja	0,000	0,000	0,2887	0,00000000
Ponovljivost	iz mjerenja	0,000	0	0,2887	0,00000000
Histereza	iz mjerenja	0,000	0,000	0,2887	0,00000000
suma u^2					0,00000046
					$U_9 = 0,00135138$

Tablica 11. Rezultati FSB-LPM

Srednja vrijednost M , [bar]	Odstupanje $M - p_e$, [bar]	Ponovljivost b , [bar]	Histereza h , [bar]	Nesigurnost umjeravanja U , [bar]
0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0008
2,000	-0,0005	0,0010	0,0005	0,0010
4,000	-0,0008	0,0010	0,0005	0,0010
6,000	-0,0011	0,0010	0,0005	0,0010
8,000	-0,0010	0,0000	0,0000	0,0009
10,001	-0,0007	0,0010	0,0005	0,0011
14,000	-0,0019	0,0000	0,0000	0,0011
17,999	-0,0032	0,0000	0,0010	0,0014
19,999	-0,0038	0,0000	0,0000	0,0014

6.2. Rezultati sudjelujućih laboratorija

Tablica 12. Očitane vrijednosti LAB 1

Broj ispitnih točaka	Tlak etalona p_e , [bar]	Pokazivanje mjerila		
		Uzlazno, [bar]	Silazno, [bar]	Uzlazno, [bar]
1	0,000	0,000	0,000	0,000
2	2,000	2,008	2,010	2,005
3	4,000	4,001	4,007	4,005
4	6,000	6,006	6,005	6,004
5	8,000	8,005	8,004	8,004
6	10,000	10,005	10,007	9,996
7	14,000	14,002	14,005	13,995
8	18,000	18,000	18,000	17,989
9	20,000	20,002	20,001	19,986

Tablica 13. Rezultati LAB 1

Srednja vrijednost M , [bar]	Odstupanje $M - p_e$, [bar]	Ponovljivost b , [bar]	Histereza h , [bar]	Nesigurnost umjeravanja U , [bar]
0,000	0,0000	0,000	0,0000	0,01
2,008	0,0077	-0,003	0,0035	0,01
4,004	0,0043	0,004	0,0040	0,01
6,005	0,0050	-0,002	0,0000	0,01
8,004	0,0043	-0,001	0,0005	0,01

10,003	0,0027	-0,009	0,0065	0,01
14,001	0,0007	-0,007	0,0065	0,01
17,996	-0,0037	-0,011	0,0055	0,01
19,996	-0,0037	-0,016	0,0070	0,01

Tablica 14. Rezultati LAB 2

Odstupanje $M - p_e$, [bar]	Nesigurnost umjeravanja U , [bar]
0,0000	0,017
0,0000	0,017
0,0000	0,017
-0,0010	0,017
-0,0010	0,017
-0,0020	0,017
-0,0050	0,017
-0,0070	0,017
-0,0100	0,017

Tablica 15. Rezultati LAB 3

Odstupanje $M - p_e$, [bar]	Nesigurnost umjeravanja U , [bar]
-0,0010	0,030
-0,0005	0,030
0,0010	0,030
-0,0005	0,030
-0,0005	0,030
0,0010	0,030
0,0020	0,030
0,0035	0,030
0,0100	0,030

6.3. Analiza rezultata

Analizom rezultata uspoređuju se odstupanja, mjerne nesigurnosti i E_n vrijednosti u svakoj mjernoj točki prema sljedećem redoslijedu: FSB-LPM – LAB 1, FSB-LPM – LAB 2, FSB-LPM – LAB 3. Osnovni kriterij za prihvatljivost rezultata je E_n vrijednost:

- ako je $|E_n| < 1$, kriterij se prihvaća
- ako je $|E_n| > 1$, kriterij se ne prihvaća.

Prema prikazanim rezultatima svi laboratoriji su zadovoljili kriterij za prihvaćanje rezultata.

