

Usporedba rezultata umjeravanja u području malih tlakova do 100 Pa

Išek, Mirna

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

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:235:911633>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-16**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mirna Išek

Zagreb, 2022.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentori:

Prof. dr. sc. Lovorka Grgec Bermanec

Student:

Mirna Išek

Zagreb, 2022.

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

Zahvaljujem se svojoj mentorici prof. dr. sc. Lovorki Grgec Bermanec na savjetima, uloženom vremenu i riječima podrške prilikom izrade ovog rada.

Mirna Išek



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 brodostrojarški

Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 – 04 / 22 – 6 / 1	
Ur.broj: 15 - 1703 - 21 -	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Mirna Išek** JMBAG: **0035213918**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Usporedba rezultata umjeravanja u području malih tlakova do 100 Pa**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Comparison of calibration results in the low pressure range up to 100 Pa**

Opis zadatka:

S ciljem otkrivanja sustavnih pogrešaka te dobivanja i održavanja akreditacije, umjerni laboratoriji uvode odgovarajuće mjere osiguranja kvalitete rezultata kao što su: sudjelovanje u međulaboratorijskim usporedbama, ponavljanje mjerenja, praćenje i ocjenjivanje rezultata umjeravanja. Svrha ovog rada je organizirati, provesti i analizirati međulaboratorijsku usporedbu dva ili više laboratorija za tlak koji mogu umjeravati mjerila u području malih tlakova od 0 do 100 Pa. U radu koristiti etalonsku mjernu opremu Laboratorija za procesna mjerenja (LPM).

Potrebno je izraditi:

- Pregled osnova mjerenja malih tlakova.
- Pregled normi i uputa za provedbu međulaboratorijskih usporedbi i obradu rezultata.
- Protokol predložene usporedbe za tlak od 0 do 100 Pa.
- Opis provedenih mjerenja u laboratorijima koji sudjeluju.
- Opis provedenih mjerenja u LPM-u i procjenu mjerne nesigurnosti.
- Analizu rezultata usporedbe određivanjem En vrijednosti.

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

Zadatak zadan:

30. 11. 2021.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Lovorka Grgec Bermanec

Datum predaje rada:

1. rok: 24. 2. 2022.
2. rok (izvanredni): 6. 7. 2022.
3. rok: 22. 9. 2022.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 28. 2. – 4. 3. 2022.
2. rok (izvanredni): 8. 7. 2022.
3. rok: 26. 9. – 30. 9. 2022.

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Vladimir Soldo

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA.....	IV
POPIS OZNAKA	V
SAŽETAK.....	VI
SUMMARY	VII
1. UVOD	1
1.2 Tlak.....	2
2. METODOLOGIJA MJERENJA TLAKA	4
2.1. Općenito	4
2.2 Metode za mjerenje malih tlakova	5
2.2.1 Cijevni manometri.....	5
2.2.2 Pretvornici tlaka	11
3. UMJERAVANJE MJERILA TLAKA.....	12
3.1 Mjerna nesigurnost	12
3.1.1. Mjerna nesigurnost tipa A	14
3.1.2 Mjerna nesigurnost tipa B	15
3.2 Postupak umjeravanja	16
3.2.1 Metode umjeravanja.....	17
4. PROVEDBA MEĐULABORATORIJSKE USPOREDBE	20
4.1 Upute EURAMET-a.....	20
4.1.1 Pilot-laboratorij	21
4.1.2 Tehnički protokol za međulaboratorijsku usporedbu.....	22
4.2 Hrvatska akreditacijska agencija (HAA).....	22
4.2.1 Pravila HAA.....	23

5. OPIS PROVEDENIH MJERENJA.....	27
5.1 Mjerenje u laboratoriju EkoVent-a	28
5.1.1 Rezultati mjerenja u laboratoriju EkoVent-a	28
5.2. Mjerenje u laboratoriju Klimaopreme	31
5.2.1 Rezultati mjerenja u laboratoriju Klimaopreme	32
5.3 Mjerenje u laboratoriju LPM-a	34
5.3.1 Rezultati mjerenja u laboratoriju LPM-a	37
6. ANALIZA REZULTATA MEĐULABORATORIJSKE USPOREDBE.....	39
6.1 Usporedba LPM-a i laboratorija EkoVent-a	40
6.2 Usporedba LPM-a i laboratorija Klimaopreme.....	41
7. ZAKLJUČAK	43
LITERATURA.....	44

POPIS SLIKA

Slika 1. Odnos apsolutnih i manometarskih tlakova [3]	3
Slika 2. Direktne metode mjerenja tlaka [4]	4
Slika 3. Indirektne metode mjerenja tlaka[4]	5
Slika 4. U-manometar [3].....	6
Slika 5. U-manometar nesimetrične izvedbe [3].....	7
Slika 6. Manometar s čašicom[3].....	8
Slika 7. Manometar s priklojenom cijevi [3].....	9
Slika 8. Minimetar [3]	10
Slika 9. Prikaz rasta nesigurnosti niz lanac sljedivosti [10].....	13
Slika 10. Pravokutna ili jednolika razdioba[7].....	15
Slika 11. Shematski prikaz metode A [8].....	18
Slika 12. Detalj Z segmenta metode A [8].....	19
Slika 13. Shematski prikaz metode B[8].....	19
Slika 14. Shematski prikaz metode C [8].....	19
Slika 15. Dijagram tijeka ocjenjivanja sheme ispitivanja sposobnosti [12].....	25
Slika 16. Digitalni kalibrator tlaka Halstrup Walcher, KAL 200.....	27
Slika 17. Mensor, model CPC2000 (lijevo) s Halstrup Walcher, model KAL 200 (desno)	32
Slika 18. Baratron.....	35
Slika 19. PR4000B	35
Slika 20. Minimetar.....	36
Slika 21. Postavljeni instrumenti za provebu umjeravanja od 0 do 100 Pa	36
Slika 22. Grafički prikaz usporedbe LPM-a i laboratorija EkoVent-a.....	40
Slika 23. Grafički prikaz usporedbe LPM-a i laboratorija Klimaopreme	41
Slika 24. Grafički prikaz usporedbe LPM-a, laboratorija EkoVent-a i laboratorija Klimaopreme.....	42

