

# Međulaboratorijska usporedba rezultata umjeravanja pretvornika tlaka koji koriste ulje kao radni medij

---

**Strapajević, Zvonimir**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2017**

*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:235:407296>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-27**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **ZAVRŠNI RAD**

**Zvonimir Strapajević**

Zagreb, 2017

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentor:

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

Student:

Zvonimir Strapajević

Zagreb, 2017.

Ovaj rad sam samostalno napravio uz odgovarajuću literaturu i uz pomoć znanja i vještina koje sam stekao tokom studija.

Zahvaljujem se mentorici prof. dr. sc. Lovorki Grgec Bermanec na korisnim savjetima i na uloženom vremenu potrebnom da se ovaj završni rad napravi.

Također se zahvaljujem gospodinu Alenu Jurišincu koji mi je na pristupačan način pojasnio postupak korištenja tlačne vage.

Zvonimir Strapajević



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:  
procesno-energetski, konstrukcijski, brodstrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogradnje
Datum 25-09-2017. filog
Klasa: 602-dj/17-6/4
Ur.broj: 15-1703-17-302

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: Zvonimir Strapajević Mat. br.: 0082047368

Naslov rada na hrvatskom jeziku: Međulaboratorijska usporedba rezultata umjeravanja pretvornika tlaka koji koriste ulje kao radni medij

Naslov rada na engleskom jeziku: Interlaboratory comparison of calibration results for pressure transducer using oil as transmitting medium

Opis zadatka:

Mjerenje i umjeravanje je proces koji zahtijeva stalno potvrđivanje rezultata i iskazanih mjernih nesigurnosti. S ciljem otkrivanja sustavnih pogrešaka te dobivanja i održavanja akreditacije, umjerna laboratorija uvode odgovarajuće mjere osiguranja kvalitete rezultata kao što su: sudjelovanje u međulaboratorijskim usporedbama, ponavljanje, praćenje i ocjenjivanje rezultata umjeravanja.

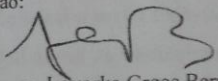
Svrha ovog rada je organizirati, provesti i analizirati međulaboratorijsku usporedbu umjernih laboratorija za tlak koja osigurava sljedivost rezultata do međunarodnih etalona. U radu koristiti mjernu opremu Laboratorija za procesna mjerenja u području 0 do 1,5 MPa koristeći ulje kao tlačni medij.

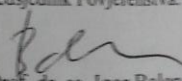
Potrebno je izraditi:

- Pregled normi i uputa za provedbu međulaboratorijskih usporedbi i obradu rezultata.
- Protokol usporedbe za tlak od 0 do 1,5 MPa.
- Opisati izbor etalona, mjernog područja i postupka umjeravanja.
- Izbor učesnika, referencijskog laboratorija i plan kruženja.
- Opis provedenih mjerenja u LPM-u i procjenu mjerne nesigurnosti.
- Analizu rezultata usporedbe određivanjem En vrijednosti.

U radu navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:	Rok predaje rada:	Predviđeni datumi obrat:
30. studenog 2016.	1. rok: 24. veljače 2017.	1. rok: 27.2. - 03.03. 2017
	2. rok (izvanredni): 28. lipnja 2017.	2. rok (izvanredni): 30. 06. 2017
	3. rok: 22. rujna 2017.	3. rok: 25.9. - 29. 09. 2017

Zadatak zadao:  
  
zv. prof. dr. sc. Lovorka Grgec Bermanec

Predsjednik Povjerenstva:  
  
Prof. dr. sc. Igor Balen

## SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	I
POPIS SLIKA .....	III
POPIS TABLICA.....	IV
POPIS OZNAKA .....	V
SAŽETAK.....	VII
SUMMARY .....	VIII
1. UVOD .....	1
1.1. Povijest i definicija mjerenja i mjeriteljstva .....	1
1.2. Osnovni pojmovi .....	2
1.2.1 Mjerenje .....	2
1.2.2. Mjeriteljstvo .....	2
1.2.3. Umjeravanje .....	2
1.2.4. Sljedivost .....	2
1.2.5. Etalon .....	3
1.2.6. Osnove mjerenja tlaka.....	3
1.3. Tlačna vaga .....	4
1.3.1. Sklop klip/cilindar .....	5
1.3.2. Izračun efektivnog tlaka .....	6
2. UMJERAVANJE MJERILA TLAKA .....	8
2.1. Razlozi i procedura za umjeravanje .....	8
2.1.1. Metode umjeravanja mjerila tlaka .....	9
2.1.2. Grafički prikaz metoda umjeravanja prema DKD-R 6-1 .....	10
2.1.3. Mjerna nesigurnost i njene podjele .....	11
2.1.4. Postupak određivanja mjerne nesigurnosti.....	12
3. PROCEDURA MEĐULABORATORIJSKIH USPOREDBI .....	15
3.1. Akreditirani laboratorij.....	15
3.2. Primjena međulaboratorijskih usporedbi .....	16
3.3. Način ispitivanja sposobnosti.....	16
3.4. Ocjena rezultata umjeravanja .....	17
3.4.1. Usporedba preko $z$ vrijednosti .....	17
3.4.2. Usporedba preko $En$ vrijednosti .....	18
3.5. Pregled normi za međulaboratorijske usporedbe .....	18

3.6. Protokol usporedbe za tlak od 0 do 1,5 MPa.....	20
4. POSTUPAK MJERENJA .....	21
4.1. Korištena oprema .....	21
4.2. Uvjeti usporedbe .....	22
4.3. Izračun mjerne nesigurnosti LPM .....	24
5. REZULTATI MJERENJA .....	25
5.1. LAB REF (mjerenje 1).....	25
5.2. LAB 1 .....	27
5.3. LAB 2.....	29
5.4. LAB 3.....	31
5.5. LAB 4.....	33
5.6. LAB 5.....	35
5.7. LAB 6.....	37
5.8. LAB 7.....	39
5.9. LAB REF (mjerenje 2).....	41
5.10. Grafički prikaz odstupanja laboratorija po mjernim točkama.....	43
6. ANALIZA REZULTATA.....	48
7. ZAKLJUČAK .....	53
LITERATURA.....	54
PRILOZI.....	55

## POPIS SLIKA

Slika 1. Osnovne SI jedinice i njihova međuovisnost.....	1
Slika 2. Odnos apsolutnog i relativnog tlaka.....	4
Slika 3. Područje primjene tlačnih vaga ovisno o vrsti radnog medija .....	5
Slika 4. Presjek sklopa klip/cilindar sa pripadajućim fizikalnim veličinama .....	6
Slika 5. Načini umjeravanja prema DKD-R 6-1 .....	10
Slika 6. Mjeriteljske organizacije u svijetu .....	15
Slika 7. Prikaz mjerne linije u LPM-FSB .....	22
Slika 8. Shema kruženja .....	23
Slika 9. Grafički prikaz odstupanja LAB REF (mjerenje 1) .....	26
Slika 10. Grafički prikaz odstupanja LAB 1 .....	28
Slika 11. Mjerna linija LAB2 .....	29
Slika 12. Grafički prikaz odstupanja LAB 2 .....	30
Slika 13. Grafički prikaz odstupanja LAB 3 .....	32
Slika 14. Grafički prikaz odstupanja LAB 4 .....	34
Slika 15. Grafički prikaz odstupanja LAB 5 .....	36
Slika 16. Grafički prikaz odstupanja LAB 6 .....	38
Slika 17. Grafički prikaz odstupanja LAB 7 .....	40
Slika 18. Grafički prikaz odstupanja LAB REF (mjerenje 2) .....	42
Slika 19. Grafički prikaz odstupanja za 0 bar .....	43
Slika 20. Grafički prikaz odstupanja za 2 bar .....	43
Slika 21. Grafički prikaz odstupanja za 4 bar .....	44
Slika 22. Grafički prikaz odstupanja za 6 bar .....	44
Slika 22. Grafički prikaz odstupanja za 7 bar .....	45
Slika 23. Grafički prikaz odstupanja za 9 bar .....	45
Slika 24. Grafički prikaz odstupanja za 11 bar .....	46
Slika 25. Grafički prikaz odstupanja za 13 bar .....	46
Slika 26. Grafički prikaz odstupanja za 15 bar .....	47



**POPIS TABLICA**

Tablica 1. Međunarodni sustav jedinica.....	1
Tablica 2. Tipovi umjeravanja prema DKD-R 6-1.....	9
Tablica 3. Distribucija nesigurnosti kod Tip B načina mjerenja.....	12
Tablica 4. Provedena mjerenja .....	23
Tablica 5. Mjerna nesigurnost za LPM mjerenje 1 .....	24
Tablica 6. Mjerna nesigurnost za LPM mjerenje 2 .....	24
Tablica 7. Rezultati mjerenja LAB REF (mjerenje 1).....	26
Tablica 8. Rezultati mjerenja LAB 1 .....	28
Tablica 9. Rezultati mjerenja LAB 2 .....	30
Tablica 10. Rezultati mjerenja LAB 3 .....	32
Tablica 11. Rezultati mjerenja LAB 4 .....	34
Tablica 12. Rezultati mjerenja LAB 5 .....	36
Tablica 13. Rezultati mjerenja LAB 6 .....	38
Tablica 14. Rezultati mjerenja LAB 7 .....	40
Tablica 15. Rezultati mjerenja LAB REF (mjerenje 2) .....	42
Tablica 16. Izračun $En$ vrijednosti za LAB 1 .....	48
Tablica 17. Izračun $En$ vrijednosti za LAB 2 .....	48
Tablica 18. Izračun $En$ vrijednosti za LAB 3 .....	49
Tablica 19. Izračun $En$ vrijednosti za LAB 4 .....	49
Tablica 20. Izračun $En$ vrijednosti za LAB 5 .....	50
Tablica 21. Izračun $En$ vrijednosti za LAB 6 .....	50
Tablica 22. Izračun $En$ vrijednosti za LAB 7 .....	51
Tablica 23. Prikaz dobivenih $En$ vrijednosti.....	51

## POPIS OZNAKA

<i>Oznaka</i>	<i>Jedinica</i>	<i>Opis</i>
$p$	$Pa$	<i>tlak</i>
$p_e$	$Pa$	<i>efektivni tlak</i>
$p_a$	$Pa$	<i>apsolutni tlak</i>
$p_b$	$Pa$	<i>barometarski tlak</i>
$p_m$	$Pa$	<i>pretlak</i>
$p_v$	$Pa$	<i>podtlak</i>
$m_i$	$kg$	<i>prava masa i-tog utega postavljenog na sklop</i>
$g$	$m/s^2$	<i>iznos lokalnog gravitacijskog ubrzanja</i>
$\rho_a$	$kg/m^3$	<i>gustoća zraka okoline</i>
$\rho_{mi}$	$kg/m^3$	<i>gustoća i-tog utega</i>
$\rho_f$	$kg/m^3$	<i>gustoća radnog medija</i>
$\alpha_k$	$^{\circ}C^{-1}$	<i>koeficijent temperaturnog rastezanja klipa</i>
$\alpha_c$	$^{\circ}C^{-1}$	<i>koeficijent temperaturnog rastezanja cilindra</i>
$A_0$	$M^2$	<i>efektivna površina sklopa pri nultom tlaku</i>
$t$	$^{\circ}C$	<i>temperatura sklopa za vrijeme ispitivanja</i>
$\lambda$	$MPa^{-1}$	<i>koeficijent elastične deformacije</i>
$\theta$	$^{\circ}$	<i>kut nagiba osi klipa u odnosu na vertikalu</i>
$v$	$kg/m^3$	<i>volumen</i>
$h$	$m$	<i>razlika visina etalonskog i ispitivanog sklopa</i>
$\Gamma$	$m$	<i>opseg klipa</i>
$c$	$N/m^2$	<i>površinska napetost radnog medija</i>
$U$	$bar$	<i>proširena nesigurnost</i>
$U_X$	$bar$	<i>proširena nesigurnost referentne vrijednosti</i>
$U_x$	$bar$	<i>proširena nesigurnost rezultata laboratorija</i>
$u$	$bar$	<i>standardna nesigurnost</i>
$u(b')$	$bar$	<i>nesigurnost ponovljivosti</i>
$u(etalon)$	$bar$	<i>nesigurnost etalona</i>
$u(f_0)$	$bar$	<i>nesigurnost nultočke</i>

$u(h)$	<i>bar</i>	<i>nesigurnost histereze</i>
$u(\text{rez})$	<i>bar</i>	<i>rezolucija</i>
$u$	<i>bar</i>	<i>standardna mjerna nesigurnost</i>
$E_n$	-	<i>statistički koeficijent</i>
$z$	-	<i>statistički koeficijent</i>

## SAŽETAK

Najprikladnije sredstvo za praćenje kvalitete rezultata tijela za ocjenjivanje sukladnosti jest, među ostalom, njihovo uključivanje u programe međulaboratorijskih usporedbi. Da bi se mjeriteljski laboratoriji uključili u usporedbeno mjerenje potrebno je sa svima njima postići uniformiran dogovor oko mjernog područja, vrste etalona i korištenog tlačnog medija.

Sva mjerenja izvedena su prema DKD-R 6-1 smjernicama, odabran je tip B usporedbe, a mjerni raspon podijeljen je, sukladno normi za tip B, u 9 pojedinačnih mjerenja (0, 2, 4, 6, 7, 9, 11, 13, 15 bar). Proces usporedbe je slijedan, raspodjela predmeta ispitivanja sposobnosti ide od jednog sudionika do drugog, počevši prvo u referentnom laboratoriju (LPM) na Fakultetu strojarstva i brodogradnje, mjerilo tlaka je umjereno prema etalonskoj tlačnoj vagi interne oznake TLVAG\_01 koje koristi ulje kao tlačni medij, zatim je išlo redom: BMB Laboratorij Brcković, Gredelj, Laboring, Inspekt, Ravnoteža, DIV Laboratorij i Zavod za ispitivanje kvalitete. Nakon što je predmet usporedbe prošao kroz svih navedenih 7 laboratorija, završno mjerenje je još jednom izvedeno u referentnom laboratoriju. Za sva mjerna područja bilo je potrebno izračunati nesigurnost etalona, rezoluciju mjerila, te doprinose mjernoj nesigurnosti (histereza i ponovljivost) s ciljem dobivanja proširene mjerne nesigurnosti  $U$ . Naposljetku je provedena analiza rezultata metodom usporedbe prema  $E_n$  vrijednosti .

## **SUMMARY**

The most appropriate means of monitoring the quality of the bodies' compliance results are, among other things, their inclusion in interlaboratory comparative programs. To have metrological laboratories engaged in comparative measurements, it is necessary to achieve a uniform agreement between them on the measuring area, the type of etalon and the pressure medium used.

All measurements were performed according to DKD-R 6-1 guidelines, Type B comparisons were selected and the measurement range was divided into 9 individual measurements (0, 2, 4, 6, 7, 9, 11, 13, 15 bar). The comparison process is followed, the distribution of the subject of the ability test ranges from one participant to the second starting at the Reference Laboratory (LPM) at the Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, the pressure measurement is moderate according to the standard pressure vessel of the internal mark TLVAG\_01 which uses the oil as a pressure medium, respectively: BMB Laboratory Brckovic, Gredelj, Laboring, Inspekt, Ravnoteža, DIV Laboratory and Zavod za ispitivanje kvalitete. After the subject of the comparison has gone through all of the 7 laboratories, the final measurement was once again performed in the reference laboratory. For all measurement ranges, it was necessary to calculate the uncertainty of the standard, the resolution of the scales, and contribute to the measurement uncertainty (hysteresis and repeatability) with the aim of obtaining the extended measurement uncertainty  $U$ . Finally, the result analysis was performed by comparison of  $E_n$  values.



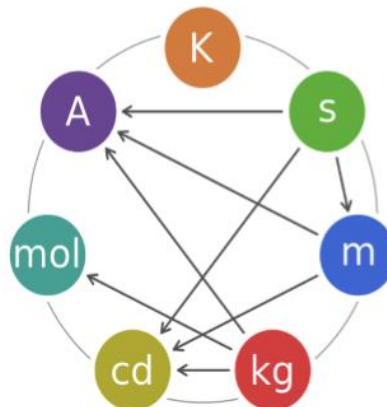
# 1. UVOD

## 1.1. Povijest i definicija mjerenja i mjeriteljstva

Kroz povijest ljudi su tražili načine na kojima bi mogli dočarati koliko je nešto veliko, udaljeno, široko, visoko ili snažno. Primjerice, u anglosaksonskim zemljama za duljinu se koristi inch, nama koji koristimo jedinice iz SI sustava inch predstavlja enigmnu koju cijelo vrijeme moramo preračunavati da bi mogli razumjeti o kojoj se izmjeri radi, no malo ljudi zna da je inch zapravo jednak uprosječnoj širini palca što dosta govori o načinima na koji su ljudi definirali neke mjerne veličine a to je korištenjem jedinog „alata“ kojeg će uvijek imati, njihovo tijelo. Kako su mnogi narodi u Europi i šire imali različite pristupe definiranja nekih mjernih veličina, potaknuti otvaranjem trgovačkih odnosa počela se razvijati ideja unificiranja mjernih veličina pa je važno napomenuti da je među prvim takvim inicijativa iz 1799., kada se u Francuskoj definirao arhivski metar i arhivski kilogram. 20. svibnja 1875. je u Parizu uspostavljen „Dogovor o metru“ i kasnije su se formirali *Međunarodni ured za utege i mjere* (BIPM) čije će sjedište biti u Parizu a biti će pod nadzorom *Međunarodnog odbora za utege i mjere* ili CIPM kojeg čine zastupnici svih vlada koje su potpisale prije navedeni dogovor. Svi navedeni događaji su nas doveli do toga da danas možemo bilo gdje u svijetu definirati neku izmjeru koja će biti shvaćena bez obzira na jezičnu barijeru zahvaljujući uspostavljenom međunarodnom sustavu jedinica, kraće SI sustavu.

Tablica 1. Međunarodni sustav jedinica

Naziv	Znak	Veličina
metar	m	duljina
kilogram	kg	masa
sekunda	s	vrijeme
Amper	A	električna struja
Kelvin	K	termodinamička temperatura
mol	mol	množina (količina) tvari
kandela	cd	svjetlosna jakost



Slika 1. Osnovne SI jedinice i njihova međuovisnost

## 1.2. Osnovni pojmovi

Da bi ovaj rad bio smislen prosječnom čitatelju potrebno je unaprijed definirati pojmove koji će se kroz njega provlačiti.

### 1.2.1 Mjerenje

Mjerenje je postupak određivanja vrijednosti neke mjerne veličine.

Dijeli se na:

- izravno mjerenje
- neizravno mjerenje.

Izravnim se mjerenjem neka mjerna veličina uspoređuje s mjernom jedinicom dok se neizravno mjerenje obavlja izravnim mjerenjem onih veličina od kojih je sastavljena mjerna veličina, te temeljem nekog znanstvenog načela, izračunom njezine vrijednosti.

### 1.2.2. Mjeriteljstvo

Mjeriteljstvo je znanost o mjerenju. Obuhvaća mjerne jedinice i njihove etalone, mjerila i njihovo područje primjene te sve teoretske i praktične probleme vezane s mjerenjem.

Kategorije mjeriteljstva su:

- znanstveno - dio mjeriteljstva koji se bavi problemima koji su zajednički za sva mjeriteljska pitanja bez obzira na mjerenu veličinu
- zakonsko mjeriteljstvo – dio mjeriteljstva uređen zakonom i drugim propisima u cilju uspostave povjerenja u rezultate mjerenja u području primjene zakonskih mjerenja
- tehničko mjeriteljstvo koje ubraja industrijsko i temeljno mjeriteljstvo. Obuhvaća postupke i načine mjerenja.

### 1.2.3. Umjeravanje

Umjeravanje, poznato i kao kalibriranje ili baždarenje, predstavlja skup postupaka kojima se u određenim uvjetima uspostavlja odnos između vrijednosti mjernih veličina koje pokazuje neko mjerilo ili mjerni sustav i odgovarajućih vrijednosti ostvarenih etalonima.

### 1.2.4. Sljedivost

Mjerna je sljedivost svojstvo nekog rezultata ili vrijednosti etalona po kojemu se on može dovesti u vezu s navedenim referencijskim etalonima, državnim ili međudržavnim, neprekinutim lancem usporedbi koje imaju utvrđene nesigurnosti. Na taj način osigurava se da mjerni rezultat ili vrijednost etalona bude povezana s referentnim etalonima koji u konačnici završavaju s primarnim etalom.



Mjeriteljska sljedivost zahtijeva uspostavljenu hijerarhiju umjeravanja. Međunarodna organizacija za akreditaciju laboratorija, ILAC, smatra da su elementi potrebni za priznavanje mjeriteljske sljedivosti:

- neprekidan lanac mjeriteljske sljedivosti prema međunarodnom mjernom etalonu ili nacionalnom mjernom etalonu
- mjeriteljska sljedivost prema SI-u
- dokumentirana mjerna nesigurnost
- dokumentirani mjerni postupak
- akreditirana tehnička sposobnost
- razdoblja umjeravanja.

### 1.2.5. Etalon

Referentni etaloni su instrumenti čija je glavna karakteristika stabilnost u dugom periodu rada. Kod umjeravanja mjerila za mjerenje tlaka, kao primarni etalon za ispitivanje ostalih mjerila najčešće koristimo tlačne vage, budući da su one najprecizniji instrumenti kada je u pitanju mjerenje tlaka, te ih kao takvima opravdano smatramo točnijima u odnosu na instrument koji umjeravamo.

Također, za umjeravanje mjerila tlakova mogu se koristiti i visokokvalitetni tekućinski manometri. No, njihova primjena u području visokih tlakova je ograničena zbog potrebne visine stupca tekućine.

Nakon umjeravanja, izrađuje se certifikat, tj. potvrda o umjeravanju, u kojem su prezentirane vrijednosti tlaka za etalon, vrijednosti za umjeravani instrument, te njihova međusobna odstupanja.

Većinu mjernih instrumenata potrebno je redovito umjeravati. Prosječno vremensko razdoblje između dva umjeravanja iznosi otprilike godinu dana, no po potrebi se može vršiti i češće.

### 1.2.6. Osnove mjerenja tlaka

Tlak je definiran kao djelovanje sile okomito (u smjeru normale) na jediničnu površinu. Kruta tijela, tekućine i plinovi mogu stvarati tlak na nekoj površini. Kod fluidnih sustava tlak je posljedica sile koja nastaje uslijed udaranja molekula u stijenku koja ga okružuje. Općenitu formulu tlaka za ravnotežni fluid možemo zapisati jednadžbom:

$$p = \frac{dF}{dA} \approx \frac{F}{A}$$

$dF$  - diferencijalni dio normalne sile na površinu

$dA$  – diferencijalni dio površine

Mjerna jedinica za tlak po Međunarodnom sustavu mjernih jedinica SI je Pascal [Pa] nazvana po Blaiseu Pascalu. To je izvedena mjerna jedinica, definirana je omjerom jednog Newtona [N] po metru kvadratnom:

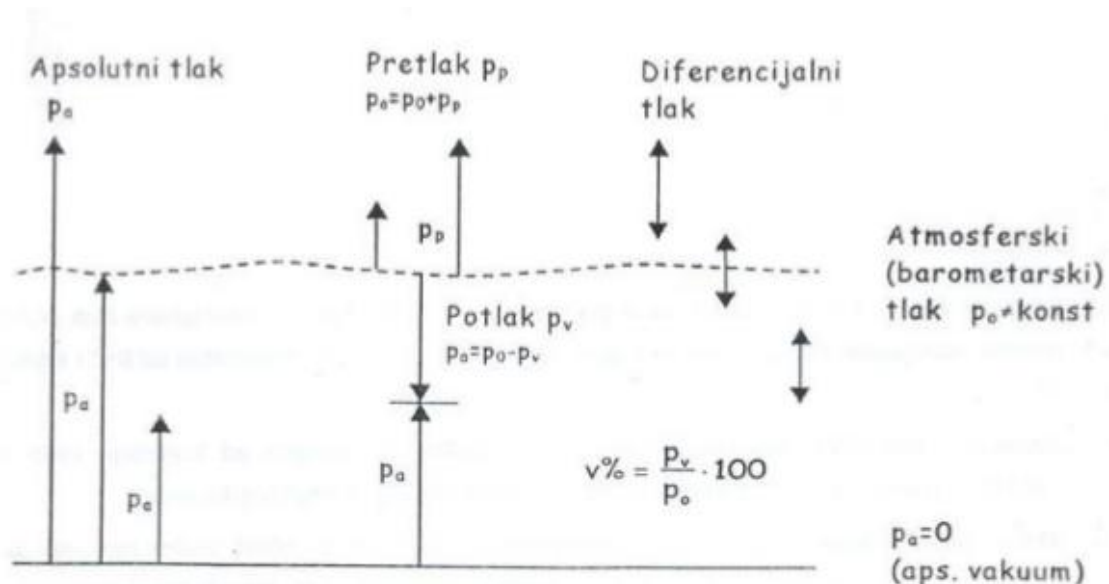
$$\frac{N}{m^2} = Pa$$

Budući da je 1 Pa vrlo mala jedinica za tlak, definirane su neke druge mjerne jedinice. Interesantno je napomenuti da su [bar] i milimetri stupca žive [mmHg] dozvoljeni iako su izvan SI sustava:

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ mmHg} = 133,322 \text{ Pa}$$

Kroz studij termodinamike i mehanike fluida upoznali smo se i sa terminima apsolutnog i relativnog tlaka. Apsolutni tlak predstavlja zbroj barometarskog i manometarskog tlaka, dok relativni tlak predstavlja manometarski tlak, odnosno vrijednost tlaka koja je određeni iznos manja od apsolutnog i tada govorimo o podtlaku ili vrijednost koja je veća od apsolutnog tlaka pa govorimo o pretlaku. Podtlak se očitava vakuometrom a pretlak se očitava preko manometra. Odnos apsolutnog i manometarskog tlaka se očitava na slici 1-2.



Slika 1. Odnos apsolutnog i relativnog tlaka

### 1.3. Tlačna vaga

Počinju se primjenjivati prije otprilike 150 godina, u doba početka primjene parnih strojeva u industriji. Razvoj tlačnih vaga potaknut je potrebom za razumijevanjem termodinamičkih svojstava plinova i tekućina pri različitim temperaturama i tlakovima. Tlačne vage su vrlo osjetljivi i precizni mjerni instrumenti na kojima se tlak generira djelovanjem sile na poznatu površinu.

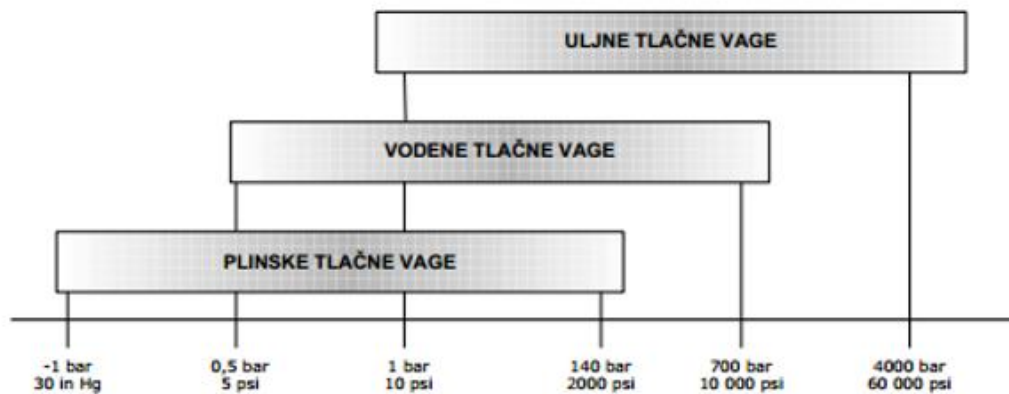
Princip rada temelji se na zakonu promjene hidrostatskog tlaka. Najvažniji dio svake tlačne vage je sklop klip/cilindar. Sklop se sastoji od precizno izrađenog okomitog klipa umetnutog u blisko prilagođeni cilindar, međusobno podmazivanih filmom fluida. Cilindrični utezi poznatih težina postavljaju se na vrh slobodnog klipa. Na donji dio klipa dovodi se fluid pod tlakom, najčešće dušik ili bijelo ulje, sve dok se ne postigne ravnoteža između narinutog tlaka i

postavljenih utega. To se očituje slobodnim rotiranjem klipa u cilindru. Kada klip slobodno rotira u cilindru, tada je vaga u ravnoteži s nepoznatim tlakom u sustavu. Bitan je kompromis radnog medija u smislu viskoznosti. Kad je viskoznost veća fluid će teže iscuriti kroz brtveni prostor, ali će istovremeno odziv sustava biti sporiji i usporavanje rotacije klipa će biti značajnije.

Obzirom na vrstu korištenog radnog medija tlačne vage mogu biti:

- uljne tlačne vage - za rad u području viših tlakova
- plinske tlačne vage - za rad pri nižim tlakovima
- vodene tlačne vage – za rad pri nižim tlakovima

Područje primjene pojedinih tlačnih vaga se jasnije vidi iz slike 1-3.



Slika 3. Područje primjene tlačnih vaga ovisno o vrsti radnog medija

### 1.3.1. Sklop klip/cilindar

Tlačne vage se s obzirom na konstrukciju sklopa klip/cilindar mogu podijeliti na:

- jednostavnu konfiguraciju  $p_j = 0$

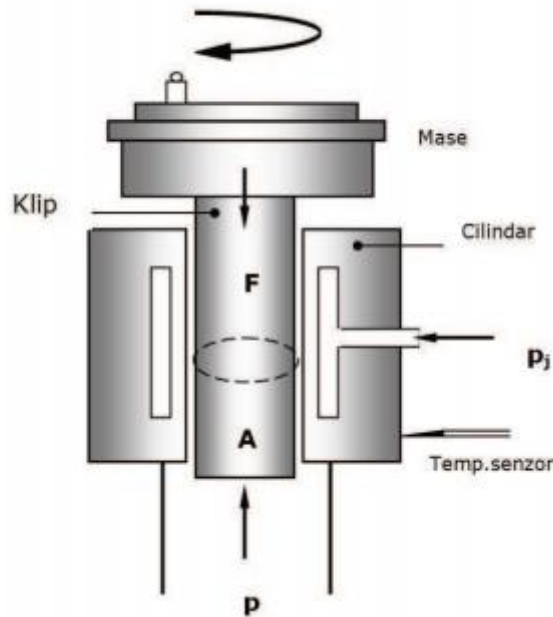
Mjereni tlak djeluje samo na bazu klipa. Jednostavna konfiguracija je najčešće korištena i najrasprostranjenija konfiguracija. Maksimalni tlak iznosi  $500 \text{ MPa}$ .

- tlačne vage s uvučenom konfiguracijom sklopa klip/cilindar kod kojih je  $p_j = p$

Kod ovog tipa tlačnih vaga mjereni tlak osim djelovanja na donju bazu klipa/cilindra djeluje i na oplošje cilindra reducirajući time velike deformacije cilindra izloženog visokim tlakovima. Radni tlakovi im sežu do  $700 \text{ MPa}$ , a kod specifičnih izvedbi čak i do  $1 \text{ GPa}$ . Danas se rijetko upotrebljavaju.

- tlakom kontrolirani zazor  $p_j \neq 0$

Veličina zazora ovisi o konstrukcijskoj geometriji sustava, inicijalnom zazoru između klipa i cilindra, vrijednostima  $p$  i  $p_j$ , konstanti elastičnosti klipa i cilindra i svojstvima radnog fluida. Ova konfiguracija koristi se za mjerenje tlakova iznad  $500 \text{ MPa}$ , do čak  $2 \text{ GPa}$ , a ono što je čini boljom u odnosu na prethodni tip jest činjenica da je operativna čak i na srednjim tlakovima. To je omogućeno zahvaljujući pravilnom odabiru tlaka  $p_j$  kojim je moguće održavati konstantnu vrijednost zazora između klipa i cilindra, čime se posredno utječe i na željenu brzinu propadanja klipa.



Slika 4. Presjek sklopa klip/cilindar sa pripadajućim fizikalnim veličinama

Glavni zahtjevi za izradu sklopa su:

- sklop mora biti izrađen od materijala koji može izdržati visoka dinamička tlačna opterećenja (obično se koriste materijali kao što su volfram, karbidi, čelici ili keramike)
- izraditi površine pomičnih dijelova u mikronskim tolerancijama
- procijep između površina klipa i cilindra mora biti mali i konstantan (obično između  $0,5 \mu\text{m}$  i  $1 \mu\text{m}$ )
- postići apsolutnu nepropusnost upotrebom odgovarajućih brtvi i spojnih elemenata
- automatski sustav pozicioniranja utega na klip ne smije opteretiti tlačnu vagu nikakvom silom jer se time gubi na preciznosti mjerenja
- ako se koriste elektromotori za vrtnju utega (približno  $30 \text{ o/s}$ , moraju biti štice i daleko od sklopa klip/cilindar da se izbjegne utjecaj njihovih toplinskih gubitaka na točnost mjerenja

### 1.3.2. Izračun efektivnog tlaka

Kada bi se radilo o idealnom sklopu, jednačba za izračun efektivnog tlaka glasila bi:

$$p_e = \frac{F}{A_e}$$

$p_e$  - efektivni tlak generiran na idealnom sklopu

F - ukupna sila koja djeluje u smjeru normale na površinu

$A_e$  – efektivna površina

S obzirom da idealni sklop ne postoji u stvarnosti formulu moramo proširiti korekcijama.

Uzimajući u obzir bitne korekcije koje se odnose na:

- elastičnu deformaciju klipa i cilindra uslijed djelovanja tlaka
- varijacije gravitacijskog ubrzanja
- uzgonsko djelovanje zraka i radnog fluida
- površinsku napetost radnog fluida
- razliku u visini stupca fluida i tlak okoline
- utjecaj temperature i posljedično temperaturno rastezanje klipa

Dobivamo jednadžbu za izračun efektivnog tlaka:

$$p_e = \frac{\left[ \sum_{i=0}^n \left[ m_i * \left( 1 - \frac{\rho_a}{\rho_{mi}} \right) \right] + (hA_0 - v) * (\rho_f - \rho_a) \right] * g * \cos\theta + \Gamma * c}{A_0 * (1 + \lambda + p_e) * [1 + (\alpha_k + \alpha_c) * (t - 20)]}$$

gdje je:

$p_e$  - efektivni tlak

$m_i$  - prava masa i-tog utega postavljenog na sklop

$\rho_a$  - gustoća zraka okoline

$\rho_{mi}$  - gustoća i-tog utega

$\rho_f$  - gustoća radnog medija

$\alpha_k$  - koeficijent temperaturnog rastezanja klipa

$\alpha_c$  - koeficijent temperaturnog rastezanja cilindra

$A_0$  - efektivna površina sklopa pri nultom tlaku

$t$  - temperatura sklopa za vrijeme ispitivanja

$\lambda$  - koeficijent elastične deformacije

$\theta$  - kut nagiba osi klipa u odnosu na vertikalu

$v$  - volumen za koji se radi korekcija zbog uzgonskog djelovanja fluida

$h$  - razlika visina etalonskog i ispitivanog sklopa

$\Gamma$  - opseg klipa

$c$  - površinska napetost radnog medija

$g$  - iznos lokalnog gravitacijskog ubrzanja

## 2. UMJERAVANJE MJERILA TLAKA

### 2.1. Razlozi i procedura za umjeravanje

Umjeravanje mjerila, mjernog sustava ili referentne tvari temeljno je oruđe za osiguravanje mjerne sljedivosti. Umjeravanje obuhvaća određivanje mjeriteljskih značajki mjerila, mjernog sustava ili referentne tvari. Ono se, u pravilu, postiže izravnom usporedbom s etalonima ili potvrđenim referentnim tvarima. O umjeravanju se izdaje potvrda o umjeravanju, a najčešće se na umjereno mjerilo stavlja naljepnica.

Četiri su glavna razloga za umjeravanje mjerila:

- osiguravanje da očitavanja mjerila budu sukladna s drugim mjerenjima
- određivanje točnosti očitavanja mjerila
- utvrđivanje pouzdanost mjerila
- uspostavljanje i prikaz sljedivosti

Prije početka umjeravanja mora se utvrditi da je predmet umjeravanja umjerljiv. Instrument mora imati funkcije kakve su mu pripisane popratnom dokumentacijom. Umjeravanje započinje pregledom instrumenta:

- čišćenje eventualnih kontaminiranih dijelova
- priprema dokumentacije potrebne za provedbu umjeravanja
- provjera spojeva, eventualnog istjecanja radnog medija
- test funkcija elektroničkih instrumenata
- provjera naljepnica, čitanje indikacija
- vizualni pregled moguće oštećenosti

Umjeravanje se provodi kad mjerni uređaj postigne temperaturu jednaku temperaturi okoline. U obzir se mora uzeti zagrijavanje instrumenta tijekom rada i nastala razlika temperature. Temperatura okoline mora biti između 18°C i 28°C uz stabilnost s odmakom od  $\pm 1$  °C. Također, ako utječe na mjerenje moraju se pratiti vrijednosti tlaka okoline i relativne vlažnosti.

### 2.1.1. Metode umjeravanja mjerila tlaka

Umjeravanje se vrši prema jednoliko raspoređenim unaprijed zadanim točkama mjerenja u rasponu do maksimalnog tlaka. Ovisno o tipu umjeravanja odabranom prema ciljanoj vrijednosti mjerne nesigurnosti provodi se jedna ili više serija mjerenja.

Prema DKD-R 6-1 (*Deutsche kalibrierdienst*) smjernicama postoje tri tipa umjeravanja mjerila tlaka. Razlikuju se u iznosu ciljane mjerne nesigurnosti, broju mjernih točaka, broju predopterećenja i broju serija mjerenja.

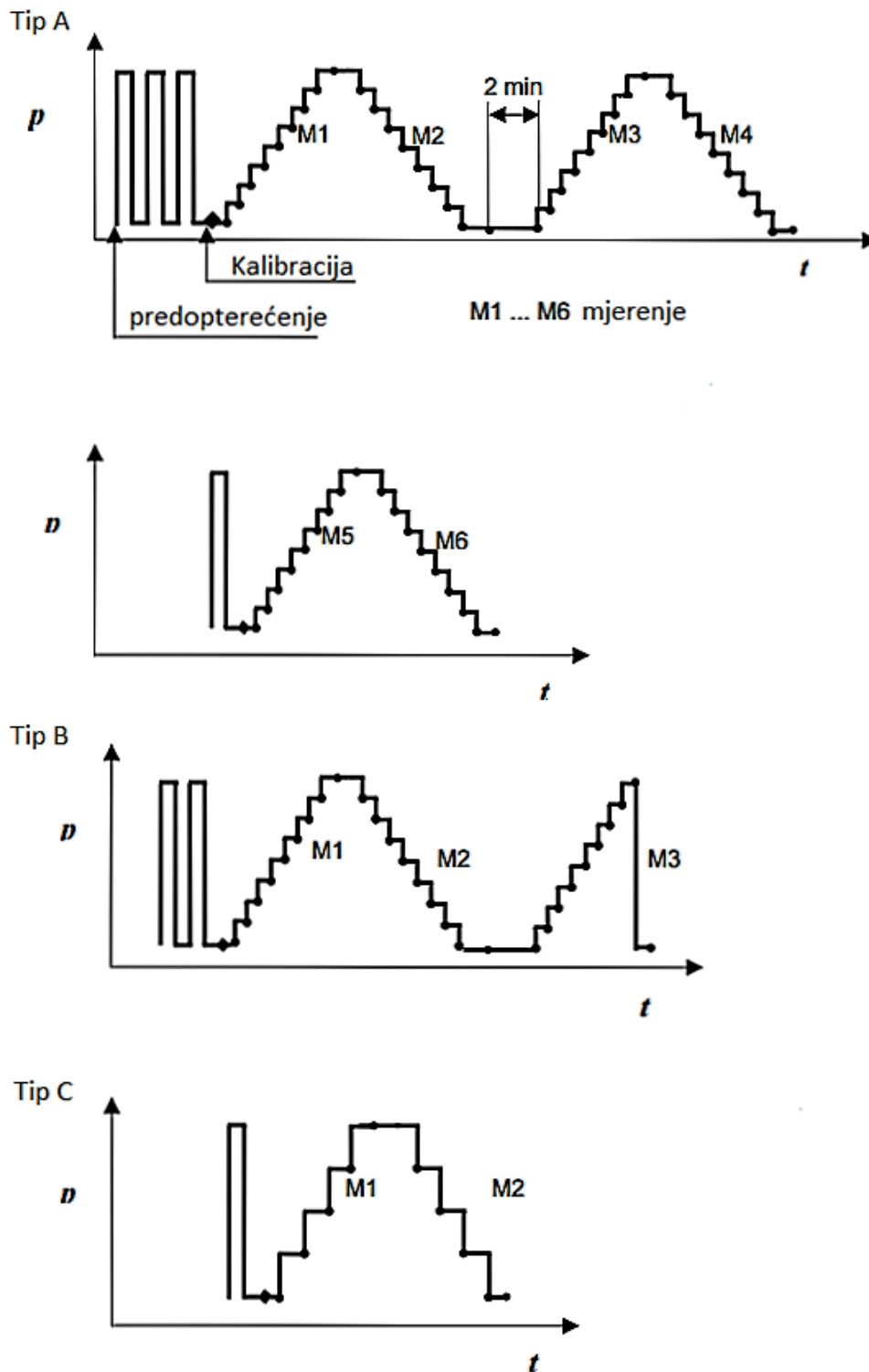
Tablica 2. Tipovi umjeravanja prema DKD-R 6-1

tip umjeravanja	ciljana mjerna nesigurnost, izražena u % mjernog raspona	broj mjernih točaka	broj predopterećenja	promjena opterećenja + vrijeme čekanja	vrijeme čekanja na gornjoj granjici mjernog raspona	broj mjernih serija	
				sec	min	gore	dolje
<b>A</b>	< 0,1	9	3	> 30	2	2	2
<b>B</b>	0,1 ... 0,6	9	2	> 30	2	2	1
<b>C</b>	> 0,6	5	1	> 30	2	1	1

Metoda A je najzahtjevnija, te daje najkvalitetnije rezultate. Glavni cilj ove metode je utvrditi sistemsku grešku i ponovljivost ispitivanog mjerila tlaka. Potrebno je napomenuti da se za raspon mjerenja do 2500 bar koristi A-tip umjeravanja.

Metoda C je najjednostavnija za provedbu, no rezultati dobiveni tom metodom su sukladno tome i najmanje pouzdani. Ukoliko se za traži provedba umjeravanja ovom metodom, tada možemo pretpostaviti da nije potrebna visoka točnost rezultata, te ne moramo koristiti tlačne vage kao etalon, nego možemo uzeti i primjerice pretvornik tlaka za koji pretpostavljamo da je dovoljno pouzdan za naše potrebe.

## 2.1.2. Grafički prikaz metoda umjeravanja prema DKD-R 6-1



Slika 5.. Načini umjeravanja prema DKD-R 6-1



### 2.1.3. Mjerna nesigurnost i njene podjele

Mjerna nesigurnost je pozitivan parametar pridružen mjernom rezultatu koji označava rasipanje vrijednosti koje bi se razumno mogle pripisati mjernoj veličini uz određenu vjerojatnost. Nesigurnost mjernog rezultata odražava pomanjkanje znanja o mjerenoj veličini. Mjerni je rezultat , zbog nesavršenosti ispravka sustavnih djelovanja te nesigurnosti koja potječe od slučajnih djelovanja, samo procjena vrijednosti mjerne veličine.

Mjerna nesigurnost mogla bi se odrediti pokusima tako da se svaka od veličina koje utječu na mjerenu veličinu mijenja i da se potom statistički procjenjuje nesigurnost. Takav postupak zahtjeva mnogo vremena i novca i zbog toga nije uobičajen. Obično se pretpostavlja matematički model ovisnosti mjerene veličine o utjecajnim veličinama i vjerojatnosna razdioba nesigurnosti. O tome koje će se veličine uzeti u obzir određuje ciljana točnost mjerenja.

Prema načinu procjene nesigurnosti sastavnice mjerne nesigurnosti se prema preporukama ISO GUM svrstavaju u dvije osnovne skupine:

- Skupina A (Tip A) - određuje se eksperimentalno, u većini slučajeva procjena mjerne nesigurnosti temelji se statističkim postupcima na osnovu niza ponovljenih mjerenja ( $n \geq 10$ ), procjeni standardne devijacije i na broju stupnjeva slobode
- Skupina B (Tip B) – procjena mjerne nesigurnosti temelji se na iskustvu temeljenom na prethodnim mjerenjima, podacima proizvođača, raznim priručnicima i izračunima. Veličina mjerne nesigurnosti dobivena ovim načinom smatra se da odgovara standardnoj devijaciji.

Takav skup podataka može uključivati:

- prijašnje mjerne podatke
- iskustvo s tvarima i instrumentima ili opće poznavanje ponašanja i svojstava bitnih tvari i instrumenata
- proizvođačke specifikacije
- podatke dane u potvrdama o umjeravanju i drugim potvrdama
- nesigurnosti dodijeljene referentnim podacima uzetim iz priručnika

Tablica 3. Distribucija nesigurnosti kod Tip B načina mjerenja

distribucija	Standardna nesigurnost
pravokutna	$u = \frac{a}{\sqrt{3}}$
trokutasta	$u = \frac{a}{\sqrt{6}}$
U - oblik	$u = \frac{a}{\sqrt{2}}$

Gdje je  $a$  granica nesigurnosti (udaljenost gornje i donje granice).

#### 2.1.4. Postupak određivanja mjerne nesigurnosti

Standardna nesigurnost veličine  $y$ , gdje je  $y$  procjena mjerene veličine  $Y$ , pa prema tome i mjernog rezultata, dobiva se odgovarajućim sastavljanjem standardnih nesigurnosti procjena ulaznih veličina  $x_1, x_2, \dots, x_N$ . Sastavljena standardna nesigurnost procjene  $y$  označuje se s  $u_i(y)$ .

##### Određivanje standardne mjerne nesigurnosti ulaznog podatka mjerenja $u(x_i)$

Funkciju modela možemo zapisati kao

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_N)$$

Dodatak standardnoj mjernoj nesigurnosti ulaznog podatka vezan za nesigurnost uzorka mjerenja  $u_i(y)$  računa se prema jednadžbi:

$$u_i(y) = c_i * u(x_i)$$

Gdje je  $c_i$  koeficijent osjetljivosti izražen kao

$$c_i = \frac{\partial f}{\partial x_i}$$

Standardna mjerna nesigurnost dodana rezultatu:

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

Određivanje proširene mjerne nesigurnosti

Proširena nesigurnost je veličina koja određuje interval oko mjernog rezultata za koji se može očekivati da obuhvaća veliki dio razdiobe vrijednosti koje bi se razumno mogle pripisati mjerenoj veličini. Proširena nesigurnost dobiva se množenjem složene standardne nesigurnosti  $u(y)$  s faktorom pokrivanja  $k$ , a označuje se s  $U$ .

Proširena mjerna nesigurnost  $U(y)$  izražava se kao

$$U(y) = k * u(y)$$

Najčešće se za vrijednost faktora pokrivenosti uzima  $k = 2$  uz vjerojatnost pokrivanja od 95%.

Komponente mjerne nesigurnosti

- ponovljivost  $b'$

$$b'_{g,j} = [(x_{3,j} - x_{3,0}) - (x_{1,j} - x_{1,0})]$$

$$b'_{d,j} = [(x_{4,j} - x_{4,0}) - (x_{2,j} - x_{2,0})]$$

$$b'_{sr,j} = \max\{b'_{g,j}, b'_{d,j}\}$$

doprinos mjernoj nesigurnosti

$$u(b') = \sqrt{\frac{1}{3} * \left(\frac{b'}{2}\right)^2}$$

- histereza  $h$

$$h_{sr,j} = \frac{1}{n} * \{[(x_{2,j} - x_{1,0}) - (x_{1,j} - x_{1,0})] + [(x_{4,j} - x_{3,0}) - (x_{3,j} - x_{3,0})] + [(x_{6,j} - x_{5,0}) - (x_{5,j} - x_{5,0})]\}$$

doprinos mjernoj nesigurnosti

$$u(h) = \sqrt{\frac{1}{3} * \left(\frac{h}{2}\right)^2}$$

- odstupanje od nultočke

$$f_0 = \max\{(x_{2,0} - x_{1,0}), (x_{4,0} - x_{3,0}), (x_{6,0} - x_{5,0})\}$$

doprinos mjernoj nesigurnosti

$$u(h) = \sqrt{\frac{1}{3} * \left(\frac{f_0}{2}\right)^2}$$

- rezolucija mjerila – nesigurnost za digitalne manometre je jednaka koraku na manometru prema DKD-R 6-1, u mojem slučaju je korak bio 0,001

$$u(\text{rez}) = \sqrt{\frac{1}{3} * \left(\frac{\text{korak}}{2}\right)^2}$$

- nesigurnost etalona - zadana u podacima o etalonu, npr.

$$u(\text{etalon}) = 1 * 10^{-4} * p_e$$

$p_e$  – efektivni tlak

### 3. PROCEDURA MEĐULABORATORIJSKIH USPOREDBI

Međulaboratorijska usporedba je organizacija, izvedba i vrednovanje mjerenja ili ispitivanja istih ili sličnih predmeta ispitivanja u dva ili više laboratorija prema unaprijed određenim uvjetima. Kvaliteta rezultata može se, također pratiti i unutrašnjim mjerama osiguranja kvalitete rezultata. Primjenom unutrašnjih i vanjskih mjera osiguranja kvalitete rezultata tijelu za ocjenjivanje sukladnosti pruža se mogućnost da svoju sposobnost dokaže kupcima svojih usluga i akreditacijskom tijelu.

#### 3.1. Akreditirani laboratorij

Akreditacija se definira kao priznanje tehničke sposobnosti, sustava kakvoće i nepristranosti laboratorija, izdana od ovlaštenog tijela. Akreditirani se mogu javni i privatni laboratoriji. Akreditacija je dragovoljna, ali većina međunarodnih, europskih i nacionalnih vlasti osigurava kakvoću laboratorija za ispitivanje i umjeravanje zahtjevom da u svojem području budu akreditirani od strane tijela za akreditaciju. Akreditacija se dodjeljuje na temelju ocjene laboratorija i redovitih pregleda. Općenito se temelji na regionalnim i međunarodnim normama, te na tehničkim specifikacijama i uputama koje su bitne za pojedinačni laboratorij. Akreditirani laboratoriji dio su Nacionalnih mjeriteljskih instituta, koji su međusobno umreženi na međunarodnoj i globalnoj razini.



Slika 6. Mjeriteljske organizacije u svijetu

### 3.2. Primjena međulaboratorijskih usporedbi

Već dugi niz godina, u cilju stalnog potvrđivanja iskazanih mjernih nesigurnosti rezultata mjerenja, laboratoriji sudjeluju u usporedbenim mjerenjima. Sudionik ispitivanja sposobnosti je laboratorij, organizacija ili osoba koja zaprima predmete ispitivanja sposobnosti i dostavlja rezultate organizatoru, dok je organizator ispitivanja sposobnosti organizacija koja preuzima odgovornost za sve zadatke razvoja i izvedbe sheme ispitivanja sposobnosti.

Uobičajene primjene međulaboratorijskih usporedbi u svrhu ispitivanja sposobnosti obuhvaćaju:

- vrednovanje izvedbi sudionika za određena ispitivanja ili mjerenja te praćenje kontinuiteta izvedbi
- otkrivanje problema u radu i poboljšanje
- utvrđivanje učinkovitosti i usporedivosti ispitnih ili mjernih metoda
- pružanje dodatnog povjerenja kupcima usluga
- usporedba metoda ili postupaka i otkrivanje razlika između laboratorija
- usporedba sposobnosti osoblja koje provodi ispitivanja ili mjerenja
- izobrazba sudionika temeljena na rezultatima provedene usporedbe
- validacija granica nesigurnosti

Primjene u kojima se pretpostavlja da je sudionik osposobljen, a koje se zbog toga ne smatraju ispitivanjima sposobnosti:

- vrednovanje značajki izvedbe metode
- dodjeljivanje vrijednosti referentnim materijalima i ocjenjivanje njihove prikladnosti za upotrebu u postupcima ispitivanja i mjerenja
- potpora izjavama o ekvivalentnosti mjerenja nacionalnih mjeriteljskih instituta kroz ključne usporedbe i dodatne usporedbe provedene u ime Međunarodnog ureda za utege i mjere (BIPM), EURAMETA i drugih regionalnih mjeriteljskih organizacija
- usporedbe dvaju ili više laboratorija na njihov vlastitu inicijativu s drugim definiranim ciljem usporedbe

### 3.3. Način ispitivanja sposobnosti

Postoje različite vrste shema ispitivanja sposobnosti svrstanih prema kategorijama.

#### Prema raspodijeli predmeta ispitivanja sposobnosti

- slijedne - raspodjela predmeta ispitivanja slijedna, od jednog do drugog sudionika
- istodobna - raspodjela slučajno odabranih predmeta istovremena prema svim sudionicima

#### Prema rezultatima ispitivanja ili mjerenja:

- kvalitativne - opisni rezultati i daju se na nominalnoj ili ordinalnoj skali
- kvantitativne - rezultati iskazani brojčanim vrijednostima, dani u intervalu i omjeru proporcija

- sheme tumačenja - nema provedbe ispitivanja ili mjerenja, predmet ispitivanja sposobnosti je mjerni rezultat podvrgnut tumačenju sudionika preko čega se očituje osposobljenost sudionika

#### Prema učestalosti provedbe:

- jednokratne - predmet ispitivanja sposobnosti se raspodjeljuje jednokratno
- kontinuirane - predmet ispitivanja sposobnosti se raspodjeljuje u određenim vremenskim razmacima

#### Prema fazi obrade predmeta ispitivanja:

- sheme prije ispitivanja ili mjerenja - sudionik mora utvrditi kakvo ispitivanje provesti
- sheme mjerenja - ispitivanje sposobnosti fokusirano na proces mjerenja
- sheme poslije ispitivanja ili mjerenja - predmet ispitivanja sposobnosti je analiza rezultata mjerenja

### **3.4 Ocjena rezultata umjeravanja**

Rezultati ispitivanja sposobnosti radi lakšeg tumačenja i mogućnosti usporedbe sa zadanim ciljevima moraju se pretvoriti u statistički proračun izvedbe. Cilj je utvrditi odstupanje od dodijeljene vrijednosti na način kako bi se omogućila lakša usporedba. Pri tome se koriste usporedbe preko  $z$  i  $E_n$  vrijednosti, a izračunata odstupanja poželjno je prikazati grafički.

#### **3.4.1. Usporedba preko $z$ vrijednosti**

$$z = \frac{(x - X)}{\delta}$$

$x$  - rezultat sudionika

$X$  - rezultat referentnog laboratorija

$\delta$  - ciljano standardno odstupanje

Ako je  $z$ :

$|z| \leq 2$  - zadovoljavajuće

$2 < |z| < 3$  - upitno

$|z| \geq 3$  - nezadovoljavajuće

### 3.4.2. Usporedba preko $E_n$ vrijednosti

U svrhu ocjene kompatibilnosti rezultata mjerenja laboratorija potrebno je izračunati faktor slaganja  $E_n$ . Faktor slaganja  $E_n$  dan je izrazom:

$$E_n = \frac{(x - X)}{\sqrt{(U_x^2 + U_X^2)}}$$

$U_x$  - proširena nesigurnost sudionika

$U_X$  - proširena nesigurnost referentnog laboratorija

Ako je  $E_n$ :

$|E_n| \leq 1$  - zadovoljavajuće

$|E_n| > 1$  - nezadovoljavajuće

Veći iznos faktora slaganja  $E_n$  upućuje na lošiju konzistentnost rezultata mjerenja i referentne vrijednosti. Može se reći da faktor slaganja  $E_n$  nije dovoljno osjetljiv na iznose mjernih nesigurnosti što bez grafičkog prikaza može dovoditi do krivih zaključaka. Posebno treba analizirati bliske vrijednosti faktora slaganja  $E_n$  da ne dođe do odbacivanja valjanog rezultata. Statističke metode koje se koriste u analizi rezultata usporedbenih mjerenja imaju svoja ograničenja o kojima treba voditi računa kod donošenja odluke o kvaliteti rezultata mjerenja. Da bi se uklonila vjerojatnost pogrešnog zaključivanja potrebno je odluke temeljiti na izračunatim kriterijima te grafičkom prikazu rezultata. Posebno je potrebno analizirati iznose faktora slaganja  $E_n$  umjesto slijepog vjerovanja brojevima.

### 3.5. Pregled normi za međulaboratorijske usporedbe

- HRN EN ISO/IEC 17011:2005, *Ocjena sukladnosti – Opći zahtjevi za akreditacijska tijela koja akreditiraju tijela za ocjenu sukladnosti*

Ova međunarodna norma određuje opće zahtjeve za akreditacijska tijela koja ocjenjuju i akreditiraju tijela za ocjenu sukladnosti. Primjenjiva je i za provedbu međusobnih ocjenjivanja akreditacijskih tijela, u svrhu 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 pružaju sljedeće usluge ocjene sukladnosti: ispitivanje, umjeravanje, inspekciju, certifikaciju sustava upravljanja, certifikaciju osoblja, certifikaciju proizvoda i ispitivanje sposobnosti.



- HRN EN ISO/IEC 17025:2007, *Opći zahtjevi za osposobljenost ispitnih i umjernih laboratorija*

Ova norma utvrđuje opće zahtjeve za osposobljenost za provedbu ispitivanja i umjeravanja, uključujući i uzorkovanje, a primjenjiva je za sve organizacije koje provode ispitivanja i umjeravanja bez obzira na vrste ispitivanja i umjeravanja, veličinu organizacije i opseg ispitivanja i umjeravanja.

- HRN EN ISO/IEC 17020:2005, *Opći zahtjevi za rad različitih vrsta tijela koja provode inspekciju*

Ova norma je izrađena s ciljem promicanja povjerenja u inspeksijska tijela. Njome se trebaju koristiti inspeksijska tijela koja provode razne oblike inspeksijskih poslova.

Norma propisuje zahtjeve koje mora ispunjavati uprava Inspeksijsko tijelo, ili organizacija čiji je tijelo dio, mora imati pravni identitet. Inspeksijsko tijelo mora imati dokumentaciju koja opisuje njezine djelatnosti i tehničko područje za koje je mjerodavno. Točan opseg inspekcije mora biti određen posebnim ugovorom ili radnim nalogom. Inspeksijsko tijelo mora imati prikladno osiguranje od odgovornosti, osim ako je tu odgovornost preuzela država u skladu s nacionalnim zakonom ili organizacija čiji je tijelo dio. Inspeksijsko tijelo ili organizacija kojoj tijelo pripada mora imati neovisno pregledano računovodstvo.

- HRN EN ISO/IEC 17043:2010, *Ocjenjivanje sukladnosti – Opći zahtjevi za ispitivanje sposobnosti*

Ova norma utvrđuje opće zahtjeve za osposobljenost organizatora shema ispitivanja sposobnosti te za razvoj i izvedbu shema ispitivanja sposobnosti. Ovi zahtjevi namijenjeni su da budu općeniti za sve vrste shema ispitivanja sposobnosti, te mogu biti upotrijebljeni kao osnova za specifične tehničke zahtjeve u pojedinom području primjene.

- ISO 13528:2005, *Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparisons*

Norma HRN ISO 13528:2012 (ISO 13528:2005), *Statističke metode pri ispitivanju sposobnosti putem međulaboratorijskih usporedbi*, jedan je od glavnih alata pomoću kojih organizatori ispitivanja sposobnosti (*Proficiency Testing Providers*, PTP) statistički obrađuju podatke dobivene tijekom provedbe ispitivanja sposobnosti.

Ono što svaka shema ispitivanja sposobnosti ima jest statistička obrada podataka, o čemu, zapravo, govori HRN ISO 13528.

Struktura norme HRN ISO 13528 takva je da obrađuje:

- 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

Osim toga, HRN ISO 13528 daje postupke za provjeru homogenosti i stabilnosti (Dodatak B) i algoritme za robusnu analizu podataka (Dodatak C).

### 3.6. Protokol usporedbe za tlak od 0 do 1,5 MPa

Tehnički protokol je bitan dio usporedbe i detaljno navodi postupak koji treba slijediti. Svrha ključne usporedbe je usporediti rezultate mjerenja sudionika, a ne zahtijevati da svaki sudionik usvoji točno iste uvjete realizacije mjerenja. Protokol treba odrediti postupke za usporedbu, ali ne i uspoređivati postupke koji se koriste za ostvarivanje standarda.

Na naslovnoj stranici protokola bilo je potrebno:

- Navesti detaljan opis uređaja: izrada, tip, serijski broj, težina, veličina i tehničke informacije potrebne za njihov rad. U slučaju ove usporedbe predmet umjeravanja je digitalni manometar, Ametek Jofra Instruments, tip je PPC 15 BAR i serijski broj mu je 940950, tlačna vaga je bila marke Budenberg.
- Navesti mjesto umjeravanja
- Navesti oznaku umjerne metode: DKD-R 6-1 (B procedura); (dodatno npr. Metrolab (Up-1/01))
- Navesti datum umjeravanja i datum izrade potvrde
- Potpis i žig mjeriteljskog ureda i izvođača mjerenja

Na drugoj(ili trećoj) stranici protokola bilo je potrebno:

- Za predmet umjeravanja potrebno je navesti: vrstu mjerila (digitalni manometar), razred točnosti, podjelu skale (0,001 bar), mjerno područje (0-15 bar) i dopušteno odstupanje
- Naznačiti uvjete okoline: temperatura zraka, tlak zraka i relativna vlažnost zraka
- Navesti korišteni etalon i sljedivost
- Objasniti postupak umjeravanja ( Kojom metodom je umjeravanje izvedeno, po kojoj normi i tipu se umjeravanje radi i navesti tip etalona koji se koristio. Navesti mjerno područje i položaj ispitivanog mjerila tijekom umjeravanja- vertikalno. Navesti tlačni medij)
- Tablično prikazati rezultate umjeravanja (tlak na etalonu, očitavanja na umjeravanom mjerilu i srednje vrijednosti)
- Tablično prikazati rezultate umjeravanja (tlak na etalonu, srednje vrijednosti, mjerni odmak, histereza, ponovljivost, mjerna nesigurnost)
- Po mogućnosti prikazati i grafički prikaz odstupanja tako da je na ordinati prikazano odstupanje a na apscisi točke umjeravanja
- Ako postoji, navesti i napomenu

## **4. POSTUPAK MJERENJA**

U svrhu izrade ovog završnog rada izvršena su mjerenja u osam različita laboratorija. Referentni laboratorij bio je Laboratorij za procesna mjerenja fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu (LPM - FSB).

Laboratorij za procesna mjerenja od 2002. godine nosi titulu akreditiranog laboratorija od strane njemačke umjerne službe – Deutscher Kalibrierdienst (DKD) te je postao nositelj Državnih etalona temperature i tlaka, a 2008. godine imenovan je nositeljem Državnog etalona vlažnosti. Osim navedenih etalona, laboratorij djeluje i na području mjeriteljstva protoka i toplinskih svojstava tvari. Temeljni zadatak laboratorija je ostvarenje navedenih mjernih jedinica znanstvenim metodama te osiguranje sljedivosti prema međunarodnim etalonima SI sustava. Laboratorij predstavlja Republiku Hrvatsku u međunarodnim međulaboratorijskim usporedbama te sudjeluje u EURAMET-ovim projektima. Laboratorijska oprema omogućuje postizanje mjeriteljskih sposobnosti laboratorija navedenih u bazi podataka Međunarodnog ureda za utege i mjere (BIPM).

### **4.1. Korištena oprema**

Uređaj: električni pretvornik tlaka sa pokazivačem

Naziv: Ametek calibrators

Proizvođač: Sofra instruments

Tvornički broj: 940950

Tip: PPC 15 bar (mjerno područje 0-15 bar)

Vlasnik mjerila: LPM - FSB

Uređaj: tlačna vaga

Proizvođač: Budenberg

Mjerno područje: 0-140 bar, 140+ bar

Vlasnik mjerila: LPM - FSB



Slika 7. Prikaz mjerne linije u LPM-FSB

#### 4.2. Uvjeti usporedbe

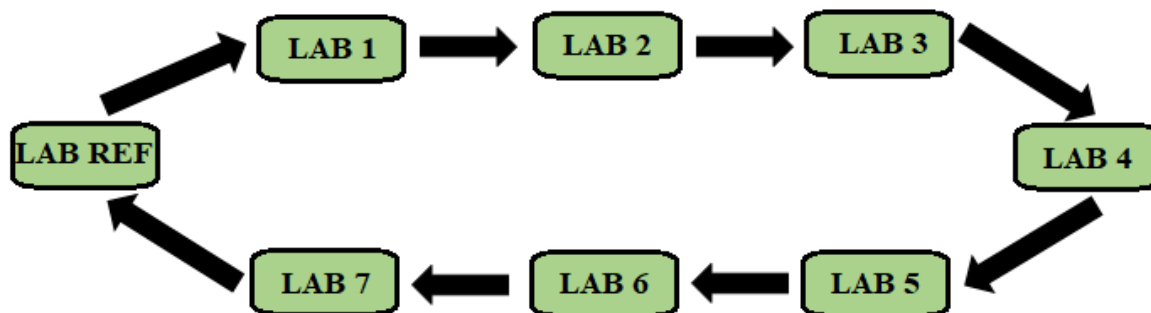
Usporedba se vršila na način da je nakon umjeravanja u referentnom laboratoriju mjerni uređaj poslan na umjeravanje u još sedam laboratorija. Nakon provedenih umjeravanja uređaj je vraćen u referentni laboratorij gdje se izvelo još jedno mjerenje. Plan kruženja mjerila bio je slijedni.

Umjeravanja su provedena prema smjernicama DKD-R 6-1, mjerenjem po principu tipa B. Kao etalon odabrana je tlačna vaga Budenberg interne oznake TLVAG\_01.

Svi laboratoriji izvršili su mjerenja u 9 različitih točaka kako slijedi: 0, 2, 4, 6, 7, 9, 11, 13 i 15 bar. Mjerenja su provedena redoslijedom: uzlazno, silazno i uzlazno.

Tablica 4. Provedena mjerenja

Oznaka laboratorija	Ime laboratorija	Datum mjerenja
LAB REF	LPM - FSB	17.05.2016.
LAB 1	BMB Laboratorij Brcković	20.05.2016.
LAB 2	Gredelj	06.06.2016.
LAB 3	Laboring d.o.o.	15.06.2016.
LAB 4	Inspekt d.o.o.	5.9.2016.
LAB 5	Ravnoteža d.o.o.	3.10.2016.
LAB 6	DIV LABORATORIJ d.o.o.	18.10.2016.
LAB 7	Zavod za ispitivanje kvalitete d.o.o.	2.11.2016.
LAB REF	LPM-FSB	8.12.2016.



Slika 8. Shema kruženja

### 4.3. Izračun mjerne nesigurnosti LPM

Tablica 5. Mjerna nesigurnost za LPM mjerenje 1

$p_e$ (bar)	$u$ (etalon)	$u$ (raz)	$u$ ( $f_0$ )	$u$ ( $b'$ )	$u$ ( $h$ )	$u$ ( $y$ )	$U$
0,000	0,00000	0,00028	0,00028	0,00000	0,00000	0,00048	0,00096
2,001	0,00010	0,00028	0,00028	0,00028	0,00028	0,00063	0,00126
4,001	0,00022	0,00028	0,00028	0,00000	0,00000	0,00053	0,00106
6,000	0,00043	0,00028	0,00028	0,00028	0,00028	0,00071	0,00143
7,000	0,00049	0,00028	0,00028	0,00000	0,00000	0,00062	0,00124
9,000	0,00060	0,00028	0,00028	0,00028	0,00000	0,00075	0,00151
11,000	0,00075	0,00028	0,00028	0,00028	0,00000	0,00083	0,00166
12,999	0,00081	0,00028	0,00028	0,00028	0,00000	0,00092	0,00184
14,999	0,00010	0,00028	0,00028	0,00028	0,00000	0,00101	0,00203

Tablica 6. Mjerna nesigurnost za LPM mjerenje 2

$p_e$ (bar)	$u$ (etalon)	$u$ (raz)	$u$ ( $f_0$ )	$u$ ( $b'$ )	$u$ ( $h$ )	$u$ ( $y$ )	$U$
0,0000	0,0000	0,0003	0,0004	0,0000	0,0000	0,0003	0,0006
2,0012	0,0001	0,0003	0,0004	0,0004	0,0004	0,0007	0,0013
4,0006	0,0004	0,0003	0,0004	0,0004	0,0004	0,0008	0,0015
5,9993	0,0006	0,0003	0,0004	0,0000	0,0000	0,0007	0,0013
6,9995	0,0007	0,0003	0,0004	0,0004	0,0004	0,0010	0,0019
8,9989	0,0009	0,0003	0,0004	0,0004	0,0004	0,0011	0,0022
10,9983	0,0011	0,0003	0,0004	0,0000	0,0000	0,0011	0,0023
12,9979	0,0013	0,0003	0,0004	0,0000	0,0000	0,0013	0,0027
14,9972	0,0015	0,0003	0,0004	0,0000	0,0000	0,0015	0,0031

## 5. REZULTATI MJERENJA

### 5.1. LAB REF (mjerenje 1)

Predmet umjeravanja: El. Pretvornik tlaka sa pokazivačem

Mjerno područje: 0-15 bar

Najmanja podjela mjerila: 0,001

Razred točnosti: 0,01%

Ciljana nesigurnost: 0,5% FS

Jedinica tlaka: bar

Naziv etalona: tlačna vaga Budenberg

Interna oznaka: TLVAG\_01

Nesigurnost etalona:  $1,1 * 10^{-4}$

Slijedivost: Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig

Uvjeti umjeravanja:

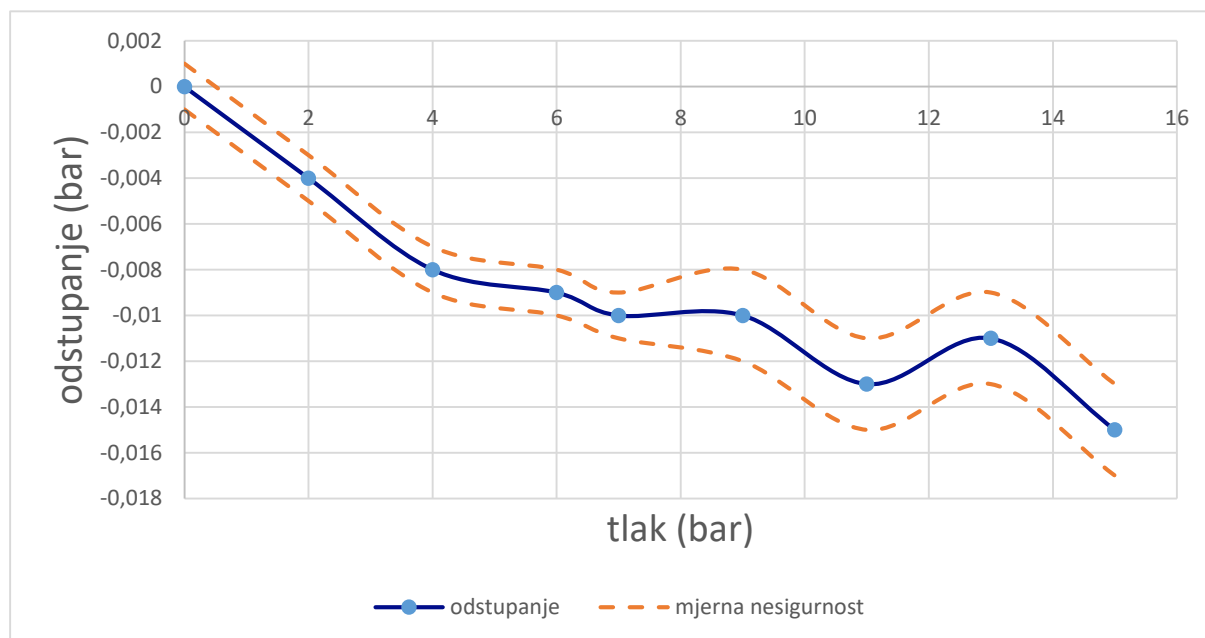
- Temperatura: 21,8 °C
- Tlak: 1019 mbar
- Relativna vlažnost: 42%
- Tlačni medij: ulje
- Pozicija ispitivanog mjerila: vertikalna

Umjerna procedura:

Instrument je umjeren pomoću etalonskih mjernih sustava Laboratorija za procesna mjerenja. Korištena je interna procedura umjeravanja metodom usporedbe CPTL-02 temeljena na DKD-R6-1

Tablica 7. Rezultati mjerenja LAB REF (mjerenje 1)

tlak na etalonu	očitanje na umjeravanom mjerilu			srednja vrijednost	mjerni odmak	histereza	mjerna nesigurnost
	uzlazno	silazno	uzlazno				
$p_e$	M1	M2	M3	$M_{sr}$	$M_{sr} - p_e$	M2-M1	U
bar	bar	bar	bar	bar	bar	bar	bar
-0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
1,999	2,002	2,002	2,002	2,002	0,003	0,000	0,000
3,999	4,001	4,001	4,001	4,001	0,002	0,000	0,000
5,999	6,003	6,003	6,002	6,003	0,004	0,000	-0,001
6,999	7,002	7,002	7,001	7,002	0,003	0,000	-0,001
8,999	9,003	9,003	9,003	9,003	0,005	0,000	0,000
10,999	11,000	11,001	11,001	11,001	0,002	0,001	0,001
12,999	13,004	13,004	13,004	13,004	0,005	0,000	0,000
14,999	15,000	15,000	15,000	15,000	0,001	0,000	0,000



Slika 9. Grafčki prikaz odstupanja LAB REF (mjerenje 1)



## 5.2. LAB 1

Predmet umjeravanja: El. Pretvornik tlaka sa pokazivačem

Mjerno područje: 0-15 bar

Najmanja podjela mjerila: 0,001

Razred točnosti: 0,01%

Ciljana nesigurnost: 0,5% FS

Jedinica tlaka: bar

Naziv etalona: tlačna vaga VDO – Budenberg; 1/120 bar; tip 380L

Mjerna nesigurnost:  $k = 2$

Nesigurnost etalona:  $1,5 * 10^{-4}$  (ne manje od 0,9 mbar)

Slijedivost: D-K 15105-01-00

Uvjeti umjeravanja:

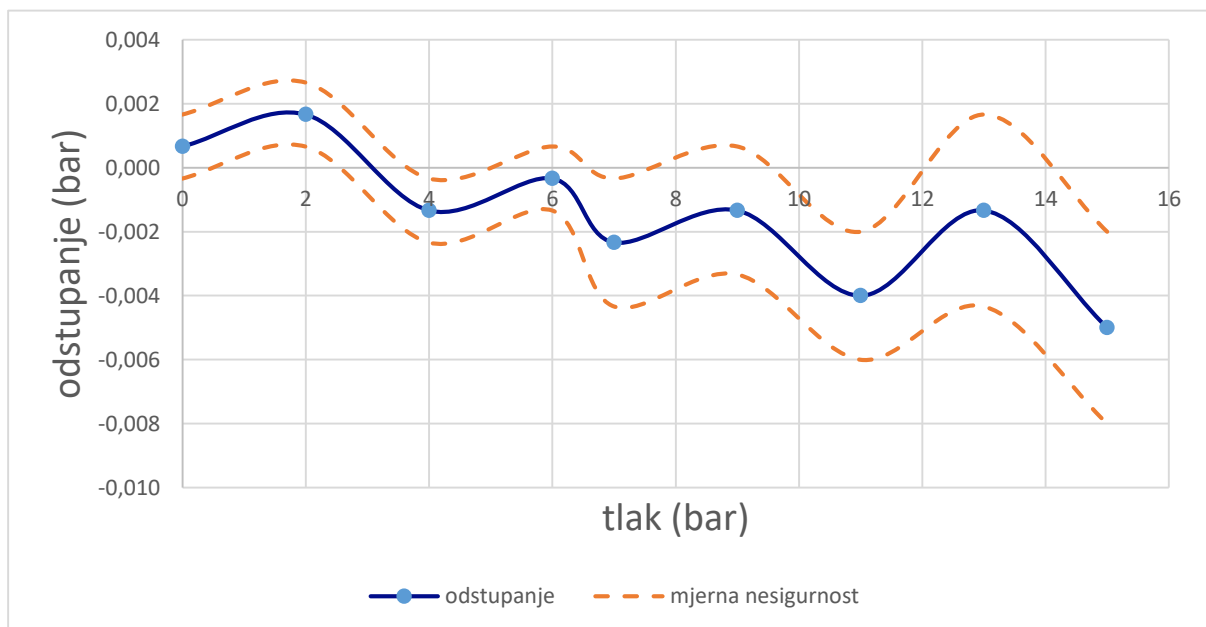
- Temperatura: 22 °C
- Tlak: 1001,9 mbar
- Relativna vlažnost: 52,5%
- Tlačni medij: ulje
- Pozicija ispitivanog mjerila: vertikalna

Umjerna procedura:

Predmet je umjeravan prema odobrenom postupku UP13 Umjeravanje mjerila tlaka sukladno uputi DKD-R 6-1, Umjeravanje mjerila tlaka

Tablica 8. Rezultati mjerenja LAB 1

tlak na etalonu	očitanje na umjeravanom mjerilu			srednja vrijednost	mjerni odmak	histereza	mjerna nesigurnost
	uzlazno	silazno	uzlazno				
$p_e$	M1	M2	M3	$M_{sr}$	$M_{sr} - p_e$	M2-M1	U
bar	bar	bar	bar	bar	bar	bar	bar
0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
1,999	2,000	2,001	2,001	2,001	0,002	0,001	0,001
3,999	3,998	3,997	3,998	3,998	-0,001	0,000	0,001
5,999	5,999	5,998	5,999	5,999	0,000	0,000	0,001
6,999	6,996	6,997	6,997	6,997	-0,002	0,001	0,002
8,999	8,997	8,998	8,998	8,998	-0,001	0,001	0,002
10,999	10,995	10,995	10,995	10,995	-0,004	0,000	0,002
12,999	12,997	12,998	12,998	12,998	-0,001	0,001	0,003
14,998	14,993	14,993	14,993	14,993	-0,005	0,000	0,003



Slika 9. Grafički prikaz odstupanja LAB 1

### 5.3. LAB 2

Predmet umjeravanja: El. Pretvornik tlaka sa pokazivačem

Mjerno područje: 0-15 bar

Najmanja podjela mjerila: 0,001

Razred točnosti: 0,01%

Ciljana nesigurnost: 0,5% FS

Jedinica tlaka: bar

Naziv etalona: tlačna vaga tip 3/PD60

Mjerna nesigurnost:  $k = 2$

Nesigurnost etalona:  $1,5 * 10^{-4}$  (ne manje od 0,9 mbar)

Slijedivost: 2-0054/15-07 FSB

Uvjeti umjeravanja:

- Temperatura: 24,5 °C
- Tlak: 998 mbar
- Relativna vlažnost: 53,6%
- Tlačni medij: zrak
- Pozicija ispitivanog mjerila: vertikalno

Umjerna procedura:

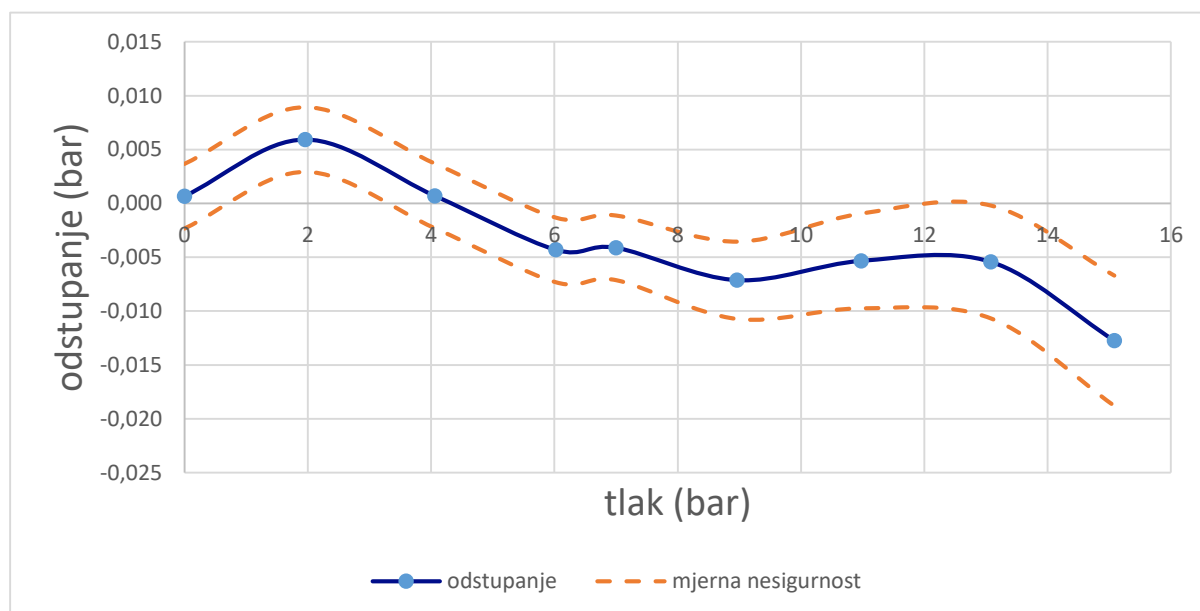
Umjeravanje je provedeno metodom DKD-R 6-1, tip B



Slika 10. Mjerna linija LAB2

Tablica 9. Rezultati mjerenja LAB 2

tlak na etalonu	očitanje na umjeravanom mjerilu			srednja vrijednost	mjerni odmak	histereza	mjerna nesigurnost
	uzlazno	silazno	uzlazno				
$p_e$	M1	M2	M3	$M_{sr}$	$M_{sr} - p_e$	M2-M1	U
bar	bar	bar	bar	bar	bar	bar	bar
0,000	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	-0,001	0,003
1,958	1,964	1,965	1,964	1,965	0,006	0,001	0,003
4,063	4,064	4,064	4,064	4,064	0,001	0,000	0,003
6,025	6,021	6,021	6,021	6,021	-0,004	0,000	0,003
7,001	6,997	6,997	6,997	6,997	-0,004	0,000	0,003
8,961	8,954	8,954	8,954	8,954	-0,007	0,000	0,004
10,977	10,972	10,972	10,972	10,972	-0,005	0,000	0,004
13,081	13,076	13,076	13,076	13,076	-0,005	0,000	0,005
15,082	15,070	15,070	15,070	15,070	-0,013	0,000	0,006



Slika 11. Grafički prikaz odstupanja LAB 2

### 5.4. LAB 3

Predmet umjeravanja: El. Pretvornik tlaka sa pokazivačem

Mjerno područje: 0-15 bar

Najmanja podjela mjerila: 0,001

Razred točnosti: 0,01%

Ciljana nesigurnost: 0,5% FS

Jedinica tlaka: bar

Naziv etalona: tlačna vaga VDO – Budenberg; 1/120 bar; tip 380L

Mjerna nesigurnost:  $k = 2$

Nesigurnost etalona:  $1,5 * 10^{-4}$  (ne manje od 0,9 mbar)

Slijedivost: Fluke 717-100, sn 8616031, umjereno do 2017-09-09; LPM, FSB, Hrvatska

Uvjeti umjeravanja:

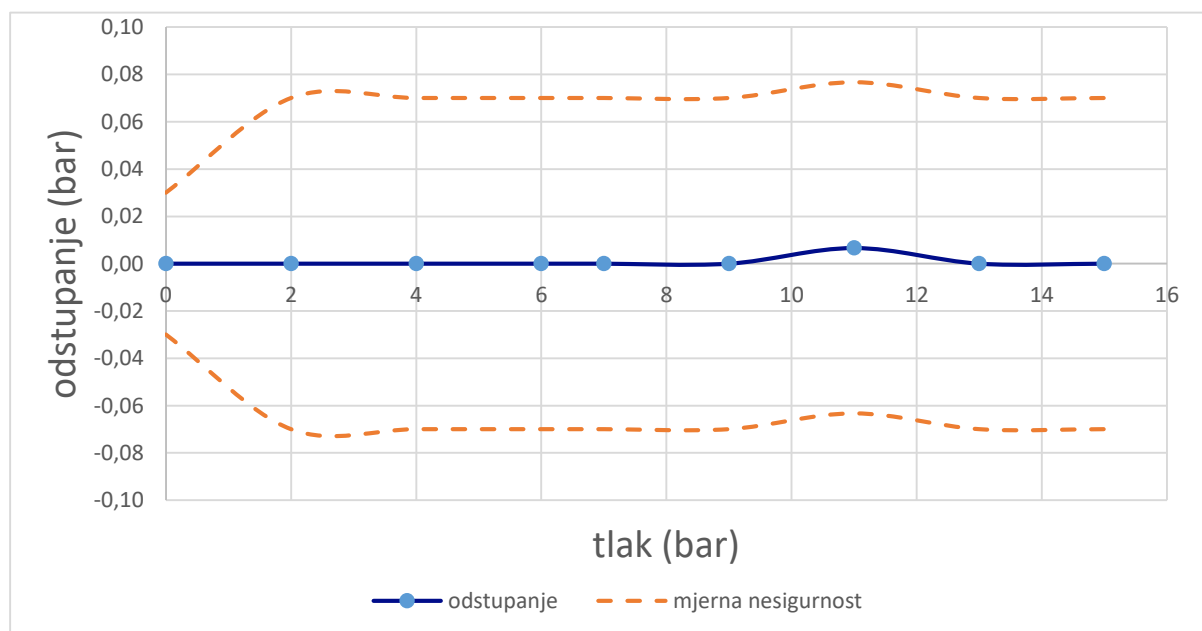
- Temperatura: 23,2 °C
- Tlak: 990 mbar
- Relativna vlažnost: 52%
- Tlačni medij: voda
- Pozicija ispitivanog mjerila: vertikalna

Umjerna procedura:

Umjeravanje se provodi akreditiranim postupkom prema DKD-R 6-1:2003 (sequence B) i EURAMET cg-17:2011

Tablica 10. Rezultati mjerenja LAB 3

tlak na etalonu	očitanje na umjeravanom mjerilu			srednja vrijednost	mjerni odmak	histereza	mjerna nesigurnost
	uzlazno	silazno	uzlazno				
$p_e$	M1	M2	M3	$M_{sr}$	$M_{sr} - p_e$	M2-M1	U
bar	bar	bar	bar	bar	bar	bar	bar
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03
2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	0,00	0,00	0,07
4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	0,00	0,00	0,07
6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	0,00	0,00	0,07
7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	0,00	0,00	0,07
9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	0,00	0,00	0,07
11,00	11,01	11,01	11,00	11,01	0,01	0,00	0,07
13,00	13,00	13,00	13,00	13,00	0,00	0,00	0,07
15,00	14,99	15,01	15,00	15,00	0,01	0,02	0,07



Slika 12. Grafički prikaz odstupanja LAB 3

## **5.5. LAB 4**

Predmet umjeravanja: El. Pretvornik tlaka sa pokazivačem

Mjerno područje: 0-15 bar

Najmanja podjela mjerila: 0,001

Razred točnosti: 0,01%

Ciljana nesigurnost: 0,5% FS

Jedinica tlaka: bar

Naziv etalona: kalibrator tlaka s dva osjetnika TK-01

Proizvođač/ tip / serijski broj: FLUKE / RPM4-E-DWT / 274

Točnost etalona:  $2,5 * 10^{-4}$

Slijedivost: FSB LPM; potvrda o umjeravanju br. 2-0003/16-02

Uvjeti umjeravanja:

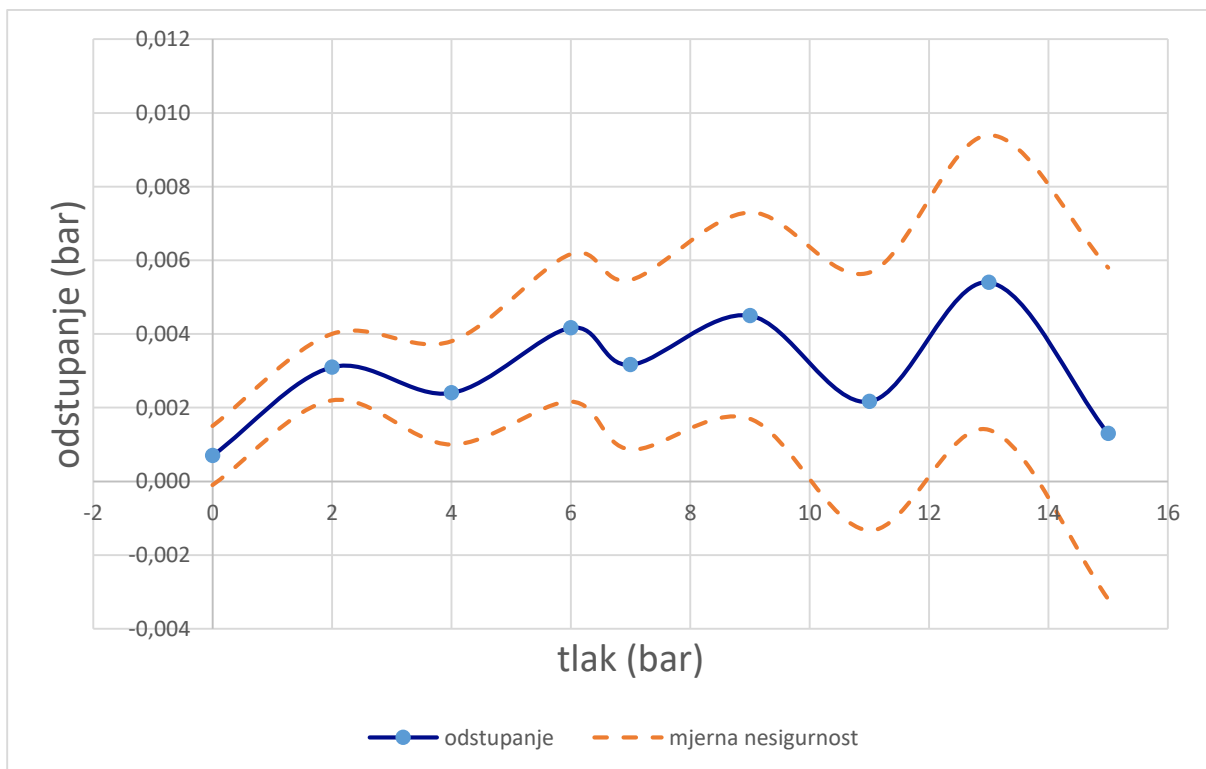
- Temperatura:  $25,5 \pm 1$  °C
- Tlak:  $1001,4 \pm 1$  mbar
- Relativna vlažnost:  $58 \pm 2$  %
- Tlačni medij: sebacate ulje
- Pozicija ispitivanog mjerila: vertikalna

Umjerna procedura:

Umjeravanje je provedeno internom MetroLab-ovom metodom Up-1/01 temeljenoj na DKD-R 6-1 (B) proceduri;

Tablica 11. Rezultati mjerenja LAB 4

tlak na etalonu	očitanje na umjeravanom mjerilu			srednja vrijednost	mjerni odmak	histereza	mjerna nesigurnost
	uzlazno	silazno	uzlazno				
$p_e$	M1	M2	M3	$M_{sr}$	$M_{sr} - p_e$	M2-M1	U
bar	bar	bar	bar	bar	bar	bar	bar
-0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001
1,999	2,002	2,002	2,002	2,002	0,003	0,000	0,001
3,999	4,001	4,001	4,001	4,001	0,002	0,000	0,001
5,999	6,003	6,003	6,002	6,003	0,004	0,000	0,002
6,999	7,002	7,002	7,001	7,002	0,003	0,000	0,002
8,999	9,003	9,003	9,003	9,003	0,005	0,000	0,003
10,999	11,000	11,001	11,001	11,001	0,002	0,001	0,004
12,999	13,004	13,004	13,004	13,004	0,005	0,000	0,004
14,999	15,000	15,000	15,000	15,000	0,001	0,000	0,005



Slika 13. Grafički prikaz odstupanja LAB 4



## 5.6. LAB 5

Predmet umjeravanja: Digitalni manometar

Mjerno područje: 0-15 bar

Najmanja podjela mjerila: 0,001

Jedinica tlaka: bar

Naziv etalona: ERP - 04

Mjerna nesigurnost:  $k=2$

Ukupna mjerna nesigurnost upotrebljenog etalona: 70 mbar

Uvjeti umjeravanja:

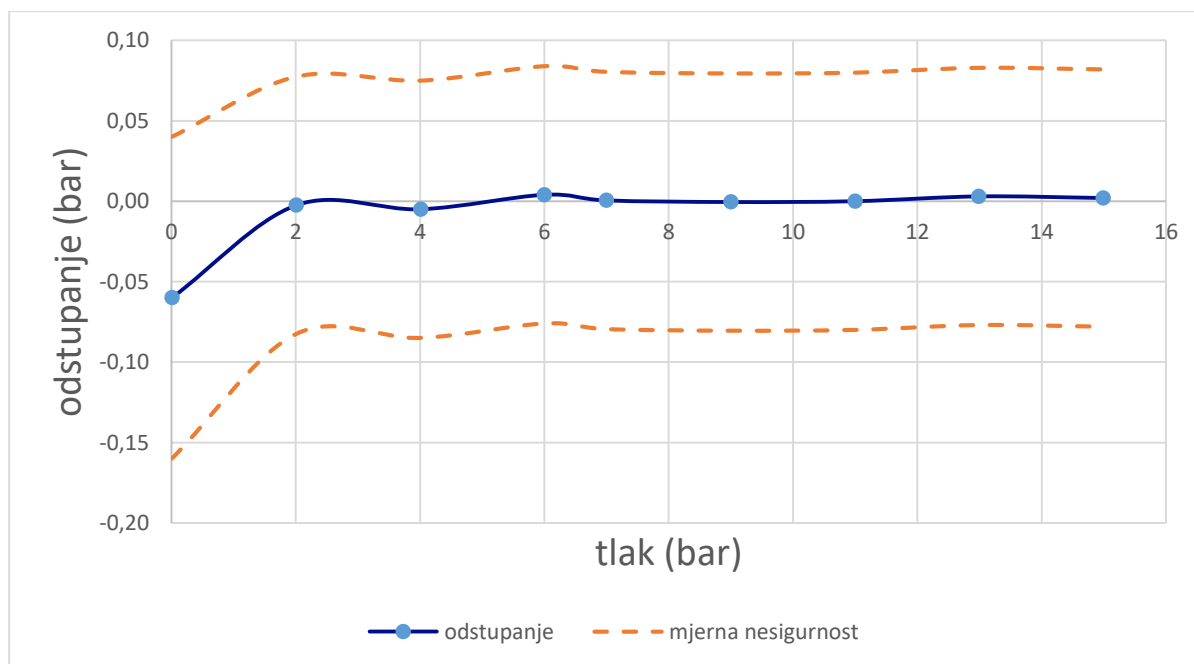
- Temperatura: 22,8 °C
- Tlačni medij: ulje
- Pozicija ispitivanog mjerila: vertikalna

Umjerna procedura:

Umjeravanje je provedeno u skladu s internom procedurom PO 5.4/1 „Postupak umjeravanja mjerila tlaka“, metodom usporedbe s etalonom LTR Ravnoteža

Tablica 12. Rezultati mjerenja LAB 5

tlak na etalonu	očitanje na umjeravanom mjerilu			srednja vrijednost	mjerni odmak	histereza	mjerna nesigurnost
	uzlazno	silazno	uzlazno				
$p_e$	M1	M2	M3	$M_{sr}$	$M_{sr} - p_e$	M2-M1	U
bar	bar	bar	bar	bar	bar	bar	bar
0,010	0,000	-0,100		-0,050	-0,060	-0,100	0,100
2,010	1,996	2,019		2,008	-0,002	0,023	0,080
4,010	3,995	4,015		4,005	-0,005	0,020	0,080
6,000	5,996	6,012		6,004	0,004	0,016	0,080
7,000	6,993	7,008		7,001	0,001	0,015	0,080
9,000	8,994	9,005		9,000	0,000	0,011	0,080
11,000	10,993	10,995		10,994	0,000	0,002	0,080
12,990	12,992	12,994		12,993	0,003	0,002	0,080
14,990	14,992	14,992		14,992	0,002	0,000	0,080



Slika 14. Grafički prikaz odstupanja LAB 5

## 5.7. LAB 6

Predmet umjeravanja: Kalibrator tlaka

Mjerno područje: 0-15 bar

Najmanja podjela mjerila: 0,001

Razred točnosti: 0,05% od m.p.

Ciljana nesigurnost: 0,5% FS

Jedinica tlaka: bar

Naziv etalona: pretvornik tlaka CPT6000 s modulom CPH6000 (PT-3)

Mjerno područje: 0-60 bar

Mjerna nesigurnost:  $k=2$

Sljedivost: BMB B-1391/16-09

Uvjeti umjeravanja:

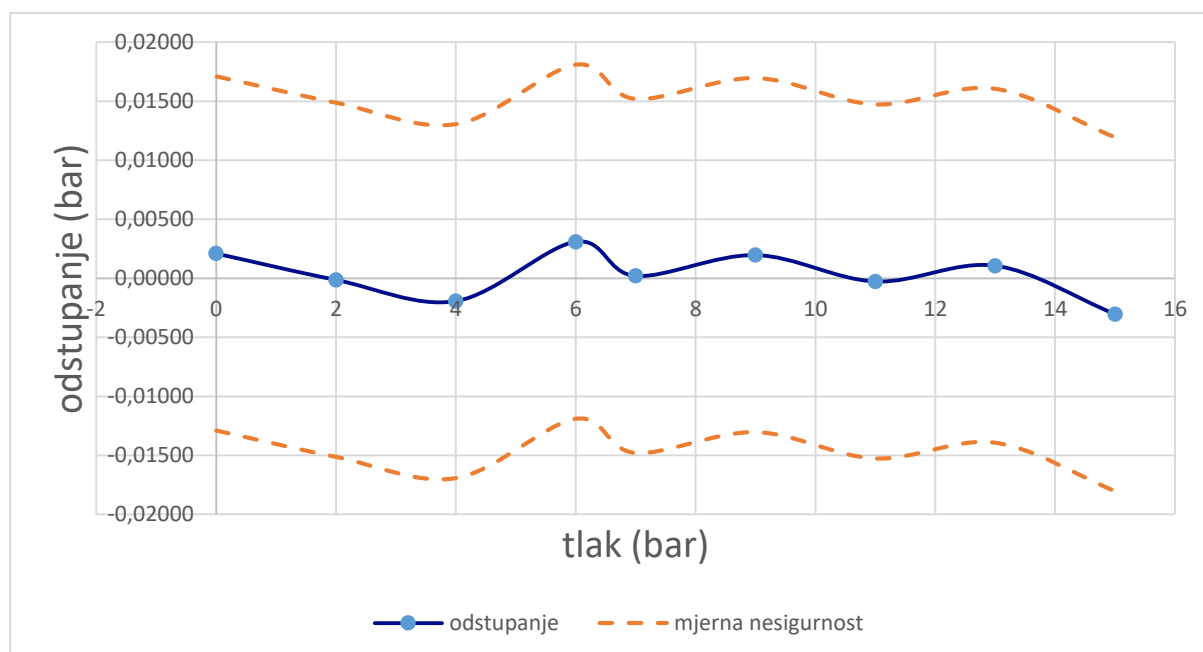
- Temperatura:  $24,8 \pm 1$  °C
- Tlak:  $1012 \pm 1$  mbar
- Radni medij: ulje
- Pozicija ispitivanog mjerila: vertikalno

Umjerna procedura:

Umjeravanje je provedeno metodom usporedbe s etalonskim pretvornikom tlaka PT-3, priključenim na hidrauličnu tlačnu pumpu HTP-1, prema proceduri DKD R6-1, tip B

Tablica 13. Rezultati mjerenja LAB 6

tlak na etalonu	očitanje na umjeravanom mjerilu			srednja vrijednost	mjerni odmak	histereza	mjerna nesigurnost
	uzlazno	silazno	uzlazno				
$p_e$	M1	M2	M3	$M_{sr}$	$M_{sr} - p_e$	M2-M1	U
bar	bar	bar	bar	bar	bar	bar	bar
-0,0021	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0021	0,0000	0,0150
1,9988	1,9940	2,0010	2,0010	1,9987	-0,0001	0,0070	0,0150
3,9996	3,9930	4,0000	4,0000	3,9977	-0,0019	0,0070	0,0150
5,9999	6,0040	6,0030	6,0020	6,0030	0,0031	-0,0010	0,0150
6,9998	7,0000	7,0000	7,0000	7,0000	0,0002	0,0000	0,0150
8,9997	9,0030	9,0020	9,0000	9,0017	0,0020	-0,0010	0,0150
10,9996	10,9990	11,0000	10,9990	10,9993	-0,0003	0,0010	0,0150
12,9996	13,0010	13,0010	13,0000	13,0007	0,0011	0,0000	0,0150
14,9997	14,9970	14,9970	14,9960	14,9967	-0,0030	0,0000	0,0150



Slika 15. Grafički prikaz odstupanja LAB 6

## **5.8. LAB 7**

Predmet umjeravanja: Krovni manometar

Mjerno područje: 0-15 bar

Podjela ljestvice: 0,001

Mjerna nesigurnost: 0,05% m.p.

Jedinica tlaka: bar

Naziv etalona: Modul tlaka LPC 300 (MDT), pretvornik LPC-S (PT60)

Mjerna nesigurnost:  $k = 2$

Mjerno područje: 0-60 bar

Sljedivost: BMB Laboratorij Brcković (A-8549)

Uvjeti umjeravanja:

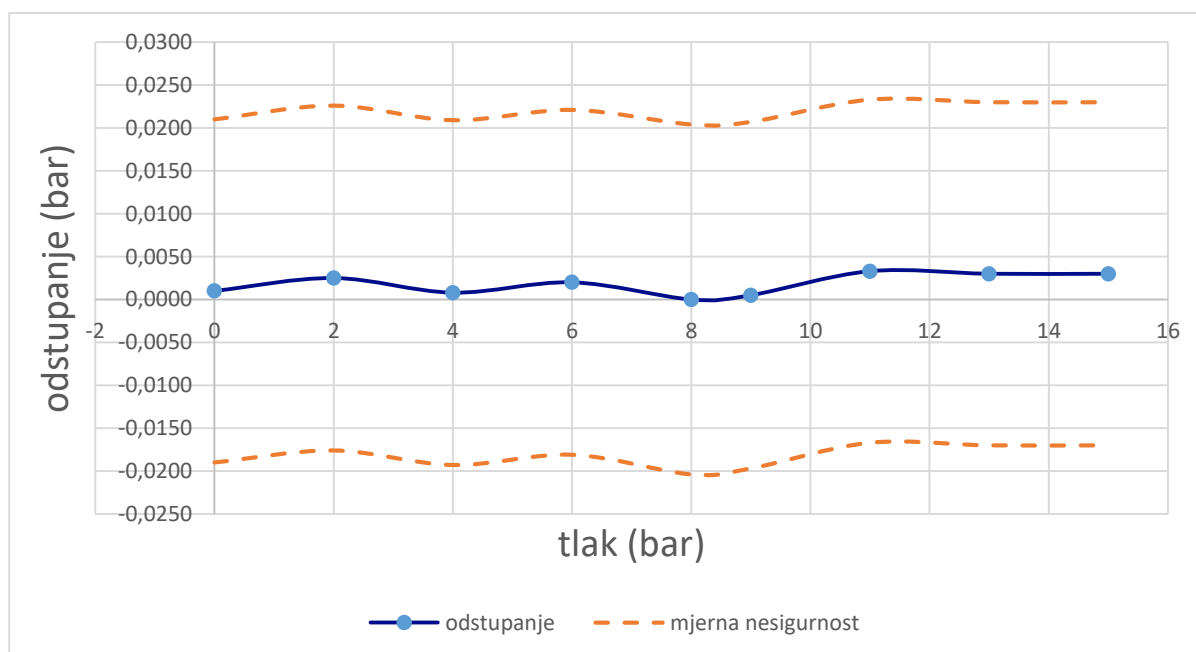
- Temperatura: 20 °C
- Tlak: 1003,3 mbar
- Relativna vlažnost: 44,4%
- Tlačni medij: ulje
- Pozicija ispitivanog mjerila: vertikalna

Umjerna procedura:

Umjeravanje je obavljeno metodom usoredbe s etalonskim pretvornikom tlaka PT60 priključenim na tlačnu pumpu HTP1000 prema proceduri DKD 6-1, tip B

Tablica 14. Rezultati mjerenja LAB 7

tlak na etalonu	očitanje na umjeravanom mjerilu			srednja vrijednost	mjerni odmak	histereza	mjerna nesigurnost
	uzlazno	silazno	uzlazno				
$p_e$	M1	M2	M3	$M_{sr}$	$M_{sr} - p_e$	M2-M1	U
bar	bar	bar	bar	bar	bar	bar	bar
-0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,0200
1,999	2,000	2,003	2,000	2,002	0,002	0,003	0,0201
3,999	3,998	4,001	3,999	4,000	0,001	0,003	0,0201
5,999	5,999	6,003	5,999	6,001	0,002	0,004	0,0201
7,999	7,995	8,002	7,997	7,999	0,000	0,007	0,0204
8,999	8,997	9,002	8,997	9,000	0,000	0,005	0,0202
10,999	11,002	11,003	11,001	11,002	0,003	0,001	0,0200
12,998	13,001	13,001	13,001	13,001	0,003	0,000	0,0200
14,998	15,001	15,001	15,001	15,001	0,003	0,000	0,0200



Slika 16. Grafički prikaz odstupanja LAB 7

## **5.9. LAB REF (mjerjenje 2)**

Predmet umjeravanja: El. Pretvornik tlaka sa pokazivačem

Mjerno područje: 0-15 bar

Najmanja podjela mjerila: 0,001

Razred točnosti: 0,05%

Jedinica tlaka: bar

Naziv etalona: tlačna vaga Budenberg

Interna oznaka: TLVAG\_01

Proizvođač/ tvornički broj: Budenberg/ 21131/380

Nesigurnost etalona:  $1,1 * 10^{-4}$

Slijedivost: Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig

Uvjeti umjeravanja:

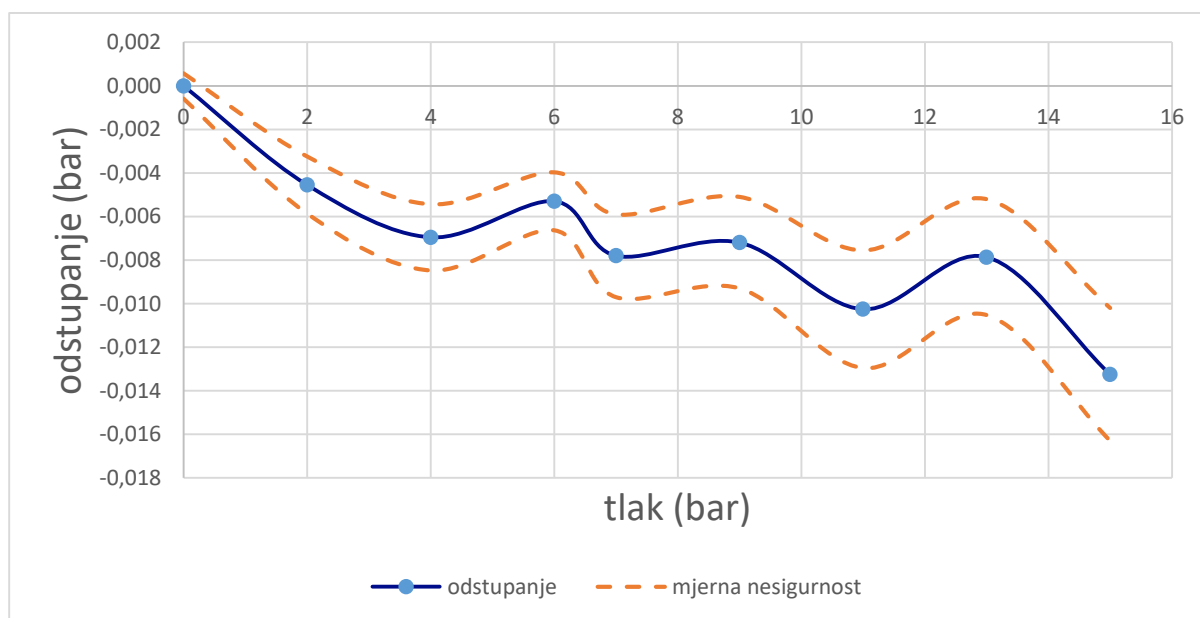
- Temperatura:  $27 \pm 1$  °C
- Tlak:  $1016 \pm 2$  mbar
- Relativna vlažnost:  $20 \pm 2$  %
- Tlačni medij: ulje
- Pozicija ispitivanog mjerila: vertikalna

Umjerna procedura:

Instrument je umjeren pomoću etalonskih mjernih sustava Laboratorija za procesna mjerenja. Korištena je interna procedura umjeravanja metodom usporedbe CPTL-02 temeljena na DKD-R6-1

Tablica 15. Rezultati mjerenja LAB REF (mjerenje 2)

tlak na etalonu	očitanje na umjeravanom mjerilu			srednja vrijednost	mjerni odmak	histereza	mjerna nesigurnost
	uzlazno	silazno	uzlazno				
$p_e$	M1	M2	M3	$M_{sr}$	$M_{sr} - p_e$	M2-M1	U
bar	bar	bar	bar	bar	bar	bar	bar
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
2,001	1,996	1,997	1,997	1,997	-0,005	0,001	0,001
4,001	3,993	3,994	3,994	3,994	-0,007	0,001	0,002
5,999	5,994	5,994	5,994	5,994	-0,005	0,000	0,001
6,999	6,991	6,992	6,992	6,992	-0,008	0,001	0,002
8,999	8,991	8,992	8,992	8,992	-0,007	0,001	0,002
10,998	10,988	10,988	10,988	10,988	-0,010	0,000	0,003
12,998	12,990	12,990	12,990	12,990	-0,008	0,000	0,003
14,997	14,984	14,984	14,984	14,984	-0,013	0,000	0,003

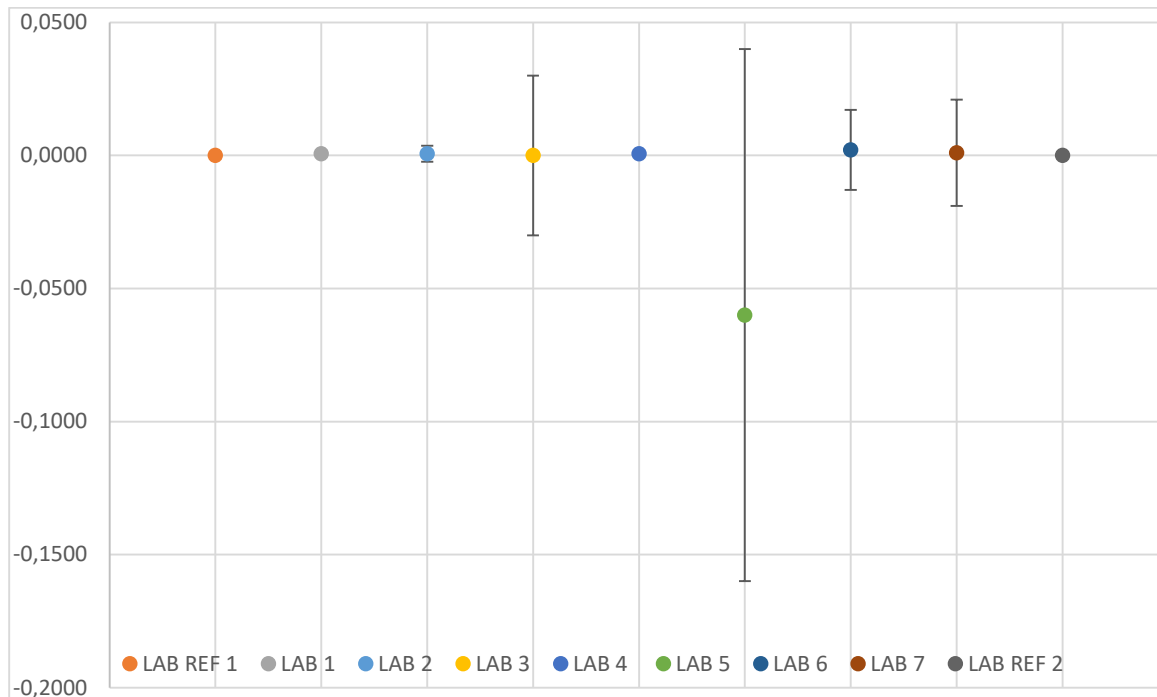


Slika 17. Grafički prikaz odstupanja LAB REF (mjerenje 2)

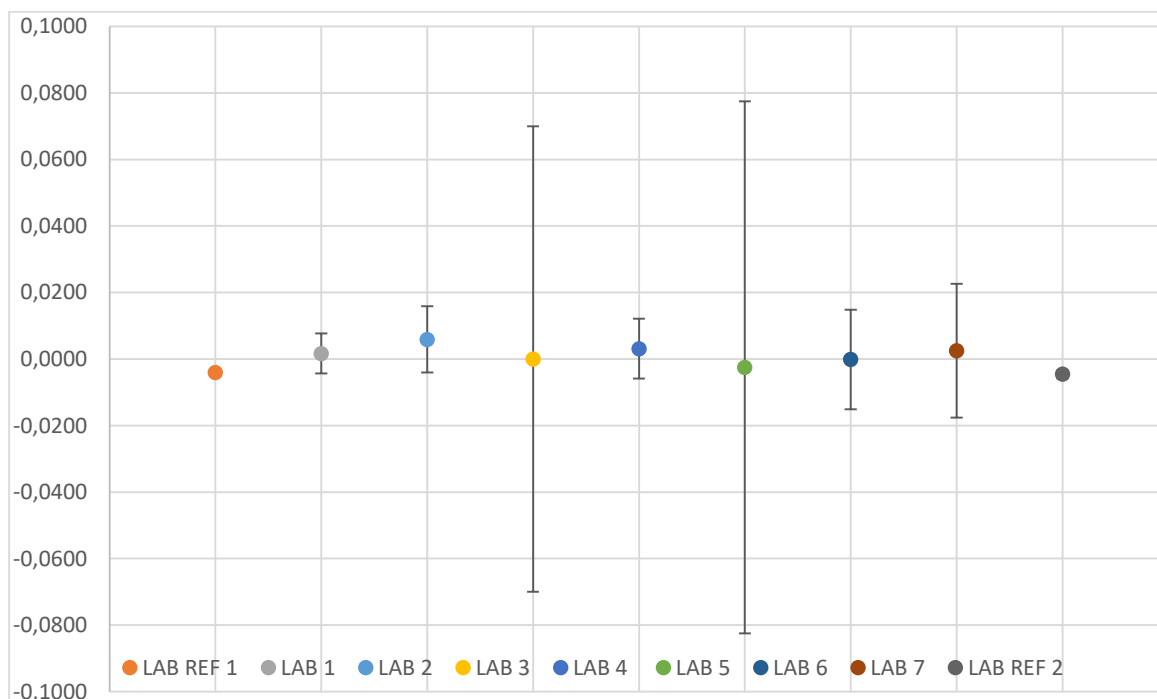


### 5.10. Grafički prikaz odstupanja laboratorija po mjernim točkama

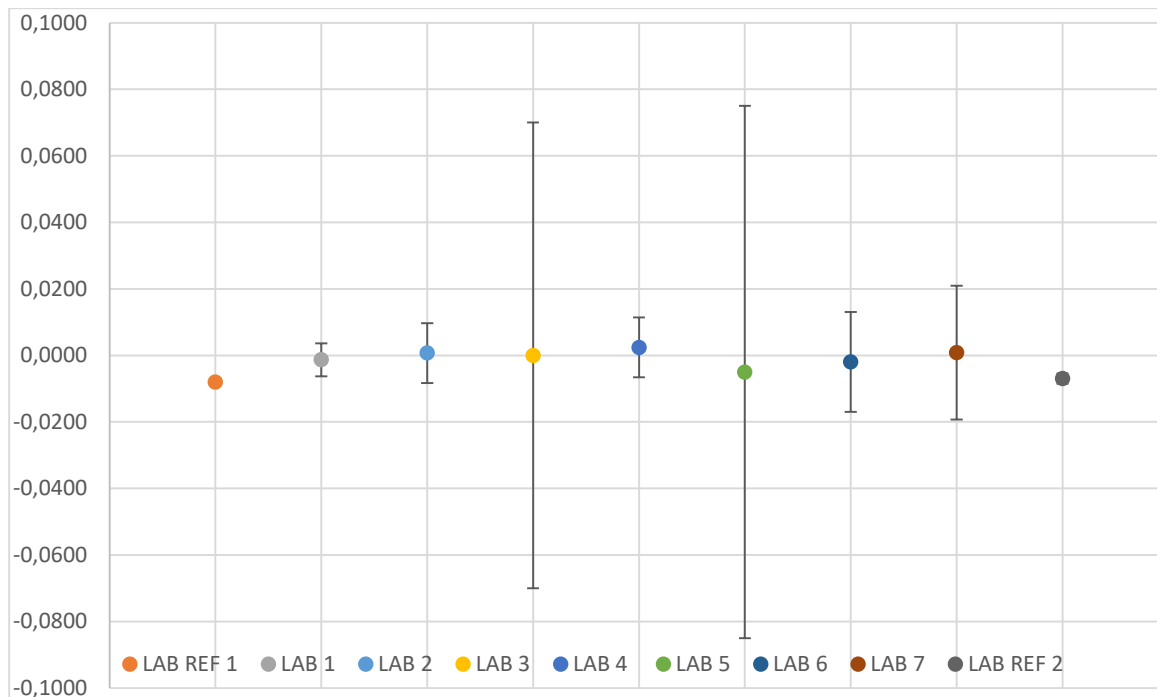
Na sljedećim grafovima prikazane su točke odstupanja od mjenog etalonskog tlaka za svaki laboratorij i svaki radni tlak. Vertikalna pridružena os točkama prikazuje mjernu nesigurnost izračunatu od strane laboratorija za odgovarajući radni tlak.



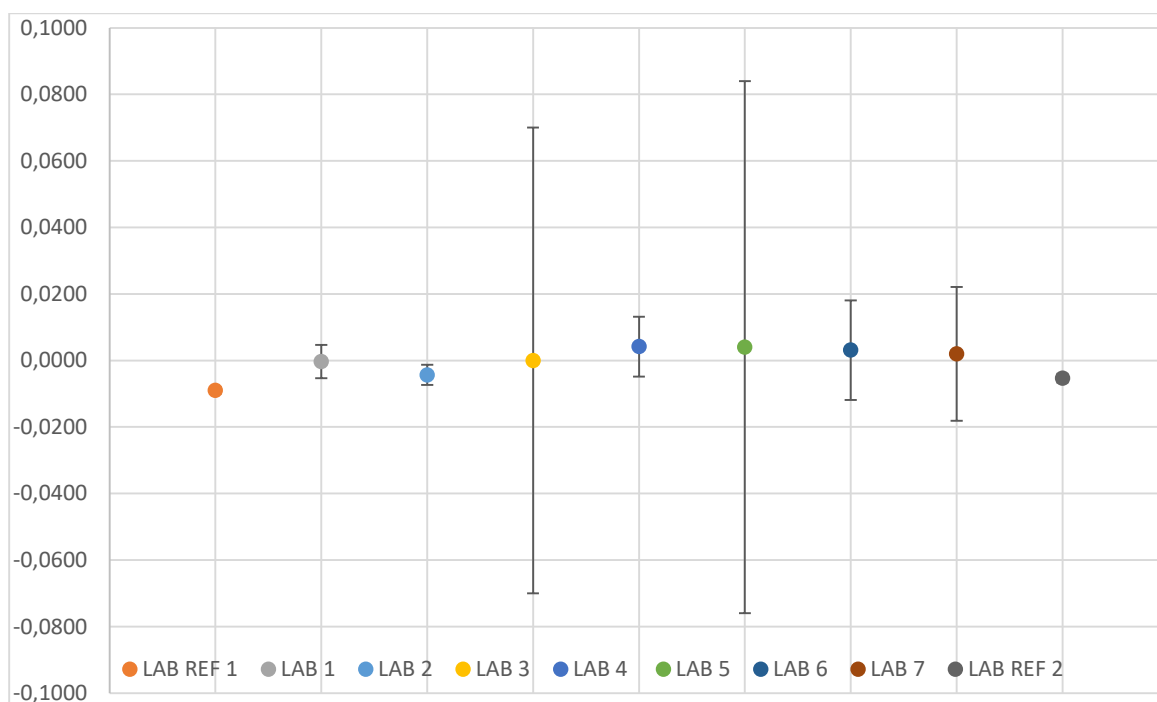
Slika 18. Grafički prikaz odstupanja za 0 bar



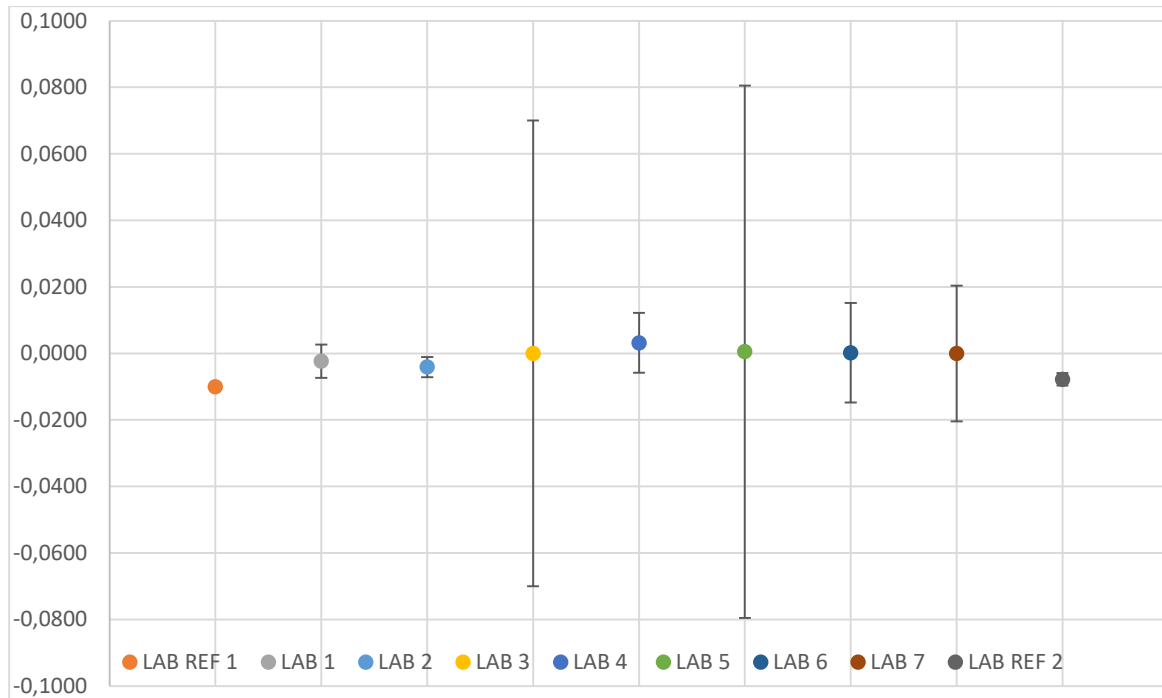
Slika 19. Grafički prikaz odstupanja za 2 bar



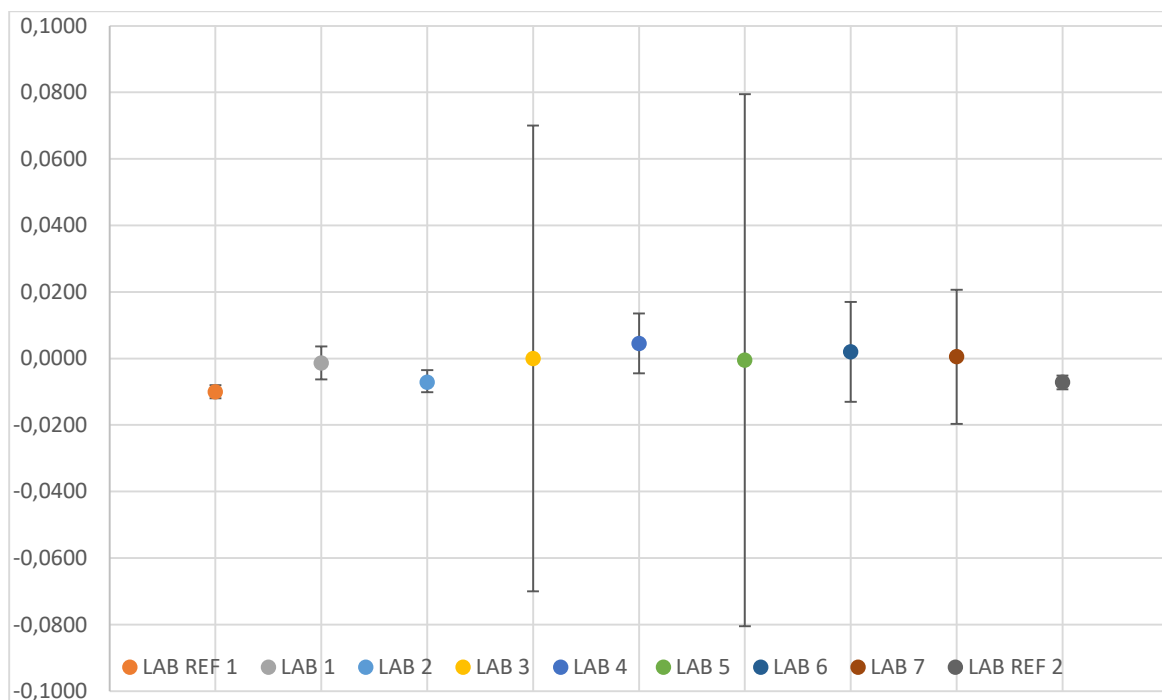
Slika 20. Grafički prikaz odstupanja za 4 bar



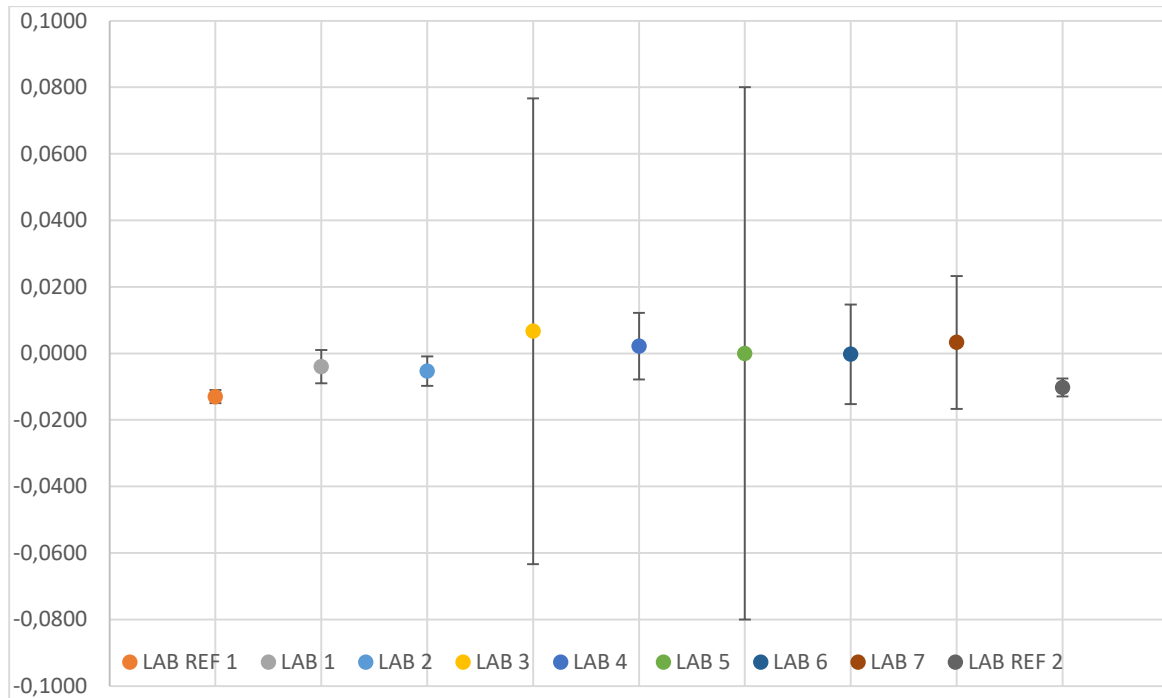
Slika 21. Grafički prikaz odstupanja za 6 bar



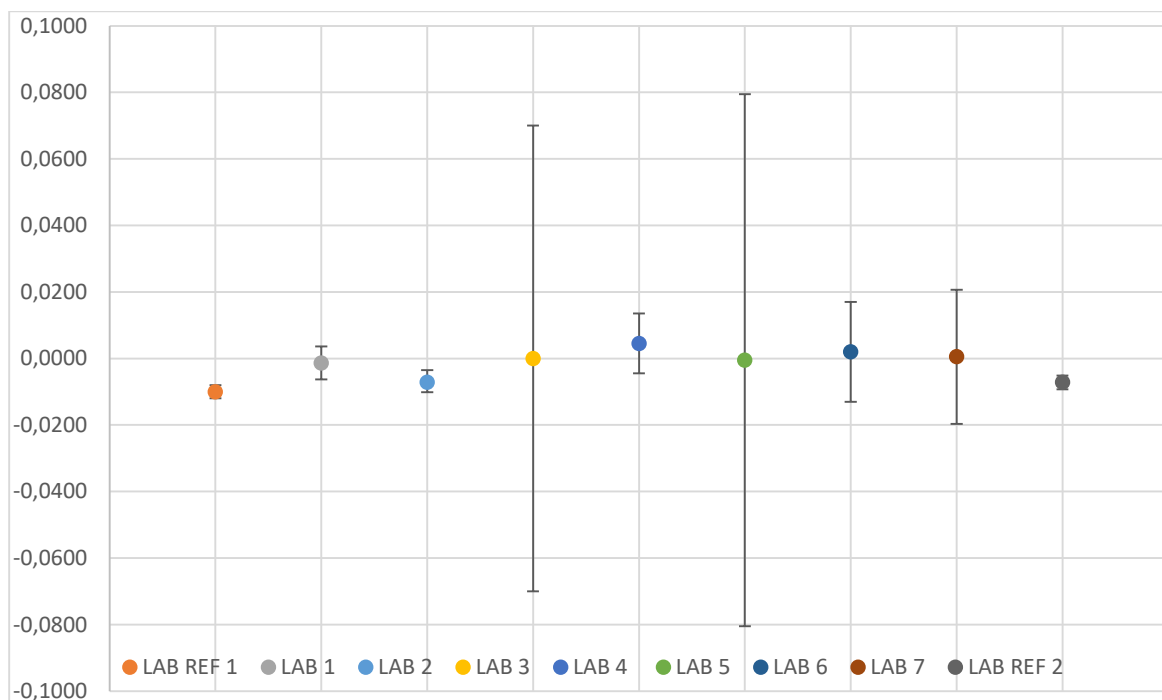
Slika 22. Grafički prikaz odstupanja za 7 bar



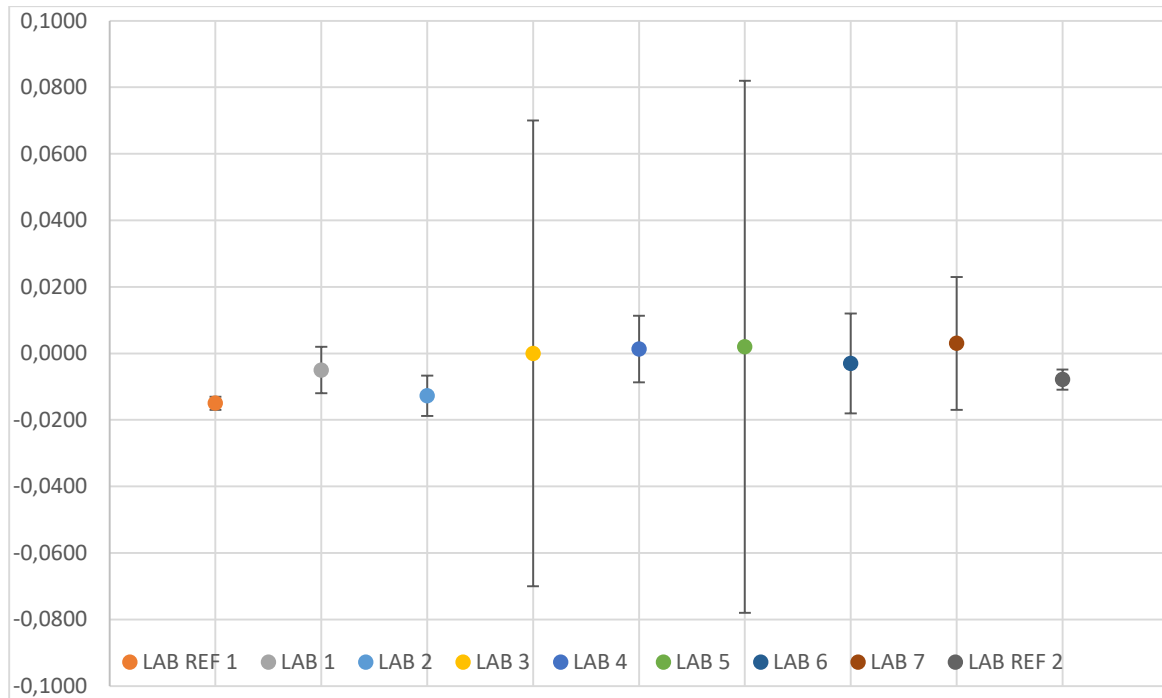
Slika 23. Grafički prikaz odstupanja za 9 bar



Slika 24. Grafički prikaz odstupanja za 11 bar



Slika 25. Grafički prikaz odstupanja za 13 bar



Slika 26. Grafički prikaz odstupanja za 15 bar

## 6. ANALIZA REZULTATA

Analiza rezultata izvršena je prema kriteriju zadovoljavanja  $E_n$  vrijednosti prema odjeljku 3.4. ovog rada. U nastavku je tablično prikazan izračun za svaki laboratorij.

Tablica 16. Izračun  $E_n$  vrijednosti za LAB 1

$p$	$x$	$X$	$U_x$	$U_X$	$E_n$
<i>bar</i>					
0	0,00067	0	0,001	0,00058	0,577
2	0,00167	-0,0045	0,006	0,00131	1,012
4	-0,00133	-0,0070	0,005	0,00152	1,075
6	-0,00033	-0,0053	0,005	0,00133	0,960
7	-0,00233	-0,0078	0,005	0,00190	1,022
9	-0,00133	-0,0072	0,005	0,00210	1,081
11	-0,00400	-0,0103	0,005	0,00270	1,101
13	-0,00133	-0,0079	0,006	0,00266	0,995
15	-0,00500	-0,0132	0,007	0,00305	1,080

Tablica 17. Izračun  $E_n$  vrijednosti za LAB 2

$p$	$x$	$X$	$U_x$	$U_X$	$E_n$
<i>bar</i>					
0	0,001	0	0,0030	0,0006	0,218
2	0,006	-0,0045	0,0100	0,0013	1,038
4	0,001	-0,0070	0,0090	0,0015	0,838
6	-0,00432	-0,0053	0,0030	0,0013	0,298
7	-0,00412	-0,0078	0,0030	0,0019	1,035
9	-0,00713	-0,0072	0,0036	0,0021	0,015
11	-0,00534	-0,0103	0,0044	0,0027	0,952
13	-0,00544	-0,0079	0,0052	0,0027	0,412
15	-0,01274	-0,0132	0,0061	0,0031	0,074

Tablica 18. Izračun  $E_n$  vrijednosti za LAB 3

$p$	$x$	$X$	$U_x$	$U_X$	$E_n$
<i>bar</i>					
0	0	0	0,03	0,0006	0,000
2	0	-0,0045	0,07	0,0013	0,065
4	0	-0,0070	0,07	0,0015	0,099
6	0	-0,0053	0,07	0,0013	0,076
7	0	-0,0078	0,07	0,0019	0,111
9	0	-0,0072	0,07	0,0021	0,103
11	0,01	-0,0103	0,07	0,0027	0,242
13	0	-0,0079	0,07	0,0027	0,112
15	0	-0,0132	0,07	0,0031	0,189

Tablica 19. Izračun  $E_n$  vrijednosti za LAB 4

$p$	$x$	$X$	$U_x$	$U_X$	$E_n$
<i>bar</i>					
0	0,0007	0	0,001	0,0006	0,708
2	0,0031	-0,0045	0,009	0,0013	0,841
4	0,0024	-0,0070	0,009	0,0015	1,025
6	0,0042	-0,0053	0,009	0,0013	1,040
7	0,0032	-0,0078	0,009	0,0019	1,192
9	0,0045	-0,0072	0,009	0,0021	1,266
11	0,0022	-0,0103	0,01	0,0027	1,199
13	0,0054	-0,0079	0,01	0,0027	1,282
15	0,0013	-0,0132	0,01	0,0031	1,392

Tablica 20. Izračun  $E_n$  vrijednosti za LAB 5

$p$	$x$	$X$	$U_x$	$U_X$	$E_n$
<i>bar</i>					
0	-0,0600	0	0,1	0,0006	-0,600
2	-0,0025	-0,00455	0,08	0,0013	0,026
4	-0,0050	-0,00695	0,08	0,0015	0,024
6	0,0040	-0,00530	0,08	0,0013	0,116
7	0,0005	-0,00780	0,08	0,0019	0,104
9	-0,0005	-0,00720	0,08	0,0021	0,084
11	0	-0,01026	0,08	0,0027	0,128
13	0,0030	-0,00786	0,08	0,0027	0,136
15	0,0020	-0,01325	0,08	0,0031	0,190

Tablica 21. Izračun  $E_n$  vrijednosti za LAB 6

$p$	$x$	$X$	$U_x$	$U_X$	$E_n$
<i>bar</i>					
0	0,0021	0	0,015	0,00058	0,140
2	-0,0001	-0,00455	0,015	0,00131	0,293
4	-0,0019	-0,00695	0,015	0,00152	0,333
6	0,0031	-0,005298	0,015	0,00133	0,558
7	0,0002	-0,007800	0,015	0,0019	0,529
9	0,0020	-0,007196	0,015	0,0021	0,605
11	-0,0003	-0,010255	0,015	0,0027	0,655
13	0,0011	-0,007861	0,015	0,00266	0,586
15	-0,0030	-0,013248	0,015	0,00305	0,667



Tablica 22. Izračun  $E_n$  vrijednosti za LAB 7

$p$	$x$	$X$	$U_x$	$U_X$	$E_n$
<i>bar</i>					
0	0,001	0	0,02	0,0006	0,0500
2	0,0025	-0,00455	0,02	0,0013	0,3500
4	0,0008	-0,00695	0,02	0,0015	0,3846
6	0,002	-0,00530	0,02	0,0013	0,3623
7	0	-0,00780	0,02	0,0019	0,3807
9	0,0005	-0,00720	0,02	0,0021	0,3790
11	0,0033	-0,01026	0,02	0,0027	0,6717
13	0,003	-0,00786	0,02	0,0027	0,5383
15	0,003	-0,01325	0,02	0,0031	0,8031

Tablica 23. Prikaz dobivenih  $E_n$  vrijednosti

$p$	$E_n$ LAB 1	$E_n$ LAB 2	$E_n$ LAB 3	$E_n$ LAB 4	$E_n$ LAB 5	$E_n$ LAB 6	$E_n$ LAB 7
<i>bar</i>							
0	0,577	0,31623	0	0,708	-0,600	0,140	0,0500
2	1,012	1,66416	0	0,841	0,026	0,293	0,3500
4	1,075	1,26492	0,07142	1,025	0,024	0,333	0,3846
6	0,960	0,27735	0,07142	1,040	0,116	0,558	0,3623
7	1,022	1,10941	0,11423	1,192	0,104	0,529	0,3807
9	1,081	0,22360	0,11423	1,266	0,084	0,605	0,3790
11	1,101	1,56524	0,15707	1,199	0,128	0,655	0,6717
13	0,995	0,55708	0,11423	1,282	0,136	0,586	0,5383
15	1,080	0,15811	0,18563	1,392	0,190	0,667	0,8031

Kako vrijedi da je mjerenje za:

$|E_n| \leq 1$  - zadovoljavajuće

$|E_n| > 1$  - nezadovoljavajuće

iz dobivenih rezultata možemo očitati određene pravilnosti. Mjerni odmak referentnog laboratorija u većini slučajeva bio je veći nego kod uspoređivanih laboratorija, dok se nesigurnost kretala u vrlo malim granicama. Iz tog razloga neke vrijednosti veće su od 1, a samim time nezadovoljavajuće.

Kod slučajeva kada je  $|E_n| > 1$ , potrebno je:

- provjeriti metodu
- ponovno umjeriti opremu
- ponovno pokrenuti međulaboratorijsku usporedbu

## 7. ZAKLJUČAK

U radu je provedena međulaboratorijska usporedba mjerila tlaka u 9 točaka koje su se nalazile u mjernim području od 0-15 bar (0, 2, 4, 6, 7, 9, 11, 13, 15 bar). Prikazane su teorijske osnove mjerenja tlaka, umjeravanja i sljedivosti. Praktični dio rada obuhvatio je mjerenja u referentnom laboratoriju LPM – FSB čiji su rezultati dobiveni i obrađeni prema uputama DKD-R 6-1 što uključuje računanje svih podataka potrebnih za određivanje proširene mjerne nesigurnosti radi kasnije analize.

U razdoblju od 17.05.2016. do 8.12.2016. godine obavljena su mjerenja u još sedam laboratorija koja su sudjelovala u usporedbi. Podaci su obrađeni i analizirani metodom  $E_n$  vrijednosti.

Na nekim mjestima gdje je  $E_n$  vrijednost veća od 1 mjerenje se smatra nezadovoljavajućim, a važno je pokrenuti postupak popravnih radnji i ponovo izvesti usporedbu sve dok vrijednost  $E_n$  ne bude zadovoljavajuća.

Zbog jako malih proširenih nesigurnosti ( $U_x$ ) u LAB 1, LAB 2 i LAB 4, vrijednosti  $E_n$  su prelazile 1 i morale su se dodatno korektirati u smislu povećanja njihovih vrijednosti što je dovelo  $E_n$  u prihvatljive okvire. LAB 3 i LAB 5 su imali najveću mjernu nesigurnost, dok je LAB REF u oba slučaja imao najmanju.

## LITERATURA

- [1] Runje, B.: *Predavanja iz kolegija mjeriteljstvo*
- [2] Zvizdić, D., Grgec Bermanec, L.: *Predavanja iz kolegija toplinska i procesna mjerenja*, FSB-LPM, 2010./2011.
- [3] DKD: *Calibration of Pressure Gauges*, Guideline DKD-R 6-1, 2003.
- [4] Zvizdić, D., Grgec Bermanec, L.: *Vježbe iz kolegija toplinska i procesna mjerenja*, FSB-LPM, 2010./2011.
- [5] HAA: *Pravila za međulaboratorijske usporedbe HAA-Pr-2/6*, 2012.
- [6] EURAMET/cg-17/v.01
- [7] <http://www.hmi.hr/>
- [8] Zvizdić, D., Grgec Bermanec, L.: *HMI- Znanstveno i/ili temeljno mjeriteljstvo*
- [9] M. Mustać Diplomski rad: *Međulaboratorijska usporedba u području mjerenja tlaka pd 0 do 1,5 MPa*, FSB 2016.

## **PRILOZI**

- I. CD-R disc