Tablica 16. Usporedba rezultata FSB-LPM/LAB 1

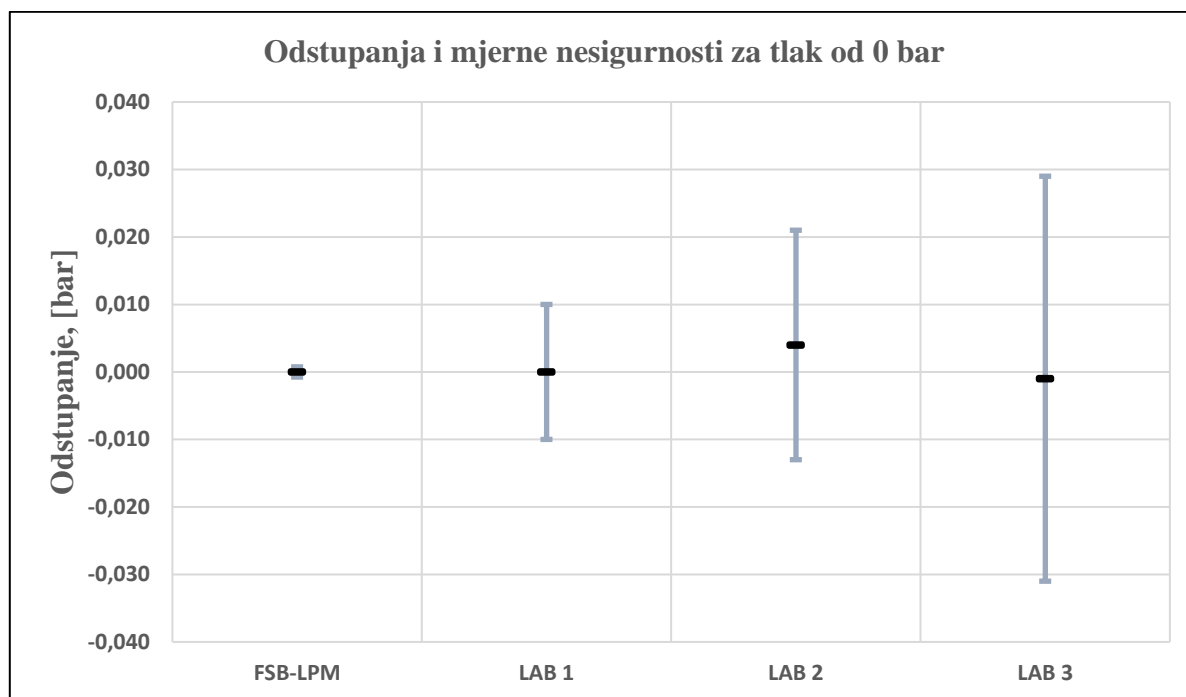
Tlak	Odstupanje $M - p_e$, [bar] FSB-LPM	Nesigurnost umjeravanja U , [bar] FSB-LPM	Odstupanje $M - p_e$, [bar] LAB 1	Nesigurnost umjeravanja U , [bar] LAB 1	E_n
0	0,0000	0,0008	0,0000	0,01	0,00
2	-0,0005	0,0010	0,0077	0,01	0,82
4	-0,0008	0,0010	0,0043	0,01	0,51
6	-0,0011	0,0010	0,0050	0,01	0,61
8	-0,0010	0,0009	0,0043	0,01	0,53
10	-0,0007	0,0011	0,0027	0,01	0,33
14	-0,0019	0,0011	0,0007	0,01	0,25
18	-0,0032	0,0014	-0,0037	0,01	0,05
20	-0,0038	0,0014	-0,0037	0,01	0,01

Tablica 17. Usporedba rezultata FSB-LPM/LAB 2

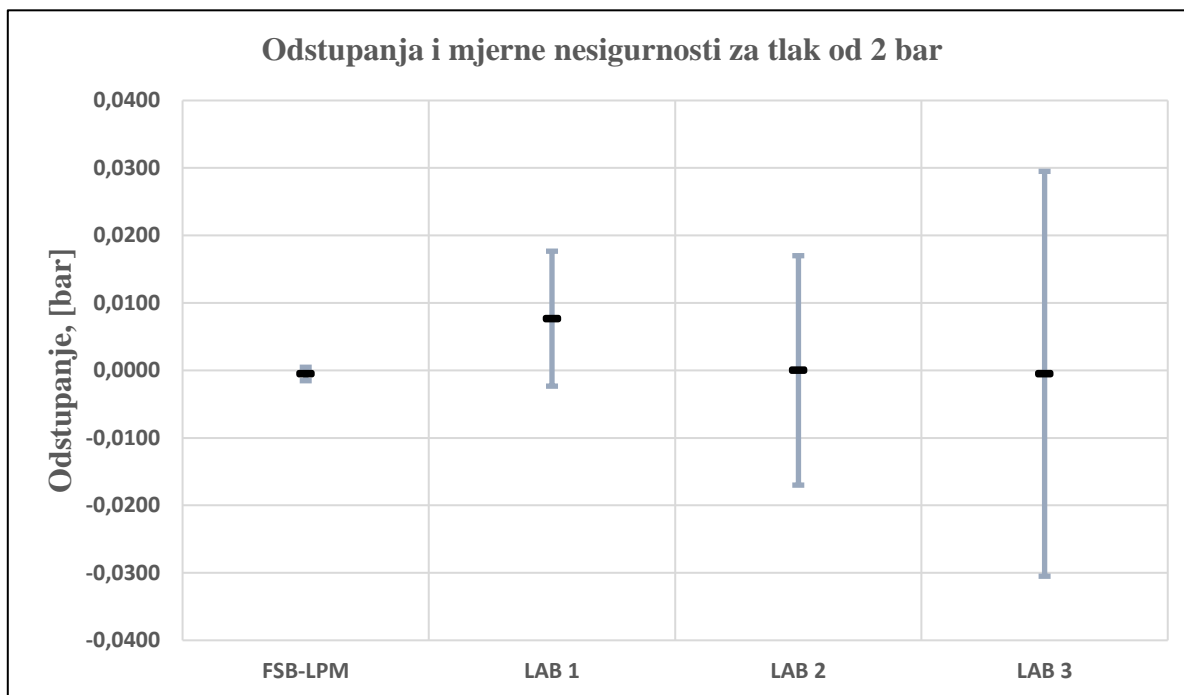
Tlak	Odstupanje $M - p_e$, [bar] FSB-LPM	Nesigurnost umjeravanja U , [bar] FSB-LPM	Odstupanje $M - p_e$, [bar] LAB 2	Nesigurnost umjeravanja U , [bar] LAB 2	E_n
0	0,0000	0,0008	0,0000	0,017	0,00
2	-0,0005	0,0010	0,0000	0,017	0,03
4	-0,0008	0,0010	0,0000	0,017	0,05
6	-0,0011	0,0010	-0,0010	0,017	0,00
8	-0,0010	0,0009	-0,0010	0,017	0,00
10	-0,0007	0,0011	-0,0020	0,017	0,08
14	-0,0019	0,0011	-0,0050	0,017	0,18
18	-0,0032	0,0014	-0,0070	0,017	0,23
20	-0,0038	0,0014	-0,0100	0,017	0,36

Tablica 18. Usporedba rezultata FSB-LPM/LAB 3

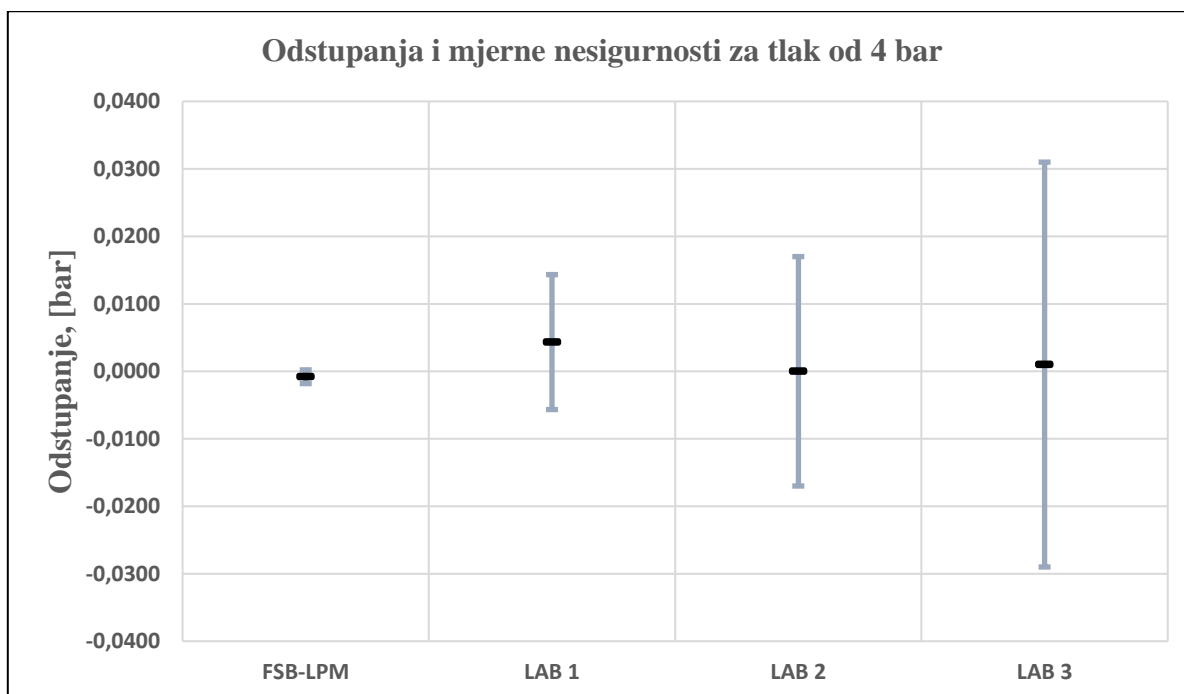
Tlak	Odstupanje $M - p_e$, [bar] FSB-LPM	Nesigurnost umjeravanja U , [bar] FSB-LPM	Odstupanje $M - p_e$, [bar] LAB 3	Nesigurnost umjeravanja U , [bar] LAB 3	E_n
0	0,0000	0,0008	-0,0010	0,030	0,03
2	-0,0005	0,0010	-0,0005	0,030	0,00
4	-0,0008	0,0010	0,0010	0,030	0,06
6	-0,0011	0,0010	-0,0005	0,030	0,02
8	-0,0010	0,0009	-0,0005	0,030	0,02
10	-0,0007	0,0011	0,0010	0,030	0,06
14	-0,0019	0,0011	0,0020	0,030	0,13
18	-0,0032	0,0014	0,0035	0,030	0,22
20	-0,0038	0,0014	0,0100	0,030	0,46