POPIS TABLICA

Tablica 1. Mjerne jedinice za tlak	2
Tablica 2. Osnovne metode umjeravanja prema DKD-R6-1 [8].....	18
Tablica 3. Statistike za kvantitativne rezultate[12]	24
Tablica 4. Okolišni uvjeti u laboratoriju EkoVent-a	28
Tablica 5. Izmjerene vrijednosti u laboratoriju EkoVent-a.....	29
Tablica 6. Izračunate vrijednosti u laboratoriju EkoVent-a	30
Tablica 7. Okolišni uvjeti u laboratoriju Klimaopreme	31
Tablica 8. Izmjerene vrijednosti u laboratoriju Klimaopreme	33
Tablica 9. Izračunate vrijednosti u laboratoriju Klimaopreme.....	33
Tablica 10. Okolišni uvjeti u laboratoriju LPM-a	35
Tablica 11. Izmjerene vrijednosti u laboratoriju LPM-a.....	37
Tablica 12. Izračunate vrijednosti u laboratoriju LPM-a	38
Tablica 13. Usporedba LPM-a i laboratorija EkoVent-a	40
Tablica 14. Usporedba rezultata LPM-a i laboratorija Klimaopreme	41

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
\bar{x}_l	Pa	Srednja vrijednost izmjerene veličine
a	Pa	Polu-interval nesigurnosti
b	Pa	Ponovljivost
dA	m ²	Diferencijal površine
E _n	Pa	Faktor slaganja
F	N	Sila
F _n	N	Normalna sila
g	m/s ²	Gravitacijsko ubrzanje
h	m	Visina stupca kapljevine
h	Pa	Histereza
k	-	Faktor pokrivanja
l	m	Otklon mjerne tekućine
M _{sr}	Pa	Srednja vrijednost izmjerenog tlaka umjeravanog uređaja
n	-	Broj ponavljanja mjerenja
p	Pa	Tlak
p _e	Pa	Tlak etalona
s	Pa	Standardno odstupanje
t	°C	Temperatura
u	Pa	Standardna nesigurnost
U	Pa	Proširena mjerna nesigurnost
U _{LAB}	Pa	Mjerna nesigurnost umjeravanog laboratorija
U _{LPM}	Pa	Mjerna nesigurnost LPM-a
X _{LAB}	Pa	Mjerni odmak umjeravanog laboratorija
X _{LPM}	Pa	Mjerni odmak LPM-a
α	°	Kut priklona
ρ ₀	kg/m ³	Gustoća kapljevine u cijevi
ρ _t	kg/m ³	Gustoća tekućine kojom je punjen minimetar

SAŽETAK

U okviru ovog rada provedena je međulaboratorijska usporedba. U usporedbi su sudjelovala tri laboratorija: Laboratorij za procesna mjerenja (LPM) Fakulteta strojarstva i brodogradnje, laboratoriji EkoVent-a i laboratorij Klimaopreme. Opisuje se provedba umjeravanja i konačno usporedba rezultata umjeravanja u području malih tlakova do 100 Pa, a kao umjeravani uređaj koristio se Halstrup Walcher, KAL 200. Prije samog opisa provedenog mjerenja, dan je pregled osnovnih metoda za mjerenje niskih tlakova, te su objašnjeni postupci umjeravanja manometara. Navedene su i detaljno opisane osnovne upute i norme za provođenje međulaboratorijskih usporedbi, od kojih su za ovaj rad i ovo umjeravanje najznačajnije metode (norme) i upute dane od strane DKD-a. Glavna svrha cijelog rada je određivanje vrijednosti faktora slaganja E_n temeljem kojeg se vršila procjena kvalitete međulaboratorijske usporedbe.

Ključne riječi: tlak, mjerenje, umjeravanje, međulaboratorijska usporedba, laboratorij, norma, faktor slaganja (E_n)

SUMMARY

An inter-laboratory comparison has been conducted in this paper. Three laboratories participated: the Laboratory for Process Measurements (LPM) of the Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, EkoVent Laboratory and Klimaoprema Laboratory. The implementation of calibration and the final comparison of calibration results of small pressures in the range of up to 100 Pa are described, while Halstrup Walcher, KAL 200, was used as a measured device. Before the description of the measurement, basic methods for measuring low pressures are presented, and procedures for calibration of manometers are explained. Basic instructions and norms for conducting inter-laboratory comparisons are described, of which the most important methods (norms) and instructions are given by the DKD. The main purpose of the paper is to determine the value of the agreement factor E_n , which served as the basis for the estimation of the inter-laboratory comparison.

Key words: pressure, measurement, calibration, inter-laboratory comparison, laboratory, norm, agreement factor (E_n)

1. UVOD

Mjeriteljstvo ili metrologija je znanstvena disciplina koja se bavi mjerenjem u svim njegovim praktičnim i teorijskim oblicima. Iz dana u dan se svjesno ili nesvjesno susrećemo s mjerenjem [1]. Mjerimo svoju tjelesnu masu, koristimo mjerenje tijekom kuhanja, kada smo bolesni mjerimo svoju tjelesnu temperaturu, ali i svakog dana koristimo informaciju o temperaturi vanjskog zraka koja se morala izmjeriti. To su neki od primjera mjerenja u svakodnevnom životu čovjeka, no važnija mjerenja se odvijaju u području znanosti, industrijskom razvoju u ekonomiji i sl. Potreba za mjerenjem i shvaćanje važnosti mjerenja se pojavljuje već od samih početaka ljudske civilizacije te se razvija i dan danas. Za nastanak i početak mjeriteljstva na međunarodnoj razini navodi se 18.st, a navode se tri osnovne zadaće mjeriteljstva:

1. Definiranje međunarodno prihvaćenih mjernih jedinica
2. Ostvarenje mjernih jedinica znanstvenim metodama
3. Utvrđivanje lanca sljedivosti

Suštinski dio u znanstvenom istraživanju predstavlja mjeriteljstvo te iz tog razloga, kako bi se povećala točnosti i pouzdanost mjerenja, velika važnost pridaje se na unaprjeđivanju umjeravanja. Kako bi procesi u industriji bili što kvalitetniji, potrebno je težiti k sve točnijim i preciznijim podacima provedenih mjerenja. Jedno od rješenja nalazi se u unaprjeđenju mjernih instrumenata kako bi oni osiguravali rezultate sa što manjom greškom. Unapređivanje mjernih instrumenata provodi se umjeravanjem s drugim mjernim instrumentom koji se naziva etalon. Etalon se općenito može definirati kao materijalizirana mjera, mjerilo, referencijska tvar namijenjena za ostvarivanje, određivanje, obnavljanje ili čuvanje jedinice jedne ili više vrijednosti neke veličine da bi mogli poslužiti kao referentna točka. U svijetu, ali i u Hrvatskoj postoje laboratoriji, industrija, medicinske ustanove i sl. kojima je od velike važnosti da korišteni uređaji budu pouzdani. U sklopu ovog rada objašnjeno je provođenje umjeravanja kalibratora tlaka u području malih tlakova do 100 Pa. Umjeravanje su proveli sveukupno tri laboratorija.

1.2 Tlak

Tlak je fizikalna veličina koja se definira kao normalna sila koja djeluje na jedinicu površine sustava.[2] Za fluidni sustav (kapljeviti i plinoviti) u ravnoteži (odnosno u mirovanju) tlak je definiran jednadžbom:

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

pri čemu je dA (diferencijal površine) najmanji dio površine kod koje su utjecaji fluida jednaki onima u cijelome kontinuumu. Mjerna jedinica može se u potpunosti opisati terminima osnovnih SI jedinica pomoću duljine, mase i vremena. Prema jednadžbi (1) jedinica za tlak je njutn po metru kvadratnom (N/m^2) ili Paskal (Pa). Shodno tome, tlak od 1 Pa je onaj tlak koji producira sila od 1 N (njutna) na površini od 1 m^2 . To je izrazito mala jedinica za tlak pa se iz toga razloga definira jedinica za tlak 1 bar ($1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$). Sve mjerne jedinice koje se koriste za tlak prikazane su u tablici [1]:

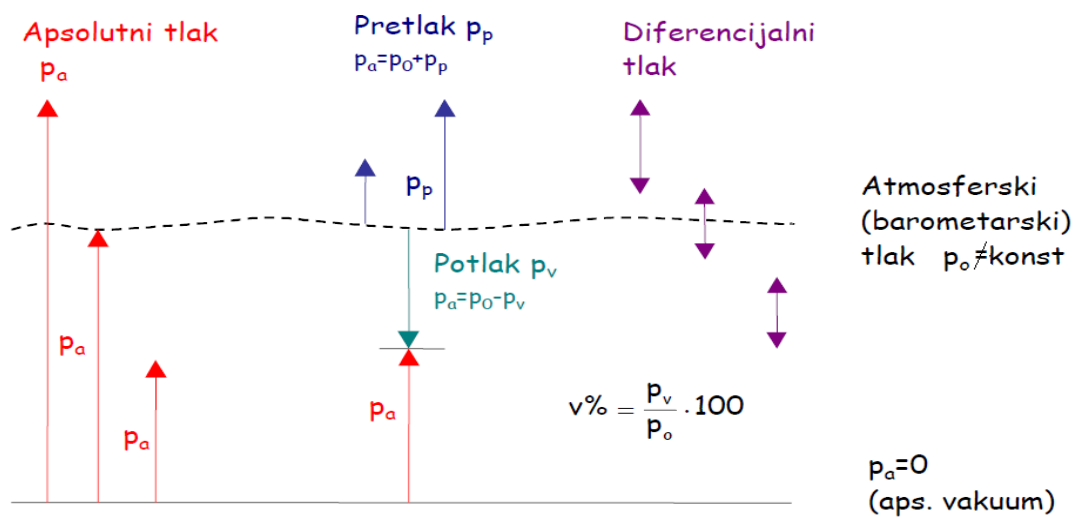
Tablica 1. Mjerne jedinice za tlak

	Bar [bar]	Tehnička atmosfera [at]	Standardna atmosfera [atm]	Milimetar stupca žive [mmHg]	Milimetar stupca vode [mmH ₂ O]	Funta sile po četvornom palcu [psi]
1 Pa	$=10^{-5}$	$\approx 10,197 \cdot 10^{-6}$	$\approx 9,8692 \cdot 10^{-6}$	$\approx 7,5006 \cdot 10^{-3}$	$\approx 1,0190 \cdot 10^{-4}$	$\approx 145,05 \cdot 10^{-6}$

Općenito, tlak je rezultat djelovanja molekula unutar nekog fluida na stijenke spremnika u kojem se fluid nalazi. Kada se u spremniku ne nalazi niti jedna čestica fluida, tada je tlak jednak nuli odnosno u spremniku prevladava 100%-tni vakuum. Ukoliko bi tlak mjerili na skali koja kao referentnu vrijednost koristiti apsolutnu nulu, dobiveni rezultat mjerenja bio bi apsolutni tlak, a ako bi za referentnu vrijednost koristili okolišni tlak rezultat mjerenja bio bi relativni tlak. Ako je okolišni tlak manji od mjerenog relativnog tlaka, radilo bi se o pretlaku, a suprotno tome, ako je okolišni tlak veći od mjerenog relativnog tlaka, radilo bi se o podtlaku. Naravno, postoje i slučajevi kada se traži razlika tlaka između dva zasebna sustava. U takvim slučajevima kao referentna vrijednost se ne mora uzimati ni apsolutna nula ni atmosferski tlak, već neka druga vrijednost te se tada mjeri diferencijalni tlak. Odnos apsolutnog tlaka i tlaka okoline dan je jednadžbom (2):

$$\text{Apsolutni tlak} = \text{tlak okoline} \pm \text{relativni tlak} \quad (2)$$

Slika (1). ilustrira odnose između nabrojanih vrsta tlakova:

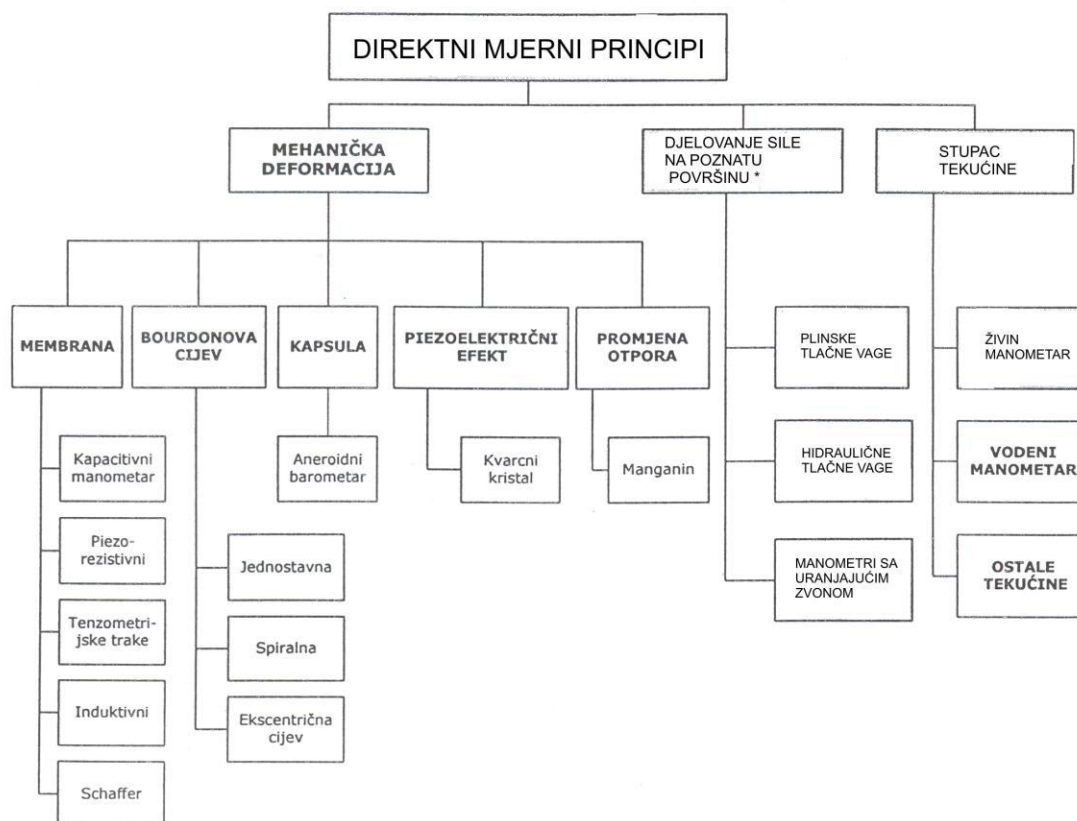


Slika 1. Odnos apsolutnih i manometarskih tlakova [3]

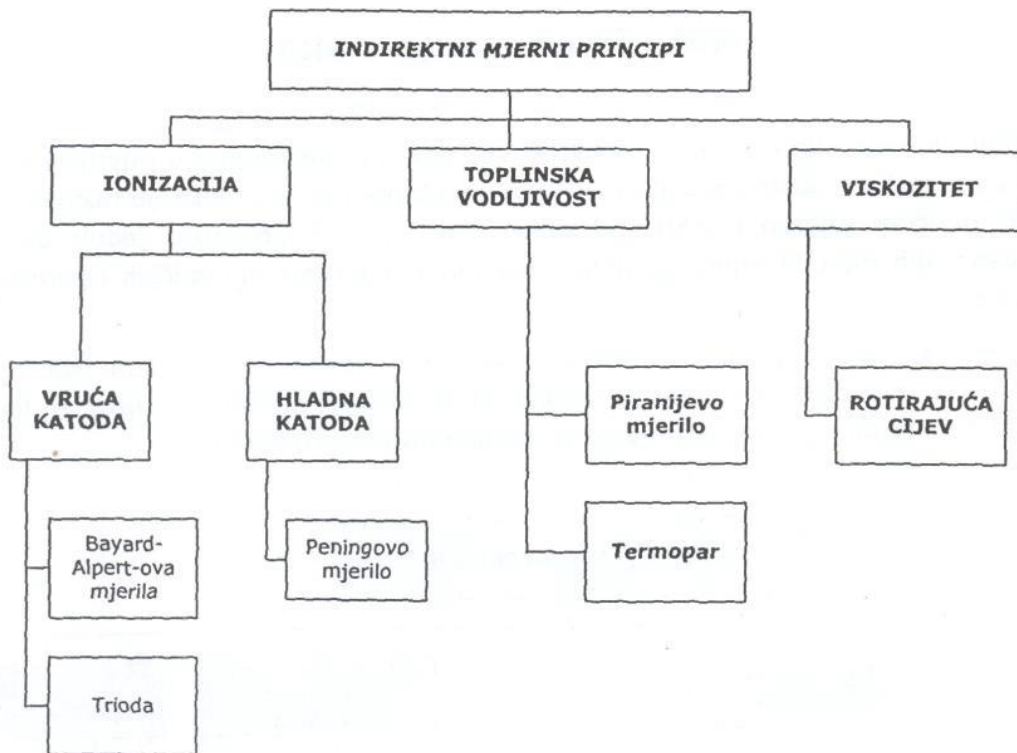
2. METODOLOGIJA MJERENJA TLAKA

2.1. Općenito

Mjerenje tlaka u industriji i znanosti razvija se gotovo 200 godina te je danas razvijeno mnoštvo različitih principa mjerenja statičkog tlaka. Jedna od osnovnih klasifikacija je podjela na indirektnu i direktnu metodu mjerenja tlaka[4]. Direktnu metodu se temelje na dobivanju rezultata iz osnovnih jednadžbi za tlak, kao što je jednadžba (1). Mogu se podijeliti na tri osnovna principa: mjerenje mehaničke deformacije, mjerenje posredstvom djelovanja sile na poznatu površinu i mjerenje stupca tekućine (slika(2)). Indirektnu metodu mjerenja tlaka koriste i promatraju posljedice te učinak tlaka koji djeluje na tijela ili materijale određenog oblika te se na osnovu toga određuje sam iznos tlaka (slika (3)).



Slika 2. Direktne metode mjerenja tlaka [4]



Slika 3. Indirektne metode mjerenja tlaka[4]

2.2 Metode za mjerenje malih tlakova

Metode za mjerenje malih tlakova mogu se klasificirati u tri osnovne skupine:

Cijevni manometri

- U-cijev
- Mikromanometar
- Minimetar

Pretvornici tlaka

2.2.1 Cijevni manometri

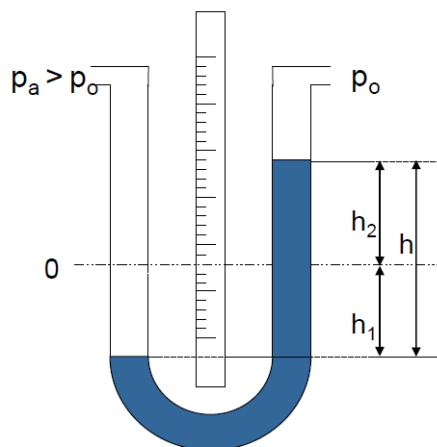
Cijevni ili tekućinski manometri su instrumenti koji za mjerenje tlaka koriste stupac tekućine kao mjerno sredstvo. Zbog djelovanja tlaka dolazi do otkolna u granama manometra, a iz razlike u visinama zaključujemo o mjernom iznosu pretlaka ili potlaka.[3]

2.2.1.1 U-cijev

U-cijev ili U-manometar je staklena u cijev napunjena najčešće vodom ili živom (slika (4.)). Mjerenje tlaka se provodi tako da se jedan njen kraj priključi na prostor u kojemu treba izmjeriti tlak, a na drugom je kraju poznati odnosno referentni tlak (obično atmosferski tlak). Ako je tlak u promatranom prostoru veći od okolišnog tlaka, u tom se dijelu U-cijevi stupac kapljevine spusti, a u suprotnom podigne. Ovaj manometer mjeri relativan tlak $\Delta p = p_1 - p_2$ odnosno razliku tlakova pa ga se još i naziva diferencijalni manometer. Razlika tlaka mjerena ovakvim manometrima iznosi:

$$\Delta p = \rho_o \cdot g \cdot h \quad (3)$$

gdje je ρ_o , gustoća kapljevine u cijevi [kg/m^3], g , gravitacijsko ubrzanje [m/s^2], h , izmjerena razlika u visinama stupaca [m].

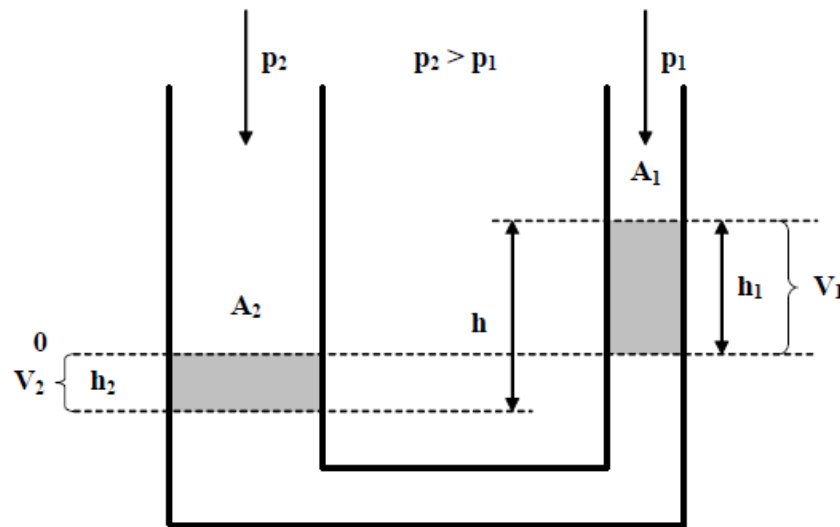


Slika 4. U-manometar [3]

U-manometrom se također može mjeriti i apsolutni tlak kada bi p_a bio jednak nuli. To se može postići evakuiranjem i zataljivanjem desnog otvora cijevi, no najčešće on je jednak atmosferskom tlaku pa se u tom slučaju pomoću U-manometra mjeri relativni pretlak ili podtlak. Tlakovi se dovode pomoću savitljivih gumenih cijevi koji se navuku na otvore.

2.2.1.2 U-manometar nesimetrične izvedbe

Za razliku od običnog, simetrično, U-manometra, ovakav manometer ima cijevi s različitim poprečnim presjecima A_1 , odnosno A_2 . Kada je razlika tlakova jednaka nuli, razine kapljevine su u obje cijevi jednake i pokazuju razinu označenu s "0". Slika (5) prikazuje slučaj kada tlakovi nisu jednaki, odnosno $p_2 > p_1$. Istisnuti obujmi ostaju istu, no visine h_1 i h_2 bit će različite jer su različite i površine presjeka cijevi te će visine upravo ovisiti o omjeru površina.



Slika 5. U-manometar nesimetrične izvedbe [3]

Uz pretpostavku da se u cijevi s desne strane razina podigla za h_1 , s lijeve strane visina se spusti za:

$$h_2 = h_1 \cdot \frac{A_1}{A_2}$$

uz razliku tlaka $\Delta p = p_2 - p_1 = \rho \cdot g \cdot h$ i uz $h = h_1 + h_2$ vrijedi:

$$h = h_1 + h_1 \cdot \frac{A_1}{A_2} = h_1 \cdot \left(1 + \frac{A_1}{A_2}\right)$$

pa je:

$$\Delta p = p_2 - p_1 = h_1 \cdot \left(1 + \frac{A_1}{A_2}\right) \cdot \rho \cdot g \quad (4)$$

U slučaju da je $A_2 \gg A_1$ tada je h_2 zanemariv pa je $h = h_1$ što daje:

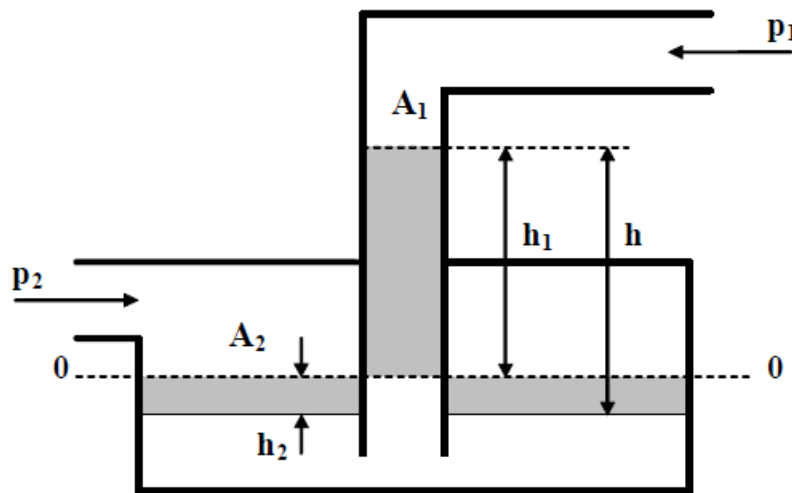
$$\Delta p = p_2 - p_1 \cong h_1 \cdot \rho \cdot g \cong h \cdot \rho \cdot g \quad (5)$$

2.2.1.3 Manometar s čašicom

Manometar s čašicom (slika (6.)) radi na istom principu kao U-manometar nesimetrične izvedbe. Tanja cijev smještena je u debljoj koja nalikuje čašici. Zbog naglašene nesimetričnosti tako da je $A_2 \gg A_1$ može se dokazati da je:

$$\Delta p = p_2 - p_1 \cong h_1 \cdot \rho \cdot g \cong h \cdot \rho \cdot g \quad (6)$$

Ovakvu izvedbu okarakterizuje brzo određivanje razlike tlakova iz razloga što je dovoljno samo jedno čitanje, ako se tolerira navedena pogreška.

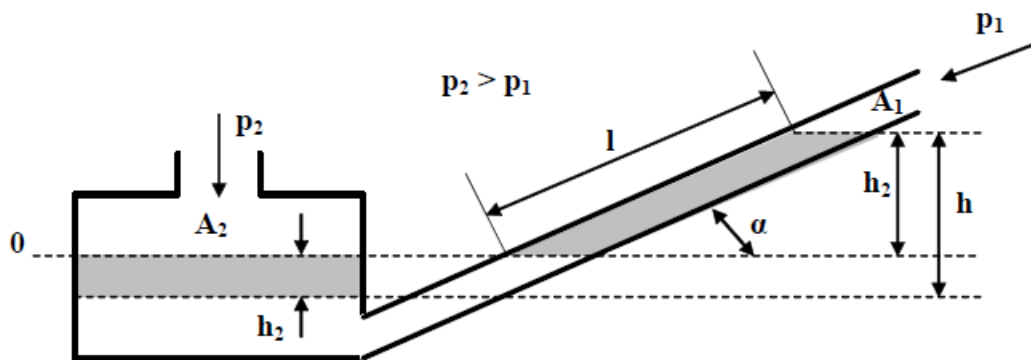


Slika 6. Manometar s čašicom[3]

2.2.1.4 Manometar s priklojenom cijevi (Mikromanometar)

Ako se žele izmjeriti, na jednostavan način, malene razlike tlaka upotrebljava se U-cijev s koso položenim krakom zbog povećanja otklona (slika (7.)). Otklon u koso položenoj cijevi bit će proporcionalno uvećan sinusu kuta nagiba cijevi. Kada u sustavu nastupi $p_2 > p_1$ kapljevina daleko dopire u kosu cijev pa je već za male vrijednosti razlike tlakova $[\Delta p]$ kut priklona malen $[\alpha]$, a otklon mjerne tekućine $[l]$ velik. Jednadžba koja povezuje otklon kapljevine i razliku tlaka glasi:

$$\Delta p = \rho \cdot \left(\sin \alpha + \frac{A_1}{A_2} \right) \cdot g \cdot l \quad (7)$$



Slika 7. Manometar s priklojenom cijevi [3]

Manometar s priklojenom cijevi služi za mjerenje vrlo malih tlakova, a ako se instrument izvede s kućištem od kovine i s promjenjivim nagibom cijevi, naziva se još i mikromanometar. Kako bi postigli što veću osjetljivost potrebno je kut priklona učiniti što manjim. Ako se želi iščitati otklon mjerne tekućine direktno na skali, uz zanemarivanje pogreške, tada se treba udovoljiti uvjet da je $A_2 \gg A_1$. Za kapljevina se najčešće uzima alkohol ili neka druga organska kapljevina.

Osim činjenice da su ovakvi kapljevinski manometri vrlo prikladni i jednostavni, prednost ove izvedbe nasuprot onih s okomitim cijevima je ta što je ovdje pomak veći nego visina $[h]$ pri istoj razlici tlakova pa se može koristiti dulja skala.

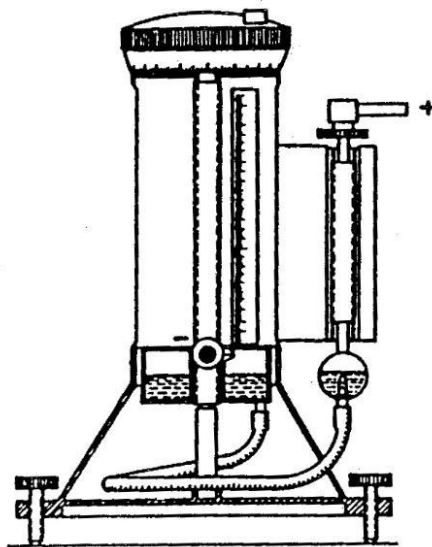
2.2.1.5 Minimetar

Minimetar (slika (8.)) je poseban instrument koji se koristi kada su zahtjevi za točnost pri mjerenju malenih razlika tlakova naročito veliki. U njegovoj izvedbi je zapravo U-cijev u obliku dvije proširene posude koje su međusobno spojene savitljivom cijevi. Jedna proširena posuda je fiksna i na nju se priključuje pretlak [3]. U fiksnoj posudi se nalazi šiljak koji pri izjednačenom tlaku, u nul položaju, upravo dodiruje razinu vode, kojom je napunjen instrument. Zbog djelovanja neke razlike tlaka na instrument podiže se druga proširena posuda pomoću vretena s vijkom. Podizanje traje sve dok šiljak opet ne dosegne razinu vode. Ispravno podešavanje postiže se pomoću optičkog uređaja. Eventualne netočnosti u izvedbi instrumenta ili zbog kapilariteta, pošto u trenu očitavanja položaj razine vode ostaje isti, nemaju utjecaja na točnost mjerenja. Pomoću mikromanometarskog vijka se razlike položaja razine vode mogu očitavati vrlo precizno (u granicama 0,002-0,05 mm).

Formula za računanje razlike tlaka pomoću minimetra glasi:

$$\Delta p = \rho_t \cdot g \cdot h \quad (8)$$

gdje su ρ_t gustoća tekućine kojom je punjen minimetar [kg/m^3], g gravitacijsko ubrzanje [m/s^2], a h visina stupca tekućine [m].



Slika 8. Minimetar [3]

2.2.2 Pretvornici tlaka

Pretvornici tlaka su instrumenti koji pretvaraju mjereni tlak u električni signal koji je proporcionalan mjenom tlaku.

Ovisno o modelu izlazni signal može biti:

- Napon
- Struja
- Frekvencija

Pretvornici tlaka, kako bi osigurali njihovu funkciju, trebaju neprekidno napajanje koje stabilizirano na razinu povezanu s očekivanom nesigurnošću tlaka.[3]

3. UMJERAVANJE MJERILA TLAKA

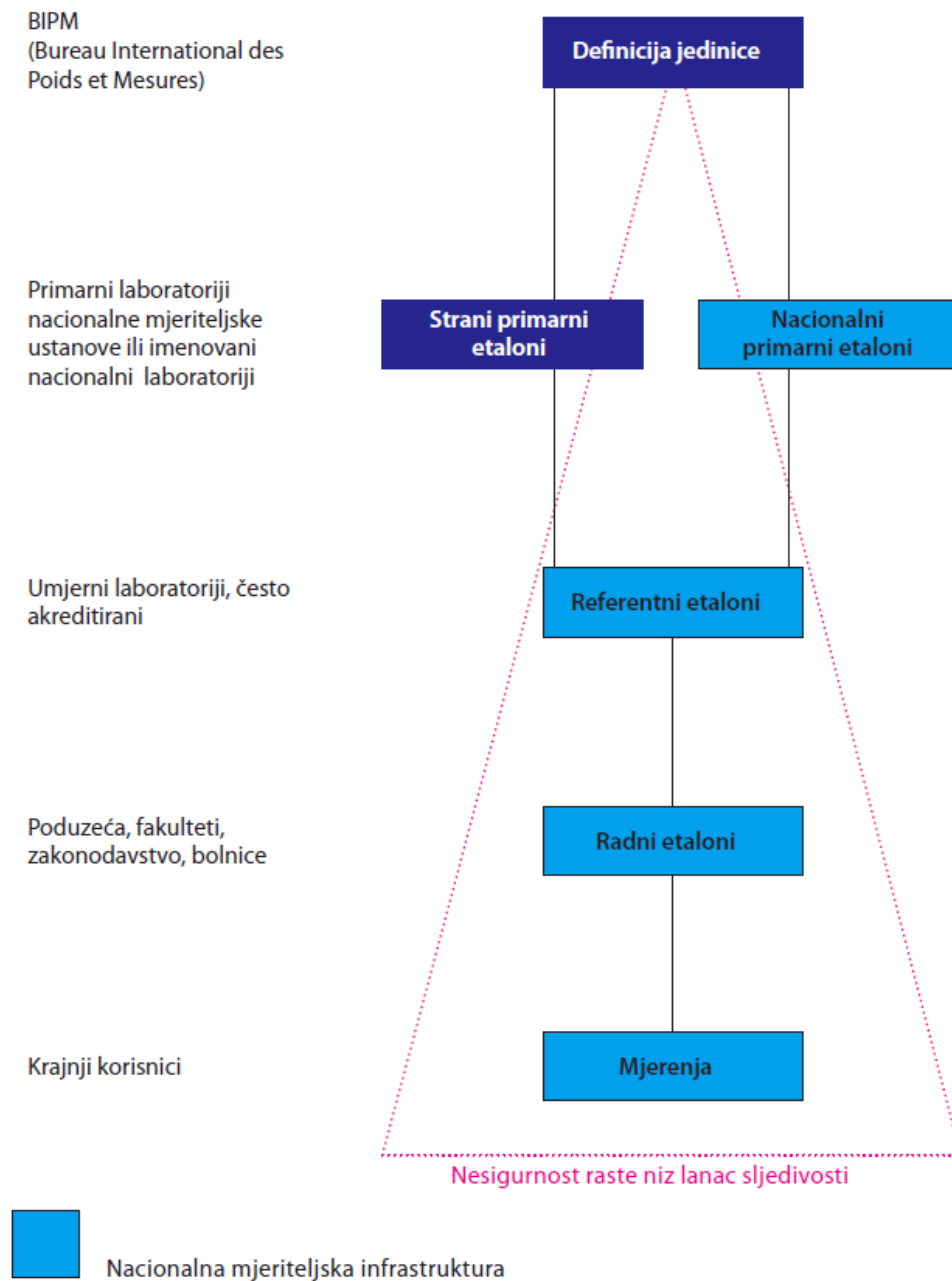
Umjeravanje je po definiciji skupina postupaka koji u određenim uvjetima formiraju odnos između vrijednosti veličina koje pokazuje neko mjerilo ili mjerni sustav i odgovarajuće vrijednosti koje su ostvarene etalonima (pramjerama). Svi instrumenti za mjerenje tlaka prolaze kroz periodička umjeravanja u svrhu što točnijeg (boljeg) rada uređaja. Etaloni tlaka su u pravilu visokokvalitetni fluidni manometri i tlačne vage no postoje i koriste se drugi. Korištenje fluidnih manometara je ograničeno kod viših tlakova radi tražene visine stupca fluida (tekućine). Mjerna sljedivost je svojstvo mjernog rezultata ili vrijednosti etalona nekoga etalona po kojemu se on može dovesti u vezu s navedenim referentnim etalonima (koji su najčešće državni ili međunarodni) neprekinutim lancem usporedbi koje imaju utvrđene nesigurnosti. Umjeravanje se provodi kako bi se:

- prikazala i uspostavila mjerna sljedivost (odnosi se na etalon koji je osnovni alat da bi se nešto moglo umjeravati jer bez etalona nema ni umjeravanja)
- osiguralo da očitavanja mjerila budu sukladna s drugim mjerenjima (ovo se postiže podešavanjem/ugađanjem jer se tako uspostavlja ispravan odnos mjernog signala s mjernom veličinom i zbog toga očitavanja postaju smisljena)
- odredila točnost očitavanja mjernog instrumenta (uspoređuje se s etalom poznatih karakteristika i već prije utvrđenom mjernom sljedivosti)
- utvrdila pouzdanost mjerila (ostvaruje se pomoću ispitivanja karakteristika mjerila)

3.1 Mjerna nesigurnost

Jedna od definicija mjerne sigurnosti je da predstavlja parametar koji se pridružuje mjernom rezultatu, a označuje rasipanje vrijednosti koje se pripisuje mjernoj veličini. Druga definicija je da mjerna nesigurnost količinska mjera kakvoće mjerenih rezultata, koja omogućuje da se rezultati uspoređuju s drugim rezultatima, specifikacijama, etalonima ili referencama. [5] Rezultat mjerenja je kompletan samo ako ga prati kvantitativna izjava o njegovoj mjernoj nesigurnosti. Sva mjerenja podliježu pogreškama, čime se mjerni rezultat razlikuje od istinite vrijednosti mjerne veličina. Mjerna sigurnost može se odrediti obično se pretpostavlja matematički model koji prikazuje ovisnost mjerene veličine o utjecajnim veličinama. O tome

koje sve veličine treba uzeti u obzir obično određuje zahtijevana točnost mjerenja. pokusima tako da se svaka od veličina koje utječu na mjernu veličinu mijenja te se potom statistički procjenjuje nesigurnost. Ovaj postupak zahtjeva puno vremena i novaca te zbog toga nije uobičajen.



Slika 9. Prikaz rasta nesigurnosti niz lanac sljedivosti [10]

Izvori mjerne nesigurnosti u mjerenju:

- uvjeti okoline (u najvećoj mjeri temperature i vlaga prisutna u zraku)
- tip mjerne metode (njene pretpostavke i aproksimacije)
- vještine i pristranost mjeritelja
- neispravnost mjerila/mjernih instrumenata (šumovi, istrošenost i dr.)
- mjerne nesigurnosti samih mjernih instrumenata
- mjerna veličina (slaba ponovljivost, nestabilnost i dr.)
- vjerodostojnost mjernih etalona i referentnih tvari

Mjerna nesigurnost, neovisno o izvoru, procjenjuje se na dva načina:

- Metoda “tip A”
- Metoda “tip B”

3.1.1. Mjerna nesigurnost tipa A

Mjerna nesigurnost tipa A određuje se isključivo metodom statističke obrade rezultata mjerenja. Mjerna nesigurnost tipa A postoji isključivo ako se radi o mjerenju koje je ponovljeno nekoliko puta. Ako su rezultati ravnopravni, tj. ako su ponovljeni eksperimenti izvršeni na isti ili sličan način i s istovjetnom mjernom opremom, rezultat mjerenja dobiva se kao srednja vrijednost (aritmetička sredina) vrijednosti rezultata. Drugim riječima, obrada podataka odvija se posredstvom Gaussove ili normalne razdiobe u kojoj su skupljeni podaci (rezultati) grupirani oko srednje vrijednosti, a udaljavanjem od srednje vrijednosti učestalost njihova pojavljivanja se smanjuje. Općenito se standardna mjerna nesigurnost označava s malim slovom u .

Potrebne jednadžbe za izračun mjerne nesigurnosti ovom metodom [6]:

- srednja vrijednost:

$$\bar{x}_l = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_{i,k} \quad (9)$$

- eksperimentalna standardna devijacija

$$s(\bar{x}_l) = \sqrt{\frac{1}{1-n} \sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x})^2} \quad (10)$$

- o eksperimentalno standardno odstupanje srednje vrijednosti:

$$s(\bar{x}_l) = \frac{s(x_i)}{\sqrt{n}}$$

$$u_A = s(\bar{x}_l)$$

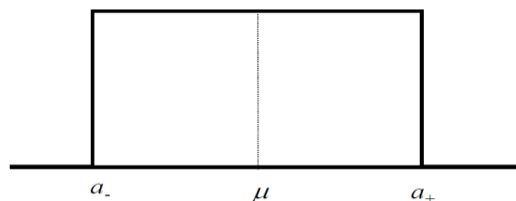
$$u = \frac{s}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} \quad (11)$$

3.1.2 Mjerna nesigurnost tipa B

Procjena mjerne nesigurnosti tipa B, određuje se svim ostalim metodama izuzev statističke analize. Pojam korištenja svih ostalih metoda podrazumijeva da skup tih metoda nije određen, nego da izvor metoda ovisi od potreba i od iskustva i znanja same osobe koja provodi mjerenje. Za određivanje mjerne nesigurnosti ovog tipa treba imati potpuna saznanja o korištenoj mjernoj opremi, o utjecaju različitih parametara na mjernu opremu i na veličinu koja se mjeri. Jedan od najvažnijih izvora podataka za određivanje mjerne nesigurnosti ovog tipa su katalozi i priručnici koje proizvođači daju uz mjernu opremu koja se koristi. Podatke koji su navedeni u proizvođačkim dokumentima treba shvatiti kao proširenu nesigurnost. Proširena mjerna nesigurnost (s tipičnom oznakom, U) predstavlja umnožak standardne mjerne nesigurnosti i broja k koji označava koeficijent proširenja (negdje poznat i kao factor pokrivanja).[7] Pri računanju s ovom metodom dan nam je interval nesigurnosti u kojem se najvjerojatnije nalazi točna vrijednost, a pošto je razdioba pravokutna, standardna mjerna nesigurnost računa se pomoću formule:

$$u = \frac{a}{\sqrt{3}} \quad (12)$$

gdje je a polu-interval nesigurnosti.



Slika 10. Pravokutna ili jednolika razdioba[7]

3.2 Postupak umjeravanja

Njemačka služba za umjeravanje (njem. Deutscher Kalibrierdienst) obuhvatila je kalibracijske laboratorije u industrijskim poduzećima, institute za inspekciju i ispitivanja, istraživačke institute i druga tehnička tijela. Osnovana je 1977.godine, a izdavanjem akreditacijskih certifikata utvrđuje poštivanje nacionalnih standarda vođenih normama DIN EN ISO 9000 i DIN EN ISO/IEC 17025 koje definiraju opće zahtjeve za osposobljavanje ispitnih i umjerenih laboratorija[8]. Izdane smjernice od strane ovih tijela sadrže opis tehničkih, organizacijskih i procesnih postupaka koji akreditirani mjereni laboratoriji koriste kao model da točno definiranje internih propisa i procesa. Primjenom smjernica osigurava se ravnopravnost umjeravanja uređaja u različitim umjernim laboratorijima i ono najvažnije njihova usporedivost. Glavna svrha DKD-a je promicanje umjeravanja preko širenja jedinica, a prvenstveno se potiče razmjena informacija među članovima te razvijanje uputa za umjeravanje. Glavni ciljevi se postižu na mnoge načine, a promiču se ovi najvažniji:

- aktivno informiranje članova o aktualnim događajima na području umjeravanja
- prisustvovanjem na okupljanjima Njemačkog akreditacijskog tijela
- aktivnim sudjelovanjem u sastavljanju kalibracijskih propisa
- promocijom tečajeva i raznih edukacija za zaposlenike u području umjeravanja
- aktivnim objavljivanjem dokumenata od članova
- konstantnim poticanjem međulaboratorijskih uspoređivanja
- i dr.

Smjericama se utvrđuju minimalni zahtjevi za postupak umjeravanja i procjenu mjerne nesigurnosti mjernih instrumenata. U priručniku DKD-a su navedene i detaljno objašnjenje metode umjeravanja za električna mjerila tlaka, Bourdonove cijevi te pretvornike tlaka s električnim izlazom.

Laboratorij je u mogućnosti provesti umjeravanje kada funkcionalni testovi (ispitivanje električne operativnosti, pravilno funkcioniranje elemenata za upravljanje, ispitivanje linije propusne debljine sustava predmeta koji se umjerava, i dr.) te vanjska inspekcija (provjera čistoće I zagađenja, pregled oštećenja i nepravilnosti i dr.) budu zadovoljavajući. