

# Međuprovjere etalona tijekom preseljenja umjernog laboratorija

---

**Krmpotić, Benjamin**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2025**

*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:235:925492>

*Rights / Prava:* [Attribution-NonCommercial 4.0 International/Imenovanje-Nekomercijalno 4.0 međunarodna](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-31**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

**Benjamin Krmpotić**

Zagreb, 2025.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentor:

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

Student:

Benjamin Krmpotić

Zagreb, 2025.

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

Benjamin Krmpotić



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 / 25 – 06 / 1	
Ur.broj: 15 – 25 –	

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Benjamin Krmpotić** JMBAG: **0035226101**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Međuprovjere etalona tijekom preseljenja umjernog laboratorija**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Intermediate Checks of Standards During Calibration Laboratory Relocation**

Opis zadatka:

Međuprovjere etalonske mjerne opreme važan su dio održavanja i upravljanja mjernom opremom te predstavljaju zahtjev norme ISO 17025 u akreditiranim laboratorijima. Za razliku od umjeravanja, međuprovjere mjerne opreme su kratke, ali ključne provjere rezultata mjerenja koje se provode za svaki etalon između dva umjeravanja. Njihova svrha je osigurati da su etaloni i dalje u ispravnom stanju i da pružaju pouzdane rezultate.

U radu je potrebno:

- Odabrati ključnu etalonsku opremu čije značajke će se uspoređivati i pratiti tijekom procesa preseljenja Laboratorija za procesna mjerenja.
- Opisati postupak za interno umjeravanje i međuprovjere odabranih etalona, uključujući sve relevantne norme i upute.
- Unaprijed utvrditi kriterije prihvatljivosti za rezultate međuprovjera.
- Provesti međuprovjere koristeći dostupnu etalonsku opremu Laboratorija za procesna mjerenja Fakulteta strojarstva i brodogradnje (FSB).
- Prikazati rezultate provedenih međuprovjera, provesti analizu i ocjenu stabilnosti etalona.

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

Zadatak zadan:

30. 11. 2024.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Lovorka Grgec Bermanec

Datum predaje rada:

1. rok: 20. i 21. 2. 2025.

2. rok: 10. i 11. 7. 2025.

3. rok: 18. i 19. 9. 2025.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 24. 2. – 28. 2. 2025.

2. rok: 15. 7. – 18. 7. 2025.

3. rok: 22. 9. – 26. 9. 2025.

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Vladimir Soldo

## SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	I
POPIS SLIKA .....	IV
POPIS TABLICA.....	V
POPIS OZNAKA .....	VI
SAŽETAK.....	VII
SUMMARY .....	VIII
1. UVOD.....	1
1.1. Općenito o mjerenju.....	1
1.2. Tlak .....	3
1.3. Temperatura .....	4
1.4. Etalonska oprema Laboratorija za procesna mjerenja FSB-a .....	5
1.4.1. Etalonska oprema za međuprovjere tlaka .....	6
1.4.2. Etalonska oprema za međuprovjere temperature .....	8
1.4.2.1. Etalonska oprema za međuprovjeru temperature peći Heraeus preko očitanih vrijednosti napona na multimetrima koji su spojeni s Pt/Pd termoparom .....	8
1.4.2.2. Etalonska oprema za međuprovjeru temperature kupke Kambič preko PRT-a spojenih na multipleksor interne oznake EOMOS04/02 .....	10
1.4.3. Etalonska oprema vezana uz mjerenje otpora.....	11
2. POSTUPAK ZA INTERNO UMJERAVANJE I MEĐUPROVJERE ODABRANIH ETALONA .....	15
2.1. Interno umjeravanje i međuprovjere opreme za mjerenje tlaka.....	15
2.1.1. Postupak internog umjeravanja pretvornika tlaka prema DKD-R 6-1 smjernicama	15
2.1.1.1. Mjerna nesigurnost.....	16
2.1.1.2. Komponente mjerne nesigurnosti .....	19
2.1.2. Uvod u Postupak međuprovjere etalonske opreme za mjerenje tlaka .....	19

---

2.2.	Interno umjeravanje i međuprovjere opreme za mjerenje temperature .....	22
2.2.1.	Postupak za umjeravanje etalonskih mjerila temperature s platinskim otporničkim termometrima .....	22
2.2.1.1.	Mjerna nesigurnost.....	23
2.2.2.	Uvod u Postupak međuprovjere etalonske opreme za mjerenje temperature .....	24
2.2.2.1.	Postupak međuprovjere mjerila kojeg čine multimetri .....	24
2.2.2.2.	Postupak međuprovjere mjerila kojeg čine platinski otpornički termometri.....	24
2.3.	Interno umjeravanje i međuprovjere opreme vezane uz mjerenje otpora .....	25
2.3.1.	Uvod u Postupak međuprovjere etalonske opreme za mjerenje otpora .....	25
3.	KRITERIJI PRIHVATLJIVOSTI ZA REZULTATE MEĐUPROVJERA .....	26
3.1.	Kriteriji prihvatljivosti za rezultate međuprovjera s obzirom na mjerila tlaka .....	26
3.1.1.	Odstupanja mjerila kojeg čine pretvornik tlaka proizvođača Druck interne oznake TLPRE05 i pokazna jedinica Druck DPI 615 .....	26
3.1.2.	Odstupanja mjerila kojeg čine pretvornik tlaka proizvođača Druck interne oznake TLPRE05 i pokazna jedinica Druck DPI 615 .....	27
3.1.3.	Odstupanja mjerila koje se sastoji od kalibratora tlaka Druck DPI 615 .....	27
3.1.4.	Odstupanja mjerila koje se sastoji od pretvornika tlaka proizvođača Vaisala interne oznake TLPRE01 .....	28
3.2.	Kriteriji prihvatljivosti za rezultate međuprovjera s obzirom na mjerila temperature.....	28
3.3.	Kriteriji prihvatljivosti za rezultate međuprovjera s obzirom na etalonsku opremu za mjerenje otpora .....	29
4.	PRIKAZ REZULTATA PROVEDENIH MEĐUPROVJERA I OCJENA STABILNOSTI ETALONA .....	30
4.1.	Prikaz rezultata međuprovjera etalonske opreme za mjerenje tlaka i ocjena stabilnosti etalona .....	30
4.1.1.	Mjerilo kojeg čine pretvornik tlaka proizvođača Druck interne oznake TLPRE05 i pokazna jedinica Druck DPI 615 .....	30

---

4.1.2.	Mjerilo kojeg čine pretvornik tlaka proizvođača Druck interne oznake TLPRE05 i pokazna jedinica Druck DPI 615 .....	32
4.1.3.	Mjerilo koje se sastoji od kalibratora tlaka Druck DPI 615.....	33
4.1.4.	Mjerilo koje se sastoji od pretvornika tlaka proizvođača Vaisala interne oznake TLPRE01 .....	34
4.2.	Prikaz rezultata međuprovjera etalonske opreme za mjerenje temperature i ocjena stabilnosti etalona.....	34
4.2.1.	Mjerilo kojeg čine multimetri .....	34
4.2.2.	Mjerilo temperature s platinskim otporničkim termometrima .....	36
4.3.	Prikaz rezultata međuprovjera etalonske opreme za mjerenje otpora i ocjena stabilnosti etalona .....	38
5.	ZAKLJUČAK.....	40
	LITERATURA.....	41
	PRILOZI.....	42



---

**POPIS SLIKA**

Slika 1.	Apsolutni tlak, pretlak i podtlak; atmosferski. [1].....	3
Slika 2.	Pretvornik tlaka proizvođača Druck, interne oznake TLPRE05 .....	7
Slika 3.	Kalibrator tlaka proizvođača Druck, tip DPI 615.....	8
Slika 4.	Pretvornik tlaka proizvođača Vaisala, tip PTB 220 .....	8
Slika 5.	Termometrijska peć s Keithley multimetrima i Pt/Pd termoparom .....	9
Slika 6.	Platinski otpornički termometri uronjeni u kupku Kambič, interne oznake TEKUP13 .....	11
Slika 7.	Otpornički most F18.....	14
Slika 8.	Multipleksor s komunikacijskom i upravljačkom jedinicom .....	14
Slika 9.	Uljna kupka OB-50 tvrtke Kambič .....	14
Slika 10.	Prikaz načina umjeravanja pretvornika tlaka pomoću slijeda C .....	16
Slika 11.	Normalna i pravokutna razdioba vjerojatnosti .....	17
Slika 12.	Tlačna vaga Budenberg .....	20
Slika 13.	Tlačna vaga Pressurements .....	21
Slika 14.	Tlačna vaga internih oznaka TLVAG09 .....	22

---

**POPIS TABLICA**

Tablica 1. Podatci o pretvornicima tlaka i kalibratoru .....	6
Tablica 2. Uvjeti ispitivanja .....	7
Tablica 3. Oprema za međuprovjeru temperature .....	9
Tablica 4. Međuprovjera platinskih otporničkih termometara .....	10
Tablica 5. Očitavanje fiksnih otpornika .....	12
Tablica 6. Opis triju slijeda umjeravanja A, B i C .....	16
Tablica 7. Postupak određivanja mjerne nesigurnosti .....	18
Tablica 10. Odstupanja opreme .....	26
Tablica 11. Odstupanja opreme .....	27
Tablica 12. Odstupanja opreme .....	27
Tablica 13. Odstupanja opreme .....	28
Tablica 14. Rezultati međuprovjere mjerila i ocjena stabilnosti etalona .....	31
Tablica 15. Rezultati međuprovjere mjerila i ocjena stabilnosti etalona .....	32
Tablica 16. Rezultati međuprovjere mjerila i kriteriji prihvatljivosti .....	33
Tablica 17. Rezultati međuprovjere mjerila i ocjena stabilnosti etalona .....	34
Tablica 18. Srednja vrijednost napona očitanih na multimetrima $Avg_{1,j}$ i standardna mjerna nesigurnost multimetra $u(y)_{1,j}$ .....	35
Tablica 19. Dopušteni interval napona za prvo mjerilo .....	36
Tablica 20. Srednja vrijednost očitanih temperatura $Avg_{2,j}$ i standardna mjerna nesigurnost platinskih otporničkih termometara $u(y)_{2,j}$ .....	37
Tablica 21. Dopušteni interval temperatura kod drugog mjerila .....	38
Tablica 22. Srednja vrijednost očitanih otpora $Avg_i$ i standardna mjerna nesigurnost fiksnih otpornika $u(y)_i$ .....	39
Tablica 24. Dopušteni interval otpora .....	39

## POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
$p$	Pa	tlak
$dF$	N	diferencijalni iznos sile
$dA$	m <sup>2</sup>	diferencijalna površina
$T$	K	apsolutna temperatura po Kelvinovoj ljestvici
$\vartheta(^{\circ}\text{C})$	$^{\circ}\text{C}$	relativna temperatura po Celzijevoj ljestvici
$\vartheta(^{\circ}\text{F})$	$^{\circ}\text{F}$	relativna temperatura po Fahrenheitovoj ljestvici
$R$	$\Omega$	otpor
$u(x_i)$	bar	standardna nesigurnost ulaznih podataka
$c_i$	-	koeficijent osjetljivosti
$u_i(y)$	bar	Dodatak standardnoj nesigurnosti zbog standardne nesigurnosti ulaznog podatka $x_i$
$u(y)$	bar	standardna nesigurnost
$U(y)$	bar	proširena mjerna nesigurnost
$k$	-	faktor prekrivanja
$W_{uzl./sil.}$	bar	relativna proširena mjerna nesigurnost
$w_{uzl./sil.}$	bar	relativna standardna mjerna nesigurnost
$U(T)$	$^{\circ}\text{C}$	proširena mjerna nesigurnost
$u(T)$	$^{\circ}\text{C}$	standardna mjerna nesigurnost
$ DEVM_i $	bar	maksimalno odstupanje pojedine opreme u mjerilu
$DEV_{mjerila,j}$	bar	maksimalno dopušteni iznos odstupanja mjerenja danih mjerila
$p_{mjerilo,j}^{next}$	bar	tlak mjerila koji će se mjeriti kada se LPM vrati u prostore FSB-a
$p_{mjerilo,i}$	bar	tlak mjerila izmjeren na premještenoj lokaciji LPM-a
$Avg_{ij}$		srednja vrijednost mjerene veličine (ovisno o pojedinom mjerilu – indeks $i$ te pojedinom uređaju $j$ )
$u(y)_{ij}$		vrijednost standardne mjerne nesigurnosti pojedine opreme
$M_{ij}^{allowed}$		dopušteni interval pojedine mjerne veličine pri budućim međuprovjerama etalonske opreme za mjerenje temperature
$ DEV_{meas,j} $	bar	apsolutna vrijednost odstupanja tlaka
$p_{etalon,j}$	bar	tlaka mjerila
$p_{etalon,j}$	bar	tlak etalona

## **SAŽETAK**

U ovom je radu bilo potrebno osmisliti i provesti međuprovjere etalonske mjerne opreme Laboratorija za procesna mjerenja Fakulteta strojarstva i brodogradnje, zbog njegovog privremenog premještanja na novu lokaciju. Cilj je bio opisati postupak te prikazati rezultate mjerenja i definirati kriterije prihvatljivosti.

Odabrana etalonska oprema obuhvaća uređaje za mjerenje tlaka, temperature i otpora, uključujući pretvornike tlaka proizvođača Druck i Vaisala, kalibrator tlaka Druck, tri multimetra Keithley, četiri platinska otpornička termometra Fluke i tri fiksna otpornika Tinsley. Prije nego što su navedeni rezultati međuprovjera, opisani su postupci za interno umjeravanje i međuprovjere odabranih etalona preko relevantnih normi odnosno uputa. Tako se za opisivanje umjeravanja pretvornika tlaka koristila smjernica DKD-R 6-1.

Kako bi se osigurala pouzdanost mjerenja prilikom budućih međuprovjera nakon povratka Laboratorija na staru lokaciju, unaprijed su definirani kriteriji prihvatljivosti.

Na kraju rada prikazani su rezultati provedenih međuprovjera odabrane etalonske opreme te utvrđeni kriteriji prihvatljivosti mjerenja.

Ključne riječi: etalonska oprema, međuprovjere, Laboratorij za procesna mjerenja, kriteriji prihvatljivosti

## **SUMMARY**

In this paper, it was necessary to design and conduct intermediate checks of the standard measuring equipment of the Laboratory for Process Measurements of the Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, due to its temporary relocation to a new location. The aim was to describe the procedure, present the measurement results and define the acceptance criteria.

The selected standard equipment includes devices for measuring pressure, temperature and resistance, including pressure transducers manufactured by Druck and Vaisala, a Druck pressure calibrator, three Keithley multimeters, four Fluke platinum resistance thermometers and three Tinsley fixed resistors. Before the intermediate checks results are presented, the procedures for internal calibration and intermediate checks of the selected standards are described using relevant standards or instructions. Thus, the DKD-R 6-1 guideline was used to describe the calibration of pressure transducers.

In order to ensure the reliability of measurements during future intermediate checks after the Laboratory returns to its old location, acceptance criteria were defined in advance.

At the end of the paper, the results of the intermediate checks of the selected standard equipment are presented and the measurement acceptance criteria established.

Keywords: standard equipment, intermediate checks, Laboratory for Process Measurements, acceptance criteria

## 1. UVOD

### 1.1. Općenito o mjerenju

Mjerenje, određivanje vrijednosti neke mjerne veličine tj. određivanje broja koji pokazuje koliko puta mjerena vrijednost neke veličine sadrži u sebi vrijednost dogovorenu kao mjernu jedinicu te veličine.

Izravno mjerenje je uspoređivanje vrijednosti mjerne veličine s vrijednosti istovrsne usporedbene veličine.

Posredno (neizravno) mjerenje obavlja se izravnim mjerenjem onih veličina od kojih je sastavljena mjerena veličina, temeljem nekoga znanstvenog načela, te izračunom njezine vrijednosti. [1]

Prema [2] mjeriteljstvo (metrology) je znanost o mjerenju i njegovim primjenama; gr. metron – mjera, logos – učenje. Pod mjeriteljstvom podrazumijevamo onaj specijalizirani dio pojedinih prirodoslovnih i tehničkih znanosti koji se bavi metodama mjerenja fizikalnih veličina, razvojem i izradom mjernih uređaja, reprodukcijom i pohranjivanjem mjernih jedinica te svim ostalim poslovima koji omogućuju preciznije mjerenje i usavršavanje mjernih postupaka.

Mjerenje (measurement) je proces eksperimentalnog određivanja jedne ili više vrijednosti veličina koje se razumno mogu pridružiti veličini (skup djelovanja radi određivanja vrijednosti veličine).

Postoje tri vrste mjeriteljstva: znanstveno, tehničko ili industrijsko te zakonsko. Temelj mjeriteljstva odnosno fizikalnih veličina čine:

1. mjerni etaloni, koji služe kao referenca tj. ishodište za definiranje, ostvarivanje ili pohranjivanje jedinica
2. sljedivost i umjeravanje: neprekinuti lanac usporedbi osigurava da svaki mjerni rezultat bude sljediv tj. povezan najvišom razinom točnosti npr. do primarnog etalona; umjeravanje znači usporedba nepoznate vrijednosti prema poznatoj vrijednosti
3. mjerna nesigurnost je kvantitativna mjera kvalitete mjernih rezultata. [2]

Postoje još dodatni mjeriteljski pojmovi, a ovdje su izdvojeni samo neki od brojnih. [2]

- a) Mjerilo – sprava kojom se mjeri, sama je ili zajedno s ostalom opremom.

- b) Referentni radni uvjeti – uvjeti uporabe propisani za ispitivanje značajki mjerila ili mjernog sustava, ili za usporedbe mjernih rezultata.
- c) Umjeravanje – djelovanje koje, pod definiranim uvjetima, u prvom koraku uspostavlja odnos između vrijednosti veličine s mjernom nesigurnošću određenu mjernim etalom i pripadnog očitavanja s pridruženom mjernom nesigurnošću, te u drugom koraku, koristi te informacije za uspostavljanje odnosa za dobivanje mjernog rezultata iz očitavanja.
- d) Akreditacija (ovlašćivanje) – ovlaštena ustanova formalno priznaje da je određena ustanova ili osoba sposobna za obavljanje određenih zadataka.

## 1.2. Tlak

Tlak je omjer diferencijalne sile koja djeluje okomito na diferencijalnu površinu plohe. Za fluid u mirovanju vrijedi

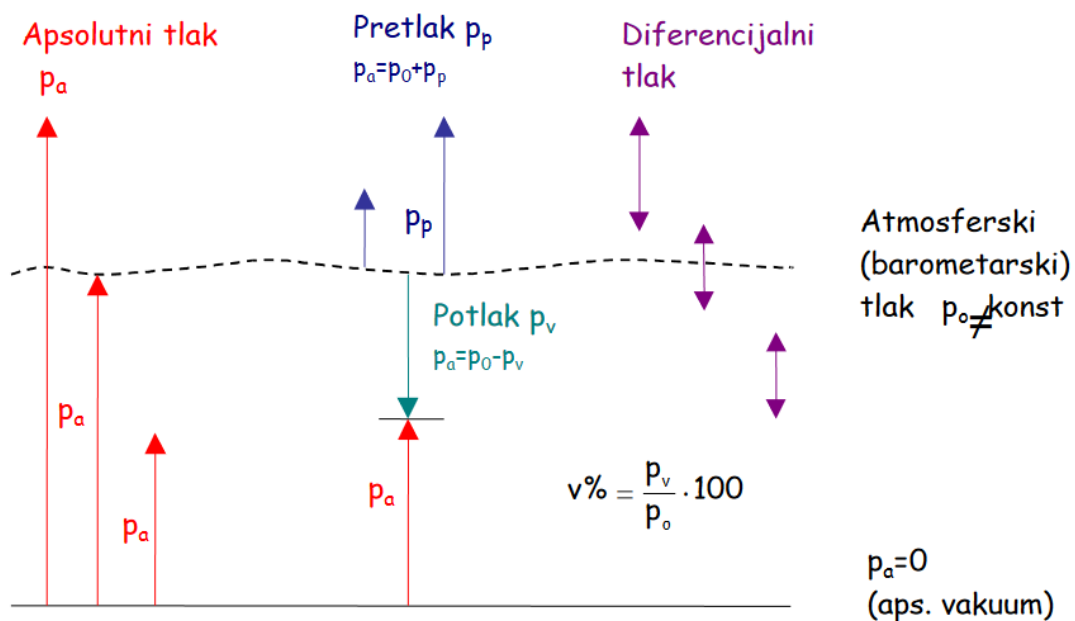
$$p = \frac{dF}{dA} \quad (1)$$

Mjerna jedinica tlaka je Paskal (Pa) prema Blaise Pascalu. Umjesto Paskala, koji je mala jedinica za mjerenje tlaka, obično se koristi bar.

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} \quad (2)$$

Sljedeća slika prikazuje apsolutni tlak  $p_a$ , pretlak  $p_p$ , podtlak  $p_v$  i atmosferski tlak  $p_o$ .

### Apsolutni tlak, pretlak, potlak vakuum?



Slika 1. Apsolutni tlak, pretlak i podtlak; atmosferski. [1]



### 1.3. Temperatura

Temperatura je jedna od osnovnih fizikalnih veličina u SI sustavu. Postoji puno temperaturnih ljestvica koje se koriste u svijetu. Neke od njih su Kelvinova kao apsolutna, i Celzijeva kao relativna. Ovisno o ljestvici, jedinica za temperaturu može biti Kelvin (K) i stupanj Celzijev (°C). Obje ljestvice su dozvoljene prema SI sustavu jedinica. [3]

Kelvin (K) je jedinica apsolutne temperature u SI sustavu mjera. Kelvinova temperaturna ljestvica ima samo pozitivne vrijednosti temperatura pa se umjesto naziva apsolutna temperatura upotrebljava naziv termodinamička temperatura. [3]

Celsius A. je, prije nego što je postojala Kelvinova temperaturna ljestvica, podijelio dio od točke smrzavanja kemijski čiste vode i njenog vrenja na sto jednakih dijelova. To je učinio pri tlaku 101 325 Pa na jednom živinom termometru te je tako jedan dio te ljestvice nazvan jedan stupanj Celzija (1 °C). SI sustav dopušta korištenje takve empirijske odnosno relativne temperaturne ljestvice. [3]

Sljedećom jednadžbom dana je veza između apsolutne Kelvinove i relativne Celzijeve temperaturne ljestvice

$$T(\text{K}) = \vartheta(^{\circ}\text{C}) + 273,15 \quad (3)$$

U pojedinim dijelovima svijeta, kao što su anglosaksonske zemlje, relativna temperaturna ljestvica je Fahrenheitova temperaturna ljestvica. Na toj ljestvici, za razliku od Celzijeve, ima sto osamdeset dijelova između točke smrzavanja i točke vrenja vode. [3]

Postoji određena veza između Celzijeve i Fahrenheitove temperaturne ljestvice pomoću koje se mogu dvije ljestvice preračunavati jedna u drugu, a tu vezu daju sljedeće jednadžbe [3]

$$\vartheta(^{\circ}\text{F}) = \frac{9}{5}\vartheta(^{\circ}\text{C}) + 32 \quad (4)$$

$$\vartheta(^{\circ}\text{C}) = \frac{5}{9}(\vartheta(^{\circ}\text{F}) - 32) \quad (5)$$

#### 1.4. Etalonska oprema Laboratorija za procesna mjerenja FSB-a

Laboratorij za procesna mjerenja Fakulteta strojarstva i brodogradnje (u daljnjem tekstu LPM) nalazio se u prostorima fakulteta u ulici Ivana Lučića 5, a poslije je zbog obnove zgrada fakulteta oštećenih potresom preselio na sadašnju lokaciju Zrmanjski ogranak 1. Zbog preseljenja LPM-a, potrebno je provesti međuprovjere određene etalonske opreme.

Za razliku od umjeravanja, međuprovjere mjerne opreme su kratke, ali ključne provjere rezultata mjerenja koje se provode za svaki etalon između dva umjeravanja. Njihova svrha je osigurati da su etaloni i dalje u ispravnom stanju i da pružaju pouzdane rezultate. [7]

U radu je proces međuprovjere prošla etalonska oprema vezana za mjerenje tlaka, etalonska oprema vezana za mjerenje temperature i etalonska oprema vezana za mjerenje otpora.

Oprema vezana za mjerenje tlaka, koja je prošla kroz proces međuprovjere, redom je:

- a. pretvornik tlaka s pokaznom jedinicom proizvođača Druck, tip 135b139 te interne oznake TLPRE05
- b. pretvornik tlaka s pokaznom jedinicom proizvođača Vaisala, tip PTB 220
- c. kalibrator tlaka proizvođača Druck, tip DPI 615.

Drugi dio opreme, koja je sudjelovala u i prošla proces međuprovjere, odnosi se na etalonsku opremu vezanu uz mjerenje temperature. Ona je redom:

- a. Pt/Pd termopar proizvođača NPL, tip 03/18/8
- b. termometrijska peć proizvođača Heraeus, tip SPR – 32
- c. tri multimetra proizvođača Keithley, tip 2002:9, 2010:16 i 2001:8
  
- d. otpornički most proizvođača ASL, tip F18
- e. multipleksor proizvođača ASL, tip SB148/01
- f. komunikacijska i upravljačka jedinica proizvođača ASL, tip SB158
- g. uljna kupka proizvođača Kambič, tip OB – 15/2
- h. četiri platinska otpornička termometra proizvođača Fluke, interne oznake TEPOT21, TEPOT20, TEPOT22 i TEPOT19.

Zadnji dio opreme, koja je sudjelovala u i prošla proces međuprovjere, odnosi se na etalonsku opremu vezanu uz mjerenje otpora. Ona je redom:

- a. četiri fiksna otpornika proizvođača Tinsley, serijskih brojeva 8739/05, 8737/11, 2797/70 i 6419/15
- b. već spomenuti otpornički most, multipleksor sa svojom komunikacijskom i upravljačkom jedinicom.

#### 1.4.1. Etalonska oprema za međuprovjere tlaka

Pri izvođenju međuprovjera tlaka u premještenom LPM-u, kao mjerilo su korišteni pretvornici tlaka proizvođača Druck s pokaznom jedinicom i proizvođača Vaisala s pokaznom jedinicom te kalibrator tlaka proizvođača Druck. Kao radni etaloni korištene su tlačne vage internih oznaka TLVAG 01, TLVAG 02, TLVAG 07, TLVAG 08, TLVAG 09 i TLVAG 10.

**Tablica 1. Podatci o pretvornicima tlaka i kalibratoru**

Mjerilo	Pretvornik tlaka	Pretvornik tlaka s pokaznom jedinicom	Kalibrator tlaka
Proizvođač	Druck	Vaisala	Druck
Tip	135b139	PTB 220	DPI 615
Tvornički broj	1896139	T5040009	61516256
Interna oznaka	TLPRE05	TLPRE01	TLPRE04
Jedinica tlaka	bar	bar	bar
Mjerno područje	0–135 bar	0,5–1,1 bar	-0,9–20 bar
Podjela skale	0,01 bar	0,01 mbar	0,001 bar
Razred točnosti	0,025%	0,03%	0,025%
Vlasnik mjerila	FSB - LPM	FSB - LPM	FSB - LPM

Uvjeti ispitivanja bili su jednaki za međuprovjere svih tlačnih vaga. U sljedećoj tablici su navedeni

**Tablica 2. Uvjeti ispitivanja**

Temperatura	$24 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$
Tlak	$1010 \pm 2 \text{ mbar}$
Relativna vlaga	$50 \pm 5\%$

Sljedeće slike prikazuju pretvornik tlaka proizvođača Druck interne oznake TLPRE05, kalibrator tlaka Druck DPI 615 i pretvornik apsolutnog tlaka Vaisala PTB 220



**Slika 2. Pretvornik tlaka proizvođača Druck, interne oznake TLPRE05**



Slika 3. Kalibrator tlaka proizvođača Druck, tip DPI 615



Slika 4. Pretvornik tlaka proizvođača Vaisala, tip PTB 220

#### 1.4.2. Etalonska oprema za međuprovjere temperature

##### 1.4.2.1. Etalonska oprema za međuprovjeru temperature peći Heraeus preko očitanih vrijednosti napona na multimetrima koji su spojeni s Pt/Pd termoparom

Oprema, koja se koristila kod međuprovjere temperature termometrijske peći, su multimetri tvrtke Keithley uz termopar od platine i paladija (Pt/Pd) nacionalnog laboratorija za fiziku NPL iz UK-a. Termopar je uronjen u termometrijsku peć firme Heraeus koja je zagrijana na 800 °C. Tepec02 interna je oznaka peći.

Tablica 3. Oprema za međuprovjeru temperature

Mjerilo	Termopar	Termometrijska peć	Multimetar	Multimetar	Multimetar
Proizvođač	NPL	Heraeus	Keithley	Keithley	Keithley
Tip	03/18/8 Pt/Pd	SPR - 32	2002:9	2010:16	2001:8
Interna oznaka	TETPS07	Tepec02	ENMME04	nije etalon	ENMME01
Vlasnik mjerila	FSB - LPM	FSB - LPM	FSB - LPM	FSB - LPM	FSB - LPM

Sljedeća slika prikazuje termometrijsku peć s multimetrima tvrtke Keithley i termoparom Pt/Pd



Slika 5. Termometrijska peć s Keithley multimetrima i Pt/Pd termoparom

#### 1.4.2.2. Etalonska oprema za međuprovjeru temperature kupke Kambič preko PRT-a spojenih na multipleksor interne oznake EOMOS04/02

Sljedeće mjerilo etalonska je oprema koja se koristila za međuprovjeru platinskih otporničkih termometara. Čine ga otpornički most F18 interne oznake EOMOS04, multipleksor ASL SB148/01 interne oznake EOMOS04/02, komunikacijska i upravljačka jedinica multipleksora ASL SB158 interne oznake EOMOS04/01, termostatirana kupka Kambič OB-15/2 interne oznake TEKUP13 te platinski otpornički termometri spojenih na kanale otporničkog mosta (EOMOS04) 0, 1, 2 i 3. Interne oznake platinskih otporničkih termometara su TEPOT21, TEPOT20, TEPOT22 i TEPOT19 tvrtke Fluke.

**Tablica 4. Međuprovjera platinskih otporničkih termometara**

Mjerilo	Platinski otpornički termometar	Platinski otpornički termometar	Platinski otpornički termometar	Platinski otpornički termometar
Proizvođač	Fluke	Fluke	Fluke	Fluke
Serijski broj	2493	2491	2456	2490
Interna oznaka	TEPOT21	TEPOT20	TEPOT22	TEPOT19
Vlasnik mjerila	FSB - LPM	FSB - LPM	FSB - LPM	FSB - LPM
Mjerilo	Otpornički most	Multipleksor	KiUJ*	Kupka
Proizvođač	ASL	ASL	ASL	Kambič
Tip	F18	SB148/01	SB158	OB-15/2

Interna oznaka	EOMOS04	EOMOS04/02	EOMOS04/01	TEKUP13
Vlasnik mjerila	FSB - LPM	FSB - LPM	FSB - LPM	FSB - LPM

\*KiUJ = komunikacijska i upravljačka jedinica

Na sljedećoj slici vide se platinski otpornički termometri uronjeni u kupku proizvođača Kambič, tip OB-15/2. Otpornički termometri su trenutno najtočnija mjerila temperature. [6]



Slika 6. Platinski otpornički termometri uronjeni u kupku Kambič, interne oznake TEKUP13

#### 1.4.3. Etalonska oprema vezana uz mjerenje otpora

Iduće mjerilo sastoji se od otporničkog mosta F18 interne oznake EOMOS04, multipleksora SB148/01 interne oznake EOMOS04/02 i komunikacijske i upravljačke jedinice SB158 interne oznake EOMOS04/01 (KiUJ u tablici 4.) te fiksnih otpornika internih oznaka EOFIX05 otpora 100  $\Omega$ , EOFIX04 otpora 25  $\Omega$ , EOFIX01 otpora 25  $\Omega$  i referentnog fiksnog otpornika EOFIX06 otpora 100  $\Omega$ . Otpornici su spojeni u termostatiranu uljnu kupku Kambič OB-50 temperature



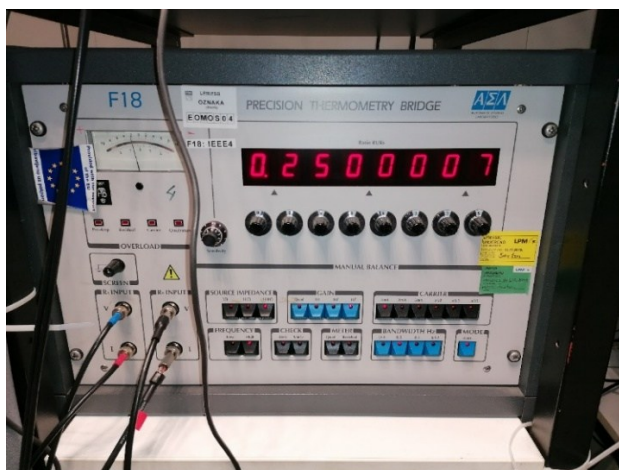
23 °C i povezani na multipleksor. Otpornički most je također povezan na multipleksor. Komunikacijska i upravljačka jedinica multipleksora spojena je na računalo.

**Tablica 5. Očitavanje fiksnih otpornika**

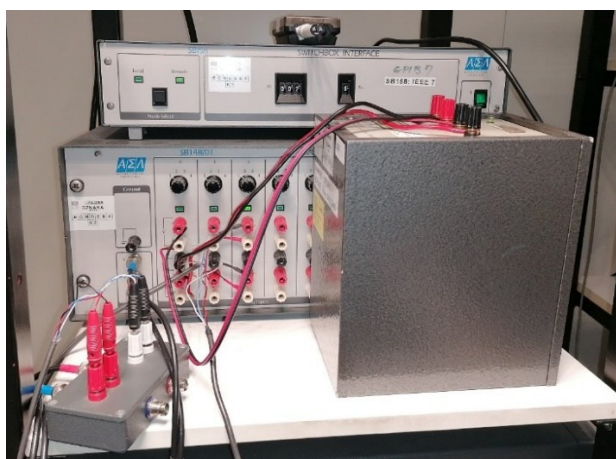
Mjerilo	Fiksni otpornik	Fiksni otpornik	Fiksni otpornik	Fiksni otpornik
Proizvođač	Tinsley	Tinsley	Tinsley	Tinsley
Tip	100 Ω	25 Ω	25 Ω	100 Ω
Serijski broj	8739/05	8737/11	2797/70	6419/15
Interna oznaka	EOFIX05	EOFIX04	EOFIX01	EOFIX06
Vlasnik mjerila	FSB - LPM	FSB - LPM	FSB - LPM	FSB - LPM
Mjerilo	Otpornički most	Multipleksor	KiUJ*	Uljna kupka
Proizvođač	ASL	ASL	ASL	Kambič
Tip	F18	SB148/01	SB158	OB-50
Interna oznaka	EOMOS04	EOMOS04/02	EOMOS04/01	TEKUP14
Vlasnik mjerila	FSB - LPM	FSB - LPM	FSB - LPM	FSB - LPM

\*KiUJ = komunikacijska i upravljačka jedinica

Sljedeće slike prikazuju otpornički most, multipleksor s komunikacijskom i upravljačkom jedinicom, uljnu kupku tvrtke Kambič i spoj fiksnih otpornika s multipleksorom.



Slika 7. Otpornički most F18



Slika 8. Multipleksor s komunikacijskom i upravljačkom jedinicom



Slika 9. Uljna kupka OB-50 tvrtke Kambič

---

## 2. POSTUPAK ZA INTERNO UMJERAVANJE I MEĐUPROVJERE ODABRANIH ETALONA

### 2.1. Interno umjeravanje i međuprovjere opreme za mjerenje tlaka

Postupak internog umjeravanja može se primijeniti na pretvornike tlaka, kalibrator tlaka te tlačne vage. Jedne od normi tj. uputa ili smjernica, koje se pri tome mogu koristiti su DKD-R 6-1 i EURAMET smjernice. EURAMET smjernice koriste se kod umjeravanja tlačnih vaga, a osim toga pokazan je i primjer određivanja mjerne nesigurnosti tlačnih vaga. [10] Opisat će se postupak umjeravanja pretvornika tlaka prema DKD-R 6-1 smjernicama, a zatim postupak međuprovjere istih. DKD-R 6-1 smjernice usklađene su s zahtjevima norme ISO 17025. Tako se prema toj normi mjerna oprema treba umjeravati kada mjerna nesigurnost utječe na ispravnost rezultata i kada se treba osigurati sljedivost. [8]

Postupak međuprovjere pretvornika tlaka određen je dogovorno u LPM-u i prema radovima prethodnih kolega, jer nije poznato da postoji bilo kakva smjernica za međuprovjeru pretvornika tlaka.

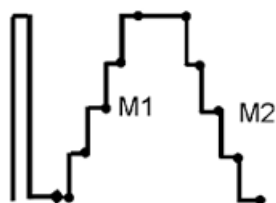
#### 2.1.1. *Postupak internog umjeravanja pretvornika tlaka prema DKD-R 6-1 smjernicama*

Upotrebom DKD-R 6-1 smjernica osigurava se da umjeravani uređaji budu umjeravani na isti način i u drugim laboratorijima koji se bave umjeravanjem tlaka tako da se omogući sljedivost. Te smjernice omogućavaju da se proces umjeravanja tlačne opreme (npr. pretvornika tlaka) provede jednostavno kao i procjena mjerne nesigurnosti. Umjeravanje pretvornika tlaka treba biti provedeno na način da tlak u mjernim točkama bude jednoliko povećavan, odnosno da iznos povećanja tlaka za svaki sljedeću točku bude konstantan. Ovisno o tome kakvu mjernu nesigurnost želimo ostvariti, potrebne su jedna ili dvije serije umjeravanja. Serija se obično sastoji od uzlaznog i silaznog mjerenja. Postoje 3 vrste slijeda umjeravanja: A, B i C. Vrijeme između očitavanja određene i iduće vrijednosti tlaka s pokazne jedinice treba biti minimalno 30 sekundi. [9]

Tablica 6. Opis triju slijeda umjeravanja A, B i C

Slijed	Zahtijevana mjerna nesigurnost [%]	Minimalni broj mjernih točaka	Broj probnih maksimalnih opterećenja	Vrijeme između dvije mjerne točke [s]	Vrijeme čekanja na vršno opterećenje točki [min]	Broj uzlaznih i silaznih mjerjenja	
						Uzl.	Sil.
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

Na sljedećoj slici prikazan je postupak umjeravanja pretvornika tlaka pomoću slijeda C. Na njemu se vidi da se provodi samo jedno probno opterećenje. Nakon što tlak padne na vrijednost nule, kreće umjeravanje u prvoj točki pa se pričekava minimalno 30 sekundi i tako do vršnog tlaka gdje se čeka 2 minute 30 sekundi da se može krenuti sa silaznom serijom. [9]



Slika 10. Prikaz načina umjeravanja pretvornika tlaka pomoću slijeda C

#### 2.1.1.1. Mjerna nesigurnost

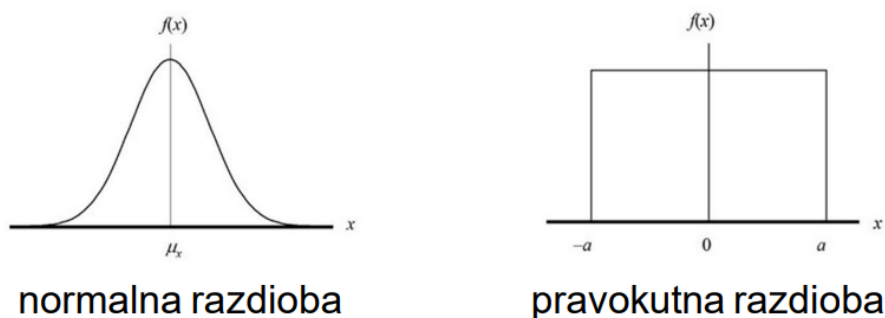
Da bi rezultat mjerenja odnosno umjeravanja bio potpun, potrebno je iskazati ili barem procijeniti mjernu nesigurnost [2]. Mjerna nesigurnost kvantitativna je mjera kvalitete mjernih rezultata [2]. Ona se dijeli u dva tipa [4]:

- Tip A: za određivanje vrijednosti mjerne nesigurnosti koriste se postupci iz statistike, poput određivanja standardne devijacije i broja stupnjeve slobode, na način da se mjerenja ponove više od deset puta

i

- Tip B: za određivanje standardne devijacije koriste se već provedena znanstvena otkrića i može se procijeniti temeljem podataka iz već provedenih mjerenja, specifikacija proizvođača i npr. certifikata iz umjeravanja.

Kod mjerne nesigurnosti tipa B postoji puno razdioba vjerojatnosti. Najpoznatije su normalna, trokutasta i pravokutna razdioba. Na sljedećoj slici prikazani su intervali mjerne nesigurnosti te normalna i pravokutna razdioba vjerojatnosti.



**Slika 11. Normalna i pravokutna razdioba vjerojatnosti**

Postoje standardna i proširena mjerna nesigurnost. Kada je faktor prekrivanja  $k$  jednak jedinici tada je riječ o standardnoj mjernoj nesigurnosti, a kada mu je vrijednost dva tada se radi o proširenoj mjernoj nesigurnosti. Kada se uzme interval  $[-\sigma, +\sigma]$ , pri čemu je  $\sigma$  standardna devijacija ili odstupanje, vjerojatnost pokrivanja tj. razina pouzdanosti iznosi 68%. Ako se uzme interval  $[-2\sigma, +2\sigma]$ , vjerojatnost pokrivanja tj. razina pouzdanosti iznosi 95%.

Da bi se mjerna nesigurnost mogla provesti potrebno je:

- pronaći sve značajne izvore mjerne nesigurnosti,
- procijeniti standardnu mjernu nesigurnost svih izvora,
- odrediti pripadajuće koeficijente osjetljivosti

- i na kraju ukupnu standardnu mjernu nesigurnost ili proširenu zbog više zahtijevane razine pouzdanosti. [2]

Taj se postupak [9] pokazuje u sljedećoj tablici

**Tablica 7. Postupak određivanja mjerne nesigurnosti**

Funkcija modela			$y = f(x_1, x_2, \dots, x_N)$ (6)
Standardna nesigurnost	$u(x_i)$	Standardna nesigurnost ulaznih podataka	
	$c_i$	Koeficijent osjetljivosti	$c_i = \frac{\partial f}{\partial x_i}$ (7)
	$u_i(y)$	Dodatak standardnoj nesigurnosti zbog standardne nesigurnosti ulaznog podatka $x_i$	$u_i(y) = c_i \cdot u(x_i)$ (8)
	$u(y)$	Standardna nesigurnost	$u(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N u_i^2(y)}$ (9)
Proširena mjerna nesigurnost	$U(y)$	Proširena mjerna nesigurnost	Vidjeti jednadžbe (10) i (11)

Kod normalne se razdiobe standardna (ili proširena) mjerna nesigurnost računa pomoću sljedećeg izraza [2]

$$u(x) = \frac{U(x)}{k} \quad (10)$$

dok se kod pravokutne razdiobe standardna mjerna nesigurnost računa iz [2]

$$u(x) = \frac{a}{\sqrt{3}} \quad (11)$$

### 2.1.1.2. Komponente mjerne nesigurnosti

Kako bi se odredila relativna mjerna nesigurnost (standardna  $w_{uzl./sil.}$  pa proširena  $W_{uzl./sil.}$ ) potrebno je poznavati iznose komponenti mjerne nesigurnosti. Svaka se komponenta računa iz pripadajućih jednadžbi koje je moguće pronaći u smjernicama DKD-R 6-1. [9]

Ako se uzlazna i silazna serija mjerenja tlakova u pojedinim izabranim točkama računaju odvojeno, tada se relativna proširena mjerna nesigurnost  $W_{uzl./sil.}$  dobiva iz sljedeće jednadžbe [9]

$$W_{uzl./sil.} = k \cdot w_{uzl./sil.} \quad (12)$$

gdje je  $k$  jednak dva, jer se radi o proširenoj mjernoj nesigurnosti. Relativna standardna mjerna nesigurnost  $w_{uzl./sil.}$  računa se prema sljedećem izrazu [9]

$$w_{uzl./sil.} = \sqrt{w_{standardno}^2 + w_{kalibratora}^2 + w_{pojačala}^2 + w_{pomoćnog\ uređaja}^2 + w_{odstupanje\ u\ nuli}^2 + w_{ponovljivosti}^2} \quad (13)$$

Kada se relativna proširena mjerna nesigurnost odredi za svaku točku mjerenja, zadnji korak je napraviti sljedeće dijagrame:

- dijagram odstupanja sa mjernom nesigurnosti u odnosu na tlakove koji su se koristili u umjeravanju
- dijagram raspona pogreške u odnosu na tlakove koji su se koristili u umjeravanju [9]

### 2.1.2. Uvod u Postupak međuprovjere etalonske opreme za mjerenje tlaka

Budući da za postupak međuprovjere pretvornika tlaka nije poznato da postoji ikakva norma, postupak je određen dogovorno u LPM-u i prema radovima prethodnih kolega.

Postupak se sastoji od očitavanja vrijednosti ostvarenog tlaka na tlačnoj vagi preko pokazne jedinice odnosno kalibratora tlaka i zapisivanja vrijednosti u tablice. Kako bismo mogli zaključiti postiže li etalonska oprema za mjerenje tlaka (i nakon preseljenja LPM-a na novu lokaciju) zadovoljavajuće rezultate mjerenja, unaprijed je potrebno utvrditi kriterije prihvatljivosti za rezultate međuprovjera. Vrijednosti tlaka očitanih na pokaznoj jedinici bit će



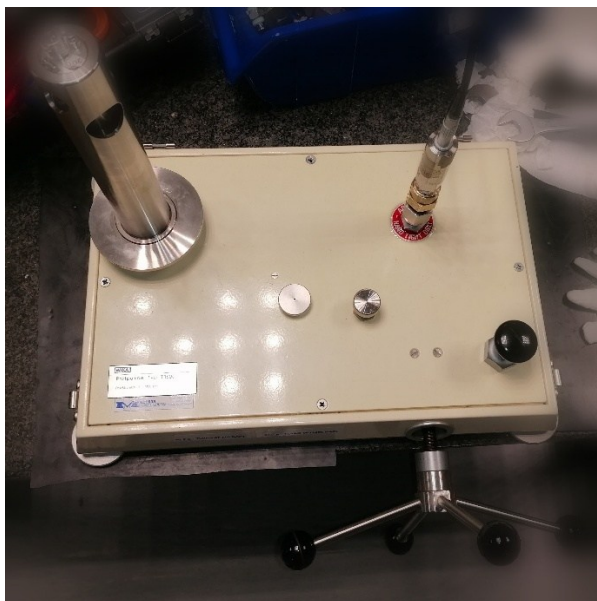
dane kasnije u tablicama, kao i sami kriteriji prihvatljivosti za rezultate međuprovjera. Mjerenja su izvedena u LPM-u na četiri mjerila. Tih četiri različitih mjerila sastoje se od:

1. pretvornika tlaka proizvođača Druck, interne oznake TLPRE05 i pokazne jedinice Druck DPI 615
  - s tlačnom vagom proizvođača Budenberg kao radnim etalonom, tip 600, internih oznaka TLVAG01 a koja ima dva mjerna područja (prvo mjerno područje 1-60 bara) (drugo mjerno područje 10-600 bara), tako da su područja mjerenja bila dva:
    - prvo područje mjerenja: tlakovi 0, 10 i 20 bara
    - drugo područje mjerenja: tlakovi 100 i 130 bara



**Slika 12. Tlačna vaga Budenberg**

2. pretvornika tlaka proizvođača Druck, interne oznake TLPRE05 i pokazne jedinice Druck DPI 615
  - s tlačnim vagama proizvođača Pressurements, tip T1300, internih oznaka TLVAG07 (mjerno područje 7-70 bar) i TLVAG08 (mjerno područje 30-1400 bar) kao radnim etalonima, tako da su ponovno bila dva područja mjerenja:
    - prvo područje mjerenja: tlakovi 30 i 130 bara postignuti utezima na tlačnoj vagi interne oznake TLVAG08
    - drugo područje mjerenja: tlakovi 20 i 60 bara postignuti utezima na tlačnoj vagi interne oznake TLVAG07



**Slika 13. Tlačna vaga Pressurements**

### 3. kalibratora tlaka Druck DPI 615

- s tlačnim vagama internih oznaka TLVAG09 (mjerno područje 0,08-3,5 bar) i TLVAG10 (mjerno područje 1-70 bar) kao radnim etalonima, tako da su bila tri područja mjerenja:
  - prvo područje mjerenja: tlakovi -0,2 (apsolutni tlak iznosi 0,8 bara) i -0,7 bara (apsolutni tlak iznosi 0,3 bara) postignuti utezima na tlačnoj vagi interne oznake TLVAG09
  - drugo područje mjerenja: tlakovi 1 i 3 bara postignuti utezima na tlačnoj vagi interne oznake TLVAG09
  - treće područje mjerenja: tlakovi 10 i 20 bara postignuti utezima na tlačnoj vagi interne oznake TLVAG10



Slika 14. Tlačna vaga internih oznaka TLVAG09

4. pretvornika tlaka, koji je ujedno i barometar, proizvođača Vaisala, tip PTB 220, interne oznake TLPRE01
  - s tlačnom vagom TLVAG09 (mjerno područje 0,08-3,5 bar) s jednim područjem mjerenja
    - područje mjerenja: tlakovi 800 hPa (0,8 bara) i 1000 (1 bar pretlaka) hPa

## 2.2. Interno umjeravanje i međuprovjere opreme za mjerenje temperature

Postupak umjeravanja opreme za mjerenje temperature sažeto će se izložiti s obzirom na umjeravanje platinskih otporničkih termometara. Postupak je sličan postupku umjeravanja pretvornika tlaka, jer je i u ovom slučaju potrebno pronaći standardnu tj. proširenu mjernu nesigurnost kako bi rezultat umjeravanja (ili mjerenja) bio potpun.

Postupak međuprovjere određen je dogovorno u LPM-u i prema radovima prethodnih kolega, jer nije poznato da postoji bilo kakva smjernica za međuprovjeru opreme za mjerenje temperature.

### 2.2.1. Postupak za umjeravanje etalonskih mjerila temperature s platinskim otporničkim termometrima

Oprema koja sudjeluje u procesu umjeravanja je:

- platinski otpornički termometri – umjeravani i etalonski

- kupka s regulatorom temperature
- otpornički most
- multipleksor sa svojom komunikacijskom i upravljačkom jedinicom

### 2.2.1.1. Mjerna nesigurnost

Kao i kod umjeravanja pretvornika tlaka, mjerna sigurnost se dijeli u dva tipa [5]:

- Tip A: za određivanje vrijednosti mjerne nesigurnosti koriste se postupci iz statistike, poput određivanja standardne devijacije i broja stupnjeve slobode, na način da se mjerenja ponove više od deset puta

i

- Tip B: za određivanje standardne devijacije koriste se već provedena znanstvena otkrića i može se procijeniti temeljem podataka iz već provedenih mjerenja, specifikacija proizvođača i npr. certifikata iz umjeravanja.

Kod mjerne nesigurnosti tipa B postoji puno razdioba vjerojatnosti. Najpoznatije su normalna, trokutasta i pravokutna razdioba. Kao i kod pretvornika tlaka, kako bi se mjerna nesigurnost mogla provesti potrebno je:

- pronaći sve značajne izvore mjerne nesigurnosti,
- procijeniti standardnu mjernu nesigurnost svih izvora  $u(x)$ ,
- odrediti pripadajuće koeficijente osjetljivosti
- i na kraju ukupnu standardnu mjernu nesigurnost  $u(T)$  ili proširenu zbog više zahtijevane razine pouzdanosti  $U(T)$ . [2]

Standardna mjerna nesigurnost kod platinskih otporničkih termometara računa se kao i kod pretvornika tlaka prema jednadžbi (9) [5]

$$u(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N u_i^2(y)}$$

Proširena mjerna nesigurnost također se dobiva kao i kod pretvornika tlaka prema jednadžbi (10) [5]

$$U(T) = k \cdot u(T)$$

### **2.2.2. Uvod u Postupak međuprovjere etalonske opreme za mjerenje temperature**

Budući da za postupak međuprovjere opreme za mjerenje temperature nije poznato da postoji ikakva norma, postupak je određen dogovorno u LPM-u. Kako bismo mogli zaključiti postiče li etalonska oprema za mjerenje temperature (i nakon preseljenja LPM-a na novu lokaciju) zadovoljavajuće rezultate mjerenja, unaprijed je potrebno utvrditi kriterije prihvatljivosti za rezultate međuprovjera.

Vrijednosti napona očitanih s multimetara Keithley iz 1. mjerila, odnosno otpora platinskih otporničkih termometara preračunatih u temperaturu kupke u 2. mjerilu, bit će dane kasnije u tablicama, kao i sami kriteriji prihvatljivosti za rezultate međuprovjera.

#### **2.2.2.1. Postupak međuprovjere mjerila kojeg čine multimetri**

Mjerilo je sa svim svojim komponentama opisano u točki 1.4.2.1. Sastoji se od Pt/Pd termopara proizvođača NPL, termometrijske peći interne oznake Tepec02 i triju multimetara proizvođača Keithley.

Kod ovog se mjerila, postupak sastoji od očitavanja vrijednosti napona s multimetara Keithley svakih dvadesetak sekundi i ručnog zapisivanja u tablicu. Na njih je spojen Pt/Pd termopar proizvođača NPL, a on je uronjen u termometrijsku peć interne oznake Tepec02. Zatim se iz tih mjerenja uzme srednja vrijednost napona za svaki multimetar i ta se vrijednost izmjenog napona napiše skupa sa standardnim mjernim nesigurnostima Keithley multimetara.

Na taj se način, pri budućim međuprovjerama ovoga mjerila, može utvrditi je li prilikom selidbe LPM-a natrag na FSB došlo do prevelikih odstupanja pri mjerenju napona na multimetrima koji su spojeni s Pt/Pd termoparom, a on je uronjen u termometrijsku peć zagrijanu na 800 °C. To će biti u slučaju da je vrijednost izmjenog napona izvan definiranog intervala tj. kriterija prihvatljivosti. Kriterij prihvatljivosti za rezultate međuprovjera s obzirom na mjerila temperature bit će dan u 3. poglavlju.

#### **2.2.2.2. Postupak međuprovjere mjerila kojeg čine platinski otpornički termometri**

Ovo je mjerilo sa svim svojim komponentama opisano u točki 1.4.2.2. Sastoji se od platinskih otporničkih termometara uronjenih u kupku Kambič OB-15/2 zagrijanu na 50 °C i ostale prethodno navedene opreme.

Za razliku prethodno navedenog mjerila temperature s termoparom uronjenim u termometrijsku peć, kod ovog se mjerila rezultati mjerenja bilježe za svakih osamdeset sekundi. Ovdje se to ne radi ručno, već se vrijednosti otpora automatski ispisuju u računalnom programu i pretvore u temperaturu kupke. Također se uzima srednja vrijednost veličina, ovdje otpora i temperature, ali za posljednjih pola sata. Ta se srednja vrijednost temperature napiše skupa sa standardnim mjernim nesigurnostima platinskih otporničkih termometara proizvođača Fluke.

Na taj se način, pri budućim međuprovjerama ovoga mjerila, može utvrditi je li prilikom selidbe LPM-a natrag na FSB došlo do prevelikih odstupanja pri mjerenju temperatura kupke pomoću platinskih otporničkih termometara. To će biti u slučaju da je vrijednost izmjerene temperature izvan definiranog intervala tj. kriterija prihvatljivosti. Kriterij prihvatljivosti za rezultate međuprovjera s obzirom na mjerila temperature bit će dan u 3. poglavlju.

### **2.3. Interno umjeravanje i međuprovjere opreme vezane uz mjerenje otpora**

#### **2.3.1. Uvod u Postupak međuprovjere etalonske opreme za mjerenje otpora**

Budući da za postupak međuprovjere opreme za mjerenje otpora nije poznato da postoji ikakva norma, postupak je određen dogovorno u LPM-u. Kao i kod etalonske opreme za mjerenje tlaka i temperature, i kod ove je opreme potrebno unaprijed utvrditi kriterije prihvatljivosti za rezultate međuprovjera. To je potrebno kako bismo mogli zaključiti postiže li etalonska oprema za mjerenje otpora (i nakon preseljenja LPM-a na novu lokaciju) zadovoljavajuće rezultate mjerenja.

Vrijednosti otpora pojedinog fiksnog otpornika ispisuju se na računalu, u excel tablici. Rezultat mjerenja otpora pojedinog fiksnog otpornika bilježi se nakon što prođe jedna minuta. Kao i u prethodnim međuprovjerama opreme, i ovdje se uzima srednja vrijednost mjerenog otpora pojedinog fiksnog otpornika kroz posljednjih pola sata mjerenja. Zatim se srednja vrijednost otpora pojedinog fiksnog otpornika napiše skupa sa standardnim mjernim nesigurnostima fiksnih otpornika proizvođača Tinsley.

Na taj se način, pri budućim međuprovjerama ovoga mjerila, može utvrditi je li prilikom selidbe LPM-a natrag na FSB došlo do prevelikih odstupanja pri mjerenju otpora fiksnih otpornika uronjenih u uljnu kupku fiksne temperature 23 °C. To će biti u slučaju da je vrijednost izmjerenog otpora izvan definiranog intervala tj. kriterija prihvatljivosti. Kriterij prihvatljivosti za rezultate međuprovjera s obzirom na mjerila otpora bit će dan u 3. poglavlju.

### 3. KRITERIJI PRIHVATLJIVOSTI ZA REZULTATE MEĐUPROVJERA

#### 3.1. Kriteriji prihvatljivosti za rezultate međuprovjera s obzirom na mjerila tlaka

S obzirom da norma za kriterije prihvatljivosti kod međuprovjera ne postoji, tj. nije pronađena u literaturi, u LPM-u je dogovorena metoda za dopušteno odstupanje mjerila tlaka od etalonske vrijednosti, tj. iznosa. S obzirom da je poznata apsolutna vrijednost maksimalnog odstupanja pojedine opreme u mjerilu  $|DEV_{M_i}|$ , pretpostavljeno je da zbroj apsolutnih vrijednosti maksimalnih odstupanja pojedinog uređaja u mjerilu  $\sum_{i=1}^N |DEV_{M_i}|$  predstavlja maksimalno dopušteni iznos odstupanja mjerenja danih mjerila  $DEV_{mjerila,j}$ .

$$DEV_{mjerila} = \sum_{i=1}^N |DEV_{M_i}| \quad (14)$$

Kriterij prihvatljivosti za rezultate međuprovjera s obzirom na mjerila tlaka postavljen je na način da se  $p_{mjerilo}^{next}$  nalazi unutar sljedećeg intervala

$$p_{mjerilo} - DEV_{mjerila} < p_{mjerilo}^{next} < p_{mjerilo} + DEV_{mjerila} \quad (12)$$

pri čemu je  $p_{mjerilo}$  tlak mjerila izmjeren na premještenoj lokaciji LPM-a, a  $p_{mjerilo}^{next}$  tlak mjerila koji će se mjeriti kada se LPM vrati na izvornu lokaciju odnosno u prostore fakulteta.

#### 3.1.1. Odstupanja mjerila kojeg čine pretvornik tlaka proizvođača Druck interne oznake TLPRE05 i pokazna jedinica Druck DPI 615

Odstupanja pojedine opreme mjerila dana su u donjoj tablici

Tablica 8. Odstupanja opreme

Interna oznaka	Proizvođač i tip	$ DEV_i $ [mbar]	$ DEV_{M_i} $ [mbar]
TLPRE05	Druck, 135b139	< 34	34
TLPRE04	Druck, DPI 615	< 2	2

Primjer izračuna maksimalno dopuštenog iznosa odstupanja mjerila kojeg čine pretvornik tlaka proizvođača Druck, interne oznake TLPRE05 i pokazna jedinica Druck DPI 615

$$DEV_{TLPRE05+TLPRE04} = |DEV_{M_{TLPRE05}}| + |DEV_{M_{TLPRE04}}| = 36 \text{ mbar}$$

### 3.1.2. Odstupanja mjerila kojeg čine pretvornik tlaka proizvođača Druck interne oznake TLPRE05 i pokazna jedinica Druck DPI 615

Odstupanja pojedine opreme mjerila dana su u donjoj tablici

**Tablica 9. Odstupanja opreme**

Interna oznaka	Proizvođač i tip	$ DEV_i $ [mbar]	$ DEV_{M_i} $ [mbar]
TLPRE05	Druck, 135b139	< 34	34
TLPRE04	Druck, DPI 615	< 2	2

Maksimalan dopušten iznos odstupanja mjerila kojeg čine pretvornik tlaka proizvođača Druck, interne oznake TLPRE05 i pokazna jedinica Druck DPI 615 iznosi

$$DEV_{TLPRE05+TLPRE04} = |DEV_{M_{TLPRE05}}| + |DEV_{M_{TLPRE04}}| = 36 \text{ mbar}$$

### 3.1.3. Odstupanja mjerila koje se sastoji od kalibratora tlaka Druck DPI 615

Odstupanja pojedine opreme mjerila dana su u donjoj tablici

**Tablica 10. Odstupanja opreme**

Interna oznaka	Proizvođač i tip	$ DEV_i $ [mbar]	$ DEV_{M_i} $ [mbar]
TLPRE04	Druck, DPI 615	< 2	2

Maksimalan dopušten iznos odstupanja mjerila koje se sastoji od kalibratora tlaka Druck DPI 615 iznosi

$$DEV_{TLPRE04} = |DEV_{M_{TLPRE04}}| = 2 \text{ mbar}$$



### 3.1.4. Odstupanja mjerila koje se sastoji od pretvornika tlaka proizvođača Vaisala interne oznake TLPRE01

Odstupanja mjerila dana su u donjoj tablici

Tablica 11. Odstupanja opreme

Interna oznaka	Proizvođač i tip	$ DEV_i $ [mbar]	$ DEV_M_i $ [mbar]
TLPRE01	Vaisala, PTB 220	< 0,2	0,2

Maksimalan dopušten iznos odstupanja mjerila koje se sastoji od pretvornika tlaka Vaisala PTB 220 iznosi

$$DEV_{TLPRE01} = |DEV_{M_{TLPRE01}}| = 0,2 \text{ mbar}$$

### 3.2. Kriteriji prihvatljivosti za rezultate međuprovjera s obzirom na mjerila temperature

Također kao i kod kriterija prihvatljivosti za rezultate međuprovjera s obzirom na mjerila tlaka, nije poznato da postoji norma za kriterije prihvatljivosti kod međuprovjera temperatura, tj. nije pronađena u literaturi. Stoga je u LPM-u dogovorena metoda za dopušteno odstupanje mjerila temperature od etalonske vrijednosti, tj. iznosa.

S obzirom da je  $i$  za mjerilo kojeg čine multimetri i za mjerilo kojeg čine platinski otpornički termometri poznata standardna mjerna nesigurnost, ovdje će se predložiti kriterij prihvatljivosti za rezultate međuprovjera oba mjerila. Taj kriterij prihvatljivosti definirat će se iz sljedećeg izraza

$$Avg_{ij} \pm u(y)_{ij} = M_{ij}^{allowed} \quad (15)$$

gdje je  $Avg_{ij}$  srednja vrijednost mjerene veličine (ovisno o pojedinom mjerilu – indeks  $i$  te pojedinom uređaju  $j$ ),  $u(y)_{ij}$  vrijednost standardne mjerne nesigurnosti pojedine opreme te  $M_{ij}^{allowed}$  dopušteni interval pojedine mjerne veličine pri budućim međuprovjerama etalonske opreme za mjerenje temperature. Te međuprovjere mogu se obaviti kada se LPM vrati na FSB.

Ako se pri budućim međuprovjerama dobije vrijednost izvan intervala vrijednosti  $M_{ij}^{allowed}$ , tada je potrebno ustanoviti je li etalonska oprema prilikom transporta oštećena ili tome slično.

### 3.3. Kriteriji prihvatljivosti za rezultate međuprovjera s obzirom na etalonsku opremu za mjerenje otpora

I u ovom slučaju, nije poznato da postoji norma za kriterije prihvatljivosti kod međuprovjera otpora, tj. nije pronađena u literaturi. Stoga je u LPM-u dogovorena metoda za dopušteno odstupanje mjerila otpora od etalonske vrijednosti, tj. iznosa.

Kriterij prihvatljivosti za mjerila otpora definirat će se preko sličnog izraza kao i za mjerila temperature prema izrazu (15)

$$Avg_i \pm u(y)_i = M_i^{allowed} \approx Default_i \quad (16)$$

Pri tom je oznaka  $Default_i$  iznos definiranog otpora fiksnog otpornika, a definirao ga je proizvođač. Ako se pri budućim međuprovjerama dobije vrijednost koja je izvan intervala vrijednosti  $Default_i$ , tada je potrebno ustanoviti je li etalonska oprema prilikom transporta oštećena ili tome slično.

## 4. PRIKAZ REZULTATA PROVEDENIH MEĐUPROVJERA I OCJENA STABILNOSTI ETALONA

U sljedećim će tablicama biti prikazani rezultati međuprovjera s obzirom na mjerila tlaka, temperature i otpora. Osim njih, bit će dana i ocjena stabilnosti etalona, odnosno je li kriterij prihvatljivosti zadovoljen za svaku pojedinu međuprovjeru.

### 4.1. Prikaz rezultata međuprovjera etalonske opreme za mjerenje tlaka i ocjena stabilnosti etalona

Najprije će biti prikazani rezultati s obzirom na mjerila tlaka. Ima ih ukupno četiri, a navedena su i opisana u točki 2.1.2.

#### 4.1.1. *Mjerilo kojeg čine pretvornik tlaka proizvođača Druck interne oznake TLPRE05 i pokazna jedinica Druck DPI 615*

U tablici su dani rezultati međuprovjere mjerila opisanog u točki 2.1.2. Uz njih, dana je i dodatno apsolutna vrijednost odstupanja tlaka mjerila  $p_{mjerilo,j}$  od tlaka etalona  $p_{etalon,j}$  označena kao  $|DEV_{meas,j}|$ . Ona se računa na sljedeći način

$$|DEV_{meas,j}| = p_{etalon,j} - p_{mjerilo,j}$$

Također u tablici su postavljeni kriteriji prihvatljivosti za tlak mjerila  $p_{mjerilo,j}^{next}$  koji će se mjeriti kada se LPM vrati na izvornu lokaciju odnosno u prostore fakulteta.

**Tablica 12. Rezultati međuprovjere mjerila i ocjena stabilnosti etalona**

	$p_{TLVAG01,j}$ [bar]	$p_{TLPRE05-TLPRE04,j}$ [bar]	$ DEV_{meas,j} $ [bar]	Interval prihvatljivosti za $p_{TLPRE05-TLPRE04,j}^{next}$
TLVAG01 prvo područje	0	0	0	[-0,036 ; 0,036]
	10	9,98	0,02	[9,944 ; 10,016]
	20	19,98	0,02	[19,944 ; 20,016]
TLVAG01 drugo područje	100	100,02	0,02	[99,984 ; 100,056]
	130	130,03	0,03	[129,994 ; 130,066]

Kriterij prihvatljivosti za tlak mjerila  $p_{mjerilo,j}^{next}$  koji će se mjeriti kada se LPM vrati na izvornu lokaciju odnosno u prostore fakulteta, dobiva se za tlak etalona 10 bar prema 3.1.

$$9,98 - 0,036 < p_{TLPRE05-TLPRE04,2}^{next} < 9,98 + 0,036$$

Dodatno će se pokazati izračun apsolutne vrijednosti odstupanja  $|DEV_{meas,j}|$  za jedan tlak etalona. Tako se za tlak etalona 10 bar dobije iznos apsolutne vrijednosti odstupanja  $|DEV_{meas,2}|$

$$|DEV_{meas,2}| = |p_{TLVAG01,2} - p_{TLPRE05-TLPRE04,2}| = |10 - 9,98| = 0,02 \text{ bar} = 20 \text{ mbar}$$

#### 4.1.2. Mjerilo kojeg čine pretvornik tlaka proizvođača Druck interne oznake TLPRE05 i pokazna jedinica Druck DPI 615

U tablici su dani rezultati međuprovjere mjerila opisanog u točki 2.1.2.

**Tablica 13. Rezultati međuprovjere mjerila i ocjena stabilnosti etalona**

	$p_{TLVAG08/07,j}$ [bar]	$p_{TLPRE05-TLPRE04,j}$ [bar]	$ DEV_{meas,j} $ [bar]	Interval prihvatljivosti za $p_{TLPRE05-TLPRE04,j}^{next}$
TLVAG08	30	29,99	0,01	[29,954 ; 30,026]
	130	130,12	0,12	[130,084 ; 130,156]
TLVAG07	20	19,98	0,02	[19,944 ; 20,016]
	60	59,97	0,03	[59,934 ; 60,006]

Kriterij prihvatljivosti za tlak mjerila  $p_{TLPRE05-TLPRE04,j}^{next}$  koji će se mjeriti kada se LPM vrati na izvornu lokaciju odnosno u prostore fakulteta, dobiva se za tlak etalona 130 bar prema 3.1.

$$130,12 - 0,036 < p_{TLPRE05-TLPRE04,2}^{next} < 130,12 + 0,036$$

Dodatno će se pokazati izračun apsolutne vrijednosti odstupanja  $|DEV_{meas,j}|$  za jedan tlak etalona. Tako se za tlak etalona 130 bar dobije iznos apsolutne vrijednosti odstupanja  $|DEV_{meas,2}|$

$$\begin{aligned} |DEV_{meas,2}| &= |p_{TLVAG08/07} - p_{TLPRE05-TLPRE04}| = |130 - 130,12| = 0,12 \text{ bar} \\ &= 120 \text{ mbar} \end{aligned}$$

#### 4.1.3. Mjerilo koje se sastoji od kalibratora tlaka Druck DPI 615

U tablici su dani rezultati međuprovjere mjerila opisanog u točki 2.1.2.

**Tablica 14. Rezultati međuprovjere mjerila i kriteriji prihvatljivosti**

	$p_{TLVAG09/10,j}$ [bar]	$p_{TLPRE04,j}$ [bar]	$ DEV_{meas,j} $ [bar]	Interval prihvatljivosti za $p_{TLPRE04,j}^{next}$
TLVAG09	-0,7	-0,710	0,01	[-0,712 ; -0,708]
	-0,2	-0,209	0,009	[-0,211 ; -0,207]
TLVAG09	1	1,001	0,001	[0,999 ; 1,003]
	3	3,003	0,003	[3,001 ; 3,005]
TLVAG10	10	10,009	0,009	[10,007 ; 10,011]
	20	20,017	0,017	[20,015 ; 20,019]

Kriterij prihvatljivosti za tlak mjerila  $p_{TLPRE04,j}^{next}$  koji će se mjeriti kada se LPM vrati na izvornu lokaciju odnosno u prostore fakulteta, dobiva se za tlak etalona 1 bar prema 3.1.

$$1,001 - 0,002 < p_{TLPRE04,3}^{next} < 1,001 + 0,002$$

Dodatno će se pokazati izračun apsolutne vrijednosti odstupanja  $|DEV_{meas,j}|$  za jedan tlak etalona. Tako se za tlak etalona 1 bar dobije iznos apsolutne vrijednosti odstupanja  $|DEV_{meas,3}|$

$$|DEV_{meas,3}| = |p_{TLVAG09/10,3} - p_{TLPRE04,3}| = |1 - 1,001| = 0,001 \text{ bar} = 1 \text{ mbar}$$

#### 4.1.4. Mjerilo koje se sastoji od pretvornika tlaka proizvođača Vaisala interne oznake TLPRE01

U tablici su dani rezultati međuprovjere mjerila opisanog u točki 2.1.2.

**Tablica 15. Rezultati međuprovjere mjerila i ocjena stabilnosti etalona**

	$p_{TLVAG09,j}$ [bar]	$p_{TLPRE01,j}$ [bar]	$ DEV_{meas,j} $ [bar]	Interval prihvatljivosti za $p_{TLPRE01,j}^{next}$
TLVAG09	0,8	0,80026	0,00026	[0,80006 ; 0,80046]
	1	1,00903	0,00903	[1,00883 ; 1,00923]

Kriterij prihvatljivosti za tlak mjerila  $p_{TLPRE01,j}^{next}$  koji će se mjeriti kada se LPM vrati na izvornu lokaciju odnosno u prostore fakulteta, dobiva se za tlak etalona 0,8 bar prema 3.1.

$$0,80026 - 0,0002 < p_{TLPRE01,1}^{next} < 0,80026 + 0,0002$$

Dodatno će se pokazati izračun apsolutne vrijednosti odstupanja  $|DEV_{meas,j}|$  za jedan tlak etalona. Tako se za tlak etalona 0,8 bar dobije iznos apsolutne vrijednosti odstupanja  $|DEV_{meas,1}|$

$$|DEV_{meas,1}| = |p_{TLVAG09,1} - p_{TLPRE01,1}| = |0,8 - 0,80026| = 0,00026 \text{ bar} = 0,26 \text{ mbar}$$

#### 4.2. Prikaz rezultata međuprovjera etalonske opreme za mjerenje temperature i ocjena stabilnosti etalona

Idući prikaz rezultata međuprovjera odnosi se na etalonsku opremu za mjerenje temperature. Dva su mjerila za mjerenje temperature i oba su opisana u dijelu 2.2.2.

##### 4.2.1. Mjerilo kojeg čine multimetri

Prema kriteriju prihvatljivosti definiranom prema jednadžbi (15)

$$Avg_{1,j} \pm u(y)_{1,j} = M_{1,j}^{allowed}$$

potrebno je pronaći dopušteni interval napona za ovo mjerilo  $M_{1,j}^{allowed}$  zbog budućih međuprovjera etalonske opreme za mjerenje temperature. Da bi se to postiglo, potrebno je pronaći srednju vrijednost mjerene veličine  $Avg_{1,j}$  i odrediti vrijednost standardne mjerne nesigurnosti pojedine opreme  $u(y)_{1,j}$ . Srednja vrijednost napona  $Avg_{1,j}$  prikazana je u sljedećoj tablici, pri čemu je za svaki multimeter dobivena zasebna vrijednost iz 10 mjerenja napona.

**Tablica 16. Srednja vrijednost napona očitanih na multimetrima  $Avg_{1,j}$  i standardna mjerna nesigurnost multimetra  $u(y)_{1,j}$**

Multimetri	$Avg_{1,j}$	[mV]	$u(y)_{1,j}$	Zadani interval $u(y)_{1,j}$ [μV]	Mjerno područje multimetra [mV]	[μV]
Keithley ENMME04	$Avg_{1,ENMME04}$	7,903	$u(y)_{1,ENMME04}$	[0,9 ; 2,7]	[0,100]	1,04
Keithley 2010:16	$Avg_{1,2010:16}$	7,90341	$u(y)_{1,2010:16}$	[0,9 ; 2,7]	[0,100]	1,04
Keithley ENMME01	$Avg_{1,ENMME01}$	7,90274	$u(y)_{1,ENMME01}$	[0,4 ; 0,9]	[0,100]	0,44

Također, u tablici je prikazana i vrijednost standardne mjerne nesigurnosti multimetara  $u(y)_{1,j}$  koja se dobiva linearnom interpolacijom za vrijednost  $\approx 7,9$  mV iz zadane standardne mjerne nesigurnosti u intervalu za svaki multimeter. Primjer interpolacije standardne mjerne nesigurnosti za multimeter Keithley ENMME04 koji je očitao vrijednost napona 7,903 mV.

$$u(y)_{1,ENMME04} = 0,9 + \frac{7,903 - 0}{100 - 0} \cdot (2,7 - 0,9) = 1,04 \mu V$$

Sada se može odrediti  $M_{1,j}^{allowed}$  za svaki multimeter. Vrijednosti su prikazane u sljedećoj tablici. Te vrijednosti su bitne zbog budućih međuprovjera mjerila, npr. kada se LPM vrati na FSB.



Tablica 17. Dopušteni interval napona za prvo mjerilo

Multimetri	$M_{1,j}^{allowed}$	[mV]
Keithley ENMME04	$M_{1,ENMME04}^{allowed}$	[7,90196 ; 7,90404]
Keithley 2010:16	$M_{1,2010:16}^{allowed}$	[7,90237 ; 7,90445]
Keithley ENMME01	$M_{1,ENMME01}^{allowed}$	[7,9023 ; 7,90318]

S izračunatim dopuštenim intervalima napona  $M_{1,j}^{allowed}$ , moguće je u budućim radovima s međuprovjerama vidjeti odstupaju li mjerenja od postavljenog kriterija izrazito ili u normalnim okvirima.

#### 4.2.2. Mjerilo temperature s platinskim otporničkim termometrima

Prema kriteriju prihvatljivosti definiranom prema jednadžbi (15)

$$Avg_{2,j} \pm u(y)_{2,j} = M_{2,j}^{allowed}$$

potrebno je pronaći dopušteni interval izmjerenih temperatura za ovo mjerilo  $M_{2,j}^{allowed}$  zbog budućih međuprovjera etalonske opreme za mjerenje temperature.

Srednja vrijednost temperatura  $Avg_{2,j}$  prikazana je u sljedećoj tablici, pri čemu je za svaki platinski otpornički termometar (PRT) dobivena zasebna vrijednost iz 24 mjerenja otpora preračunatih u temperaturu kupke. Tih posljednjih 24 mjerenja odgovara vremenskom periodu od oko pola sata. Također, u tablici je prikazana i vrijednost standardne mjerne nesigurnosti platinskih otporničkih termometara  $u(y)_{2,j}$  koja se dobiva linearnom interpolacijom za vrijednost  $\approx 50$  °C iz zadane standardne mjerne nesigurnosti u intervalu za svaki PRT.

**Tablica 18. Srednja vrijednost očitanih temperatura  $Avg_{2,j}$  i standardna mjerna nesigurnost platinskih otporničkih termometara  $u(y)_{2,j}$** 

Platinski otpornički termometri (PRT)	$Avg_{2,j}$	[°C]	$u(y)_{2,j}$	Zadani interval $u(y)_{2,j}$ [mK]	Mjerno područje PRT-a [°C]	[mK]
TEPOT21	$Avg_{2,TEPOT21}$	49,873	$u(y)_{2,TEPOT21}$	[4 , 15]	[-70 , 660]	5,81
TEPOT20	$Avg_{2,TEPOT20}$	49,888	$u(y)_{2,TEPOT20}$	[4 , 15]	[-40 , 660]	5,41
TEPOT22	$Avg_{2,TEPOT22}$	49,900	$u(y)_{2,TEPOT22}$	[4 , 15]	[-40 , 660]	5,41
TEPOT19	$Avg_{2,TEPOT19}$	49,877	$u(y)_{2,TEPOT19}$	[4 , 15]	[-70 , 660]	5,80

Primjer interpolacije standardne mjerne nesigurnosti za TEPOT21 čija je srednja vrijednost preračunate temperature 49,873 °C.

$$u(y)_{2,TEPOT21} = 4 + \frac{49,873 - (-70)}{660 - (-70)} \cdot (15 - 4) = 5,805 \text{ mK}$$

Sada se može odrediti  $M_{2,j}^{allowed}$  za svaki PRT. Vrijednosti su prikazane u sljedećoj tablici. Te vrijednosti su bitne zbog budućih međuprovjera mjerila, npr. kada se LPM vrati na FSB.

**Tablica 19. Dopušteni interval temperatura kod drugog mjerila**

Platinski otpornički termometri	$M_{2,j}^{allowed}$	[°C]
TEPOT21	$M_{2,TEPOT21}^{allowed}$	[49,8672 ; 49,9879]
TEPOT20	$M_{2,TEPOT20}^{allowed}$	[49,8825 ; 49,8934]
TEPOT22	$M_{2,TEPOT22}^{allowed}$	[49,8945 ; 49,9054]
TEPOT19	$M_{2,TEPOT19}^{allowed}$	[49,8712 ; 49,8828]

S izračunatim dopuštenim intervalima temperatura  $M_{2,j}^{allowed}$ , moguće je u budućim radovima s međuprovjerama vidjeti odstupaju li mjerenja od postavljenog kriterija izrazito ili u normalnim okvirima.

#### 4.3. Prikaz rezultata međuprovjera etalonske opreme za mjerenje otpora i ocjena stabilnosti etalona

Prema kriteriju prihvatljivosti definiranom jednačbom (16)

$$Avg_i \pm u(y)_i = M_i^{allowed}$$

potrebno je odrediti dopušteni interval izmjerenih otpora  $M_i^{allowed}$  zbog budućih međuprovjera etalonske opreme za mjerenje otpora.

Srednja vrijednost otpora  $Avg_i$  prikazana je u sljedećoj tablici pri čemu je za svaki fiksni otpornik dobivena zasebna vrijednost iz 31 mjerenja otpora u posljednjih pola sata mjerenja. Također, u tablici je prikazana i vrijednost standardne mjerne nesigurnosti fiksnih otpornika  $u(y)_i$  koja se dobiva iz podataka proizvođača.

**Tablica 20. Srednja vrijednost očitanih otpora  $Avg_i$  i standardna mjerna nesigurnost fiksnih otpornika  $u(y)_i$** 

Fiksni otpornici	$Avg_i$	[ $\Omega$ ]	$u(y)_i$	[ $\mu\Omega$ ]
EOFIX05	$Avg_{EOFIX05}$	99,999806	$u(y)_{EOFIX05}$	1
EOFIX04	$Avg_{EOFIX04}$	25,006118	$u(y)_{EOFIX04}$	1
EOFIX01	$Avg_{EOFIX01}$	25,002457	$u(y)_{EOFIX01}$	1

Dopušteni interval otpora  $M_i^{allowed}$  naveden je u sljedećoj tablici. Te vrijednosti su bitne zbog budućih međuprovjera mjerila, npr. kada se LPM vrati na FSB.

**Tablica 21. Dopušteni interval otpora**

Fiksni otpornici	$M_i^{allowed}$	[ $\Omega$ ]
EOFIX05	$M_{EOFIX05}^{allowed}$	[99,999805 ; 99,999807]
EOFIX04	$M_{EOFIX04}^{allowed}$	[25,006117 ; 25,006119]
EOFIX01	$M_{EOFIX01}^{allowed}$	[25,002456 ; 25,002458]

## 5. ZAKLJUČAK

U ovom radu provedene su međuprovjere etalonske opreme koja se koristi pri mjerenjima tlaka, temperature i otpora. Međuprovjere su provedene na pretvornicima tlaka proizvođača Druck i Vaisala, kalibratoru tlaka Druck, trima multimetrima Keithley, četirima platinskim otporničkim termometrima Fluke i trima fiksnim otpornicima Tinsley.

Prije rezultata međuprovjera opisani su postupci za interno umjeravanje i međuprovjere odabranih etalona preko relevantnih normi odnosno uputa. Tako se za opisivanje umjeravanja pretvornika tlaka koristila smjernica DKD-R 6-1. Kako bi se prilikom idućih međuprovjera znalo daje li oprema i dalje pouzdane rezultate mjerenja, unaprijed su utvrđeni kriteriji prihvatljivosti za rezultate međuprovjera. Oni su navedeni u tablicama u obliku intervala. Tako se kod mjerila tlaka kojeg čine pretvornik tlaka proizvođača Druck interne oznake TLPRE05 i pokazna jedinica Druck DPI 615 dobio kriterij odnosno interval prihvatljivosti [9,944 ; 10,016] pri tlaku etalona 10 bara. Kod mjerila temperature, za multimetar Keithley ENMME04, interval prihvatljivosti je [7,90196 ; 7,90404]. Zatim, kod mjerila temperature za platinski otpornički termometar TEPOT21 kriterij prihvatljivosti određen je intervalom [49,8672 ; 49,9879]. Posljednje mjerilo odnosilo se na fiksne otpornike. Kriterij prihvatljivosti za fiksni otpornik EOFIX01 je interval [25,002456 ; 25,002458].

Međuprovjere etalonske opreme provedene su na novoj lokaciji Laboratorija za procesna mjerenja i postavljeni kriteriji odnosno intervali prihvatljivosti mogu se koristiti kod međuprovjera koje će se provesti kada se LPM vrati na izvornu lokaciju odnosno u prostore Fakulteta strojarstva i brodogradnje.

---

## LITERATURA

- [1] <https://enciklopedija.hr/clanak/mjerenje>
- [2] TPM - Uvodno predavanje 2020.
- [3] Galović, A.: Termodinamika I, Zagreb, 2018.
- [4] Mustać, M: Međulaboratorijska usporedba u području mjerenja tlaka od 0 do 1,5 MPa, Zagreb, 2016.
- [5] Dujmović, D: Umjeravanje etalonskih mjerila temperature s platinskim otporničkim termometrima
- [6] Zvizdić, D; Grgec Bermanec L: Predavanja iz kolegija toplinska i procesna mjerenja (Mjerenja u energetici), FSB, Laboratorij za procesna mjerenja, Zagreb
- [7] Grgec Bermanec L, Matas I, Rudman V: Interno umjeravanje i međuprovjere etalona tlaka, Svijet po mjeri, 84-86, 2022.
- [8] International standard ISO/IEC 17025:2017, General requirements for the competence of testing and calibration laboratories
- [9] Guideline DKD-R 6-1, Calibration of pressure gauges, 2003.
- [10] EURAMET/cg-17/v.02, Guidelines on the Calibration of Electromechanical Manometers, 2022.

## **PRILOZI**

I. CD-R disc