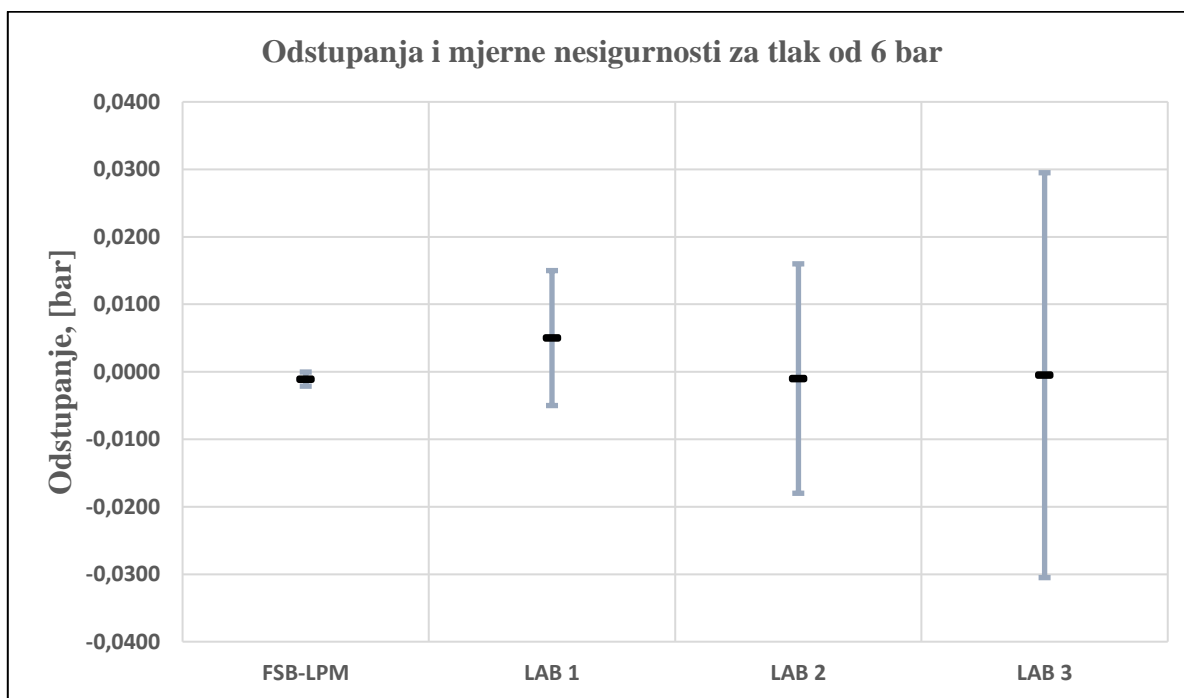
Slika 12. Usporedba rezultata svih laboratorija pri tlaku od 0 bar



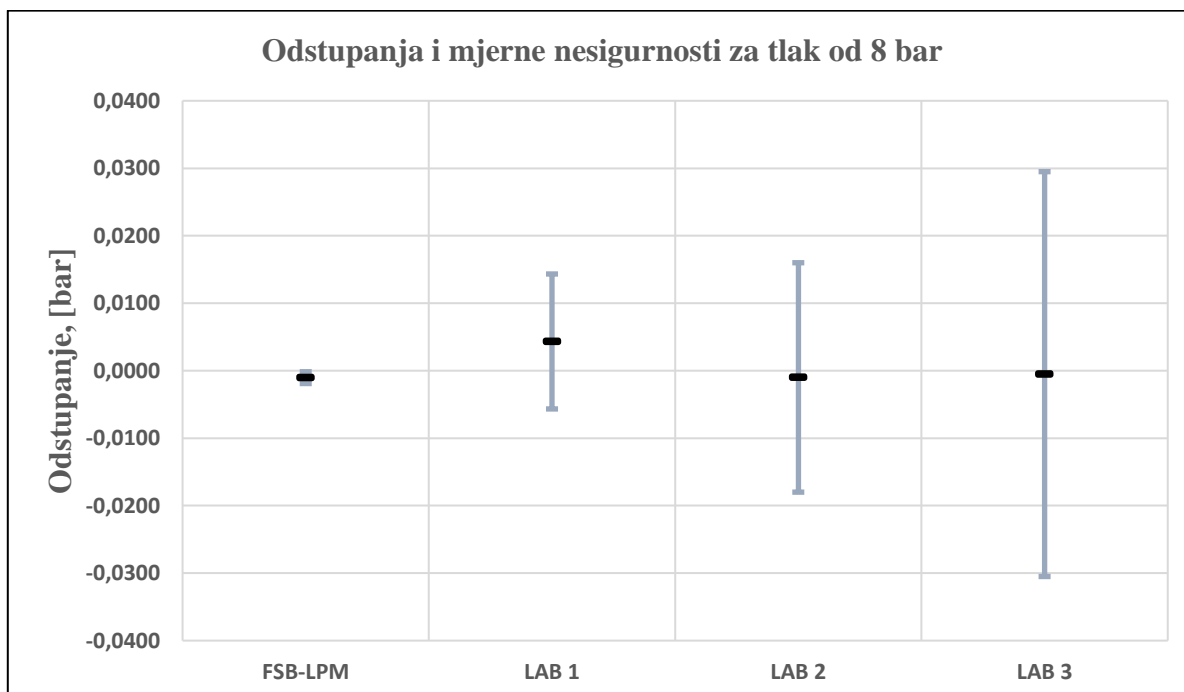
Slika 13. Usporedba rezultata svih laboratorija pri tlaku od 2 bar



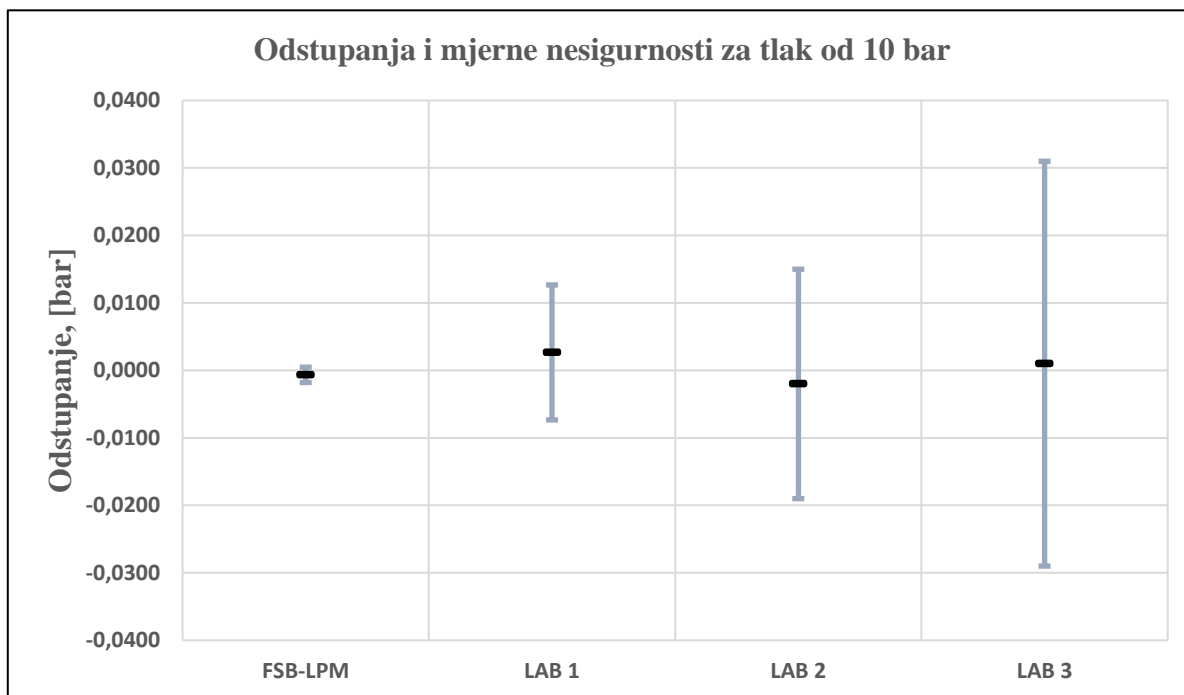
Slika 14. Usporedba rezultata svih laboratorija pri tlaku od 4 bar



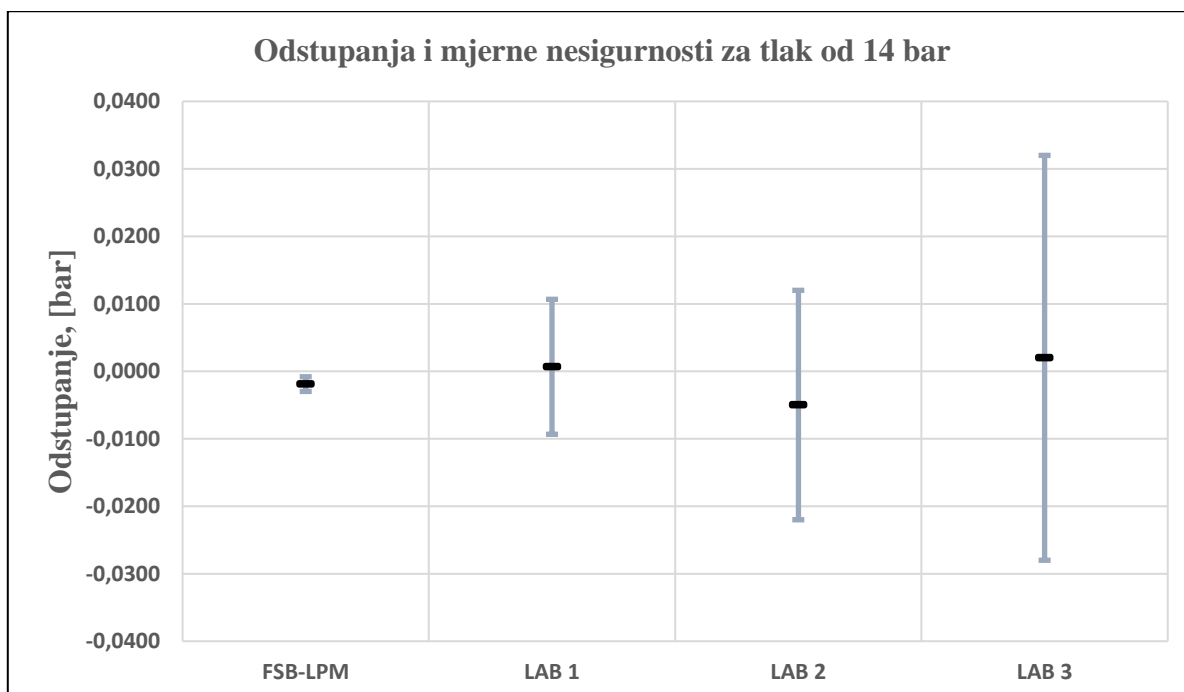
Slika 15. Usporedba rezultata svih laboratorija pri tlaku od 6 bar



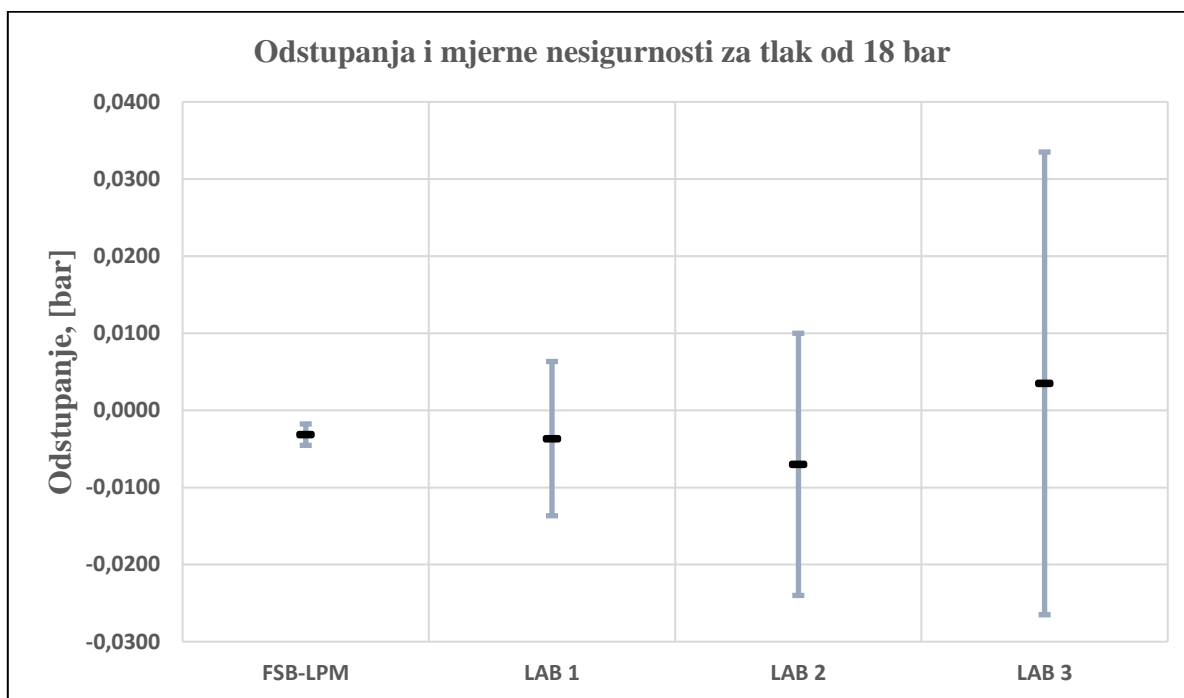
Slika 16. Usporedba rezultata svih laboratorija pri tlaku od 8 bar



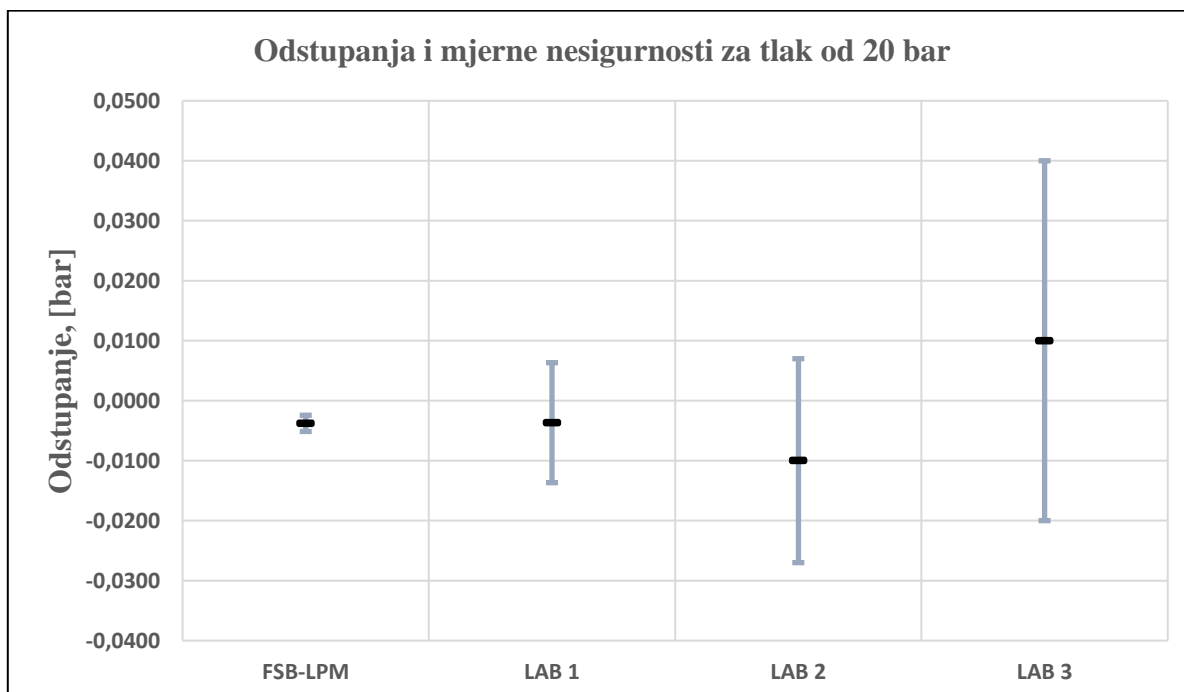
Slika 17. Usporedba rezultata svih laboratorija pri tlaku od 10 bar



Slika 18. Usporedba rezultata svih laboratorija pri tlaku od 14 bar



Slika 19. Usporedba rezultata svih laboratorija pri tlaku od 18 bar



Slika 20. Usporedba rezultata svih laboratorija pri tlaku od 20 bar

7. ZAKLJUČAK

Ovaj završni rad ukazuje na važnost provedbe međulaboratorijskih usporedbi kao alata za osiguranje kvalitete rezultata umjeravanja. U tu svrhu, razvijen je tehnički protokol koji je poslužio kao smjernica za usporedbu rezultata umjeravanja mjerila tlaka u rasponu od 0 do 20 bara. Prva mjerenja su provedena u Laboratoriju za procesna mjerenja na FSB-u, gdje je sastavljena etalonska mjerna linija korištenjem plinske tlačne vage DHI interne oznake TLVAG-10. Pretvornik tlaka FLUKE 2700G korišten je kao prijenosni etalon i umjeren na etalonskoj tlačnoj vagi. Usporedba rezultata umjeravanja provedena je u suradnji s drugim laboratorijima koji su koristili vlastite etalone tlaka. Rezultati su obrađeni prema unaprijed dogovorenom protokolu i internim metodama laboratorija te su poslani FSB-LPM-u radi daljnje usporedbe. Metoda umjeravanja temeljila se na metodi B iz DKD-R 6-1 uputa opisanoj u prvom dijelu rada, obuhvaćajući 9 mjernih točaka: 0, 2, 4, 6, 8, 10, 14, 18 i 20 bar. Rezultati su pokazali da su laboratoriji koji su sudjelovali u usporedbi postigli prihvatljive rezultate u odnosu na referentni laboratorij FSB-LPM. Analiza rezultata provedena je određivanjem E_n vrijednosti za sve laboratorije u usporedbi s FSB-LPM-om, koristeći kriterij da je $E_n < 1$. U slučaju kada bi E_n vrijednost bila veća od 1, preporučeno je da sudjelujući laboratorij ponovi svoja mjerenja. Odstupanja i mjerne nesigurnosti prikazane su na kraju rada putem dijagrama za svaku mjernu točku tlaka. Ovim radom potvrđuje se da su rezultati umjeravanja međusobno usporedivi i da laboratoriji koji su sudjelovali u usporedbi zadovoljavaju standarde kvalitete, čime se osigurava pouzdanost i preciznost mjerenja tlaka u ispitivanom području.

LITERATURA

- [1] Svijet kvalitete: HRN EN ISO/IEC 17011:2005
URL:<https://www.svijet-kvalitete.com/index.php/norme-za-akreditaciju/iso-iec-17011>
(Pristupljeno: 5. 2.2024.)
- [2] Svijet kvalitete, HRN EN ISO/IEC 17025:2017
URL:<https://www.svijet-kvalitete.com/index.php/norme-za-akreditaciju/iso-iec-17025>
(Pristupljeno: 5. 2.2024.)
- [3] Svijet kvalitete, HRN EN ISO/IEC 17020:2012
URL:<https://www.svijet-kvalitete.com/index.php/norme-za-akreditaciju/iso-iec-17020-2012> (Pristupljeno: 5. 2.2024.)
- [4] Svijet kvalitete, HRN EN ISO/IEC 17043:2010
URL:<https://www.svijet-kvalitete.com/index.php/norme-za-akreditaciju/iso-iec-17043>
(Pristupljeno 5. 2.2024.)
- [5] Svijet kvalitete, HRN ISO 13528
URL:<https://www.svijet-kvalitete.com/index.php/ispitivanje/2383-cemu-sluzi-norma-hrn-iso-13528> (Pristupljeno 5. 2.2024.)
- [6] Deutscher Kalibrierdienst (DKD): Guideline DKD-R 6-1 Calibration of Pressure Gauges, Accreditation Body of the Deutscher Kalibrierdienst (DKD) at the Physikalisch-Technische Bundesanstalt in co-operation with its Technical Committee „Pressure and Vacuum”, 2014.
- [7] Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Ziele des DKD
URL:<https://www.ptb.de/cms/de/metrologische-dienstleistungen/dkd/ueber-uns.html>
(Pristupljeno: 6. 2.2024.)
- [8] Wikipedia, EURAMET
URL:<https://en.wikipedia.org/wiki/EURAMET> (Pristupljeno: 6. 2.2024.)
- [9] EURAMET, EURAMET – OBJECTIVES
URL:<https://www.euramet.org/about-euramet> (Pristupljeno: 6. 2.2024.)
- [10] EURAMET: Guidelines on the Calibration of Electromechanical Manometers (EURAMET Calibration Guide No. 17 Version 4.1), 2022.
- [11] Hrvatska akreditacijska agencija, PRAVILA ZA MEĐULABORATORIJSKE USPOREDBE, 2019.
- [12] Tlak. *Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje*. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2013 – 2024

- URL:<https://www.enciklopedija.hr/clanak/tlak> (Pristupljeno: 6. 2.2024.)
- [13] Wikipedija, Tlak
URL:<https://hr.wikipedia.org/wiki/Tlak> (Pristupljeno: 6. 2.2024.)
- [14] Grgec Bermanec, L., Predavanja iz kolegija Toplinska i procesna mjerenja
- [15] FSB – Laboratorij za procesna mjerenja: Podloge za vježbe iz kolegija Mjerenja u energetici
- [16] Micom, Kalibracija mjerača pritiska i protoka
URL:<https://www.micom.hr/kalibracija-mjeraca-pritiska-i-protoka#tlacniStandardi>
(Pristupljeno: 6. 2.2024.)
- [17] Runje Biserka, Predavanja iz kolegija Teorija i tehnika mjerenja
URL:http://repozitorij.fsb.hr/6113/1/764412.Predavanja_TTM.pdf
(Pristupljeno: 6. 2.2024.)
- [18] EURAMET: Guide on Comparisons
(EURAMET Guide No. 4 Version 1.0), 2016.
- [19] FLUKE, 2700G Series Reference Pressure Gauges
URL:<https://eu.flukecal.com/products/pressure-calibration/pressure-monitors/digital-pressure-gauges/2700g-series-reference-press> (Pristupljeno: 7. 2.2024.)

PRILOZI

I. CD-R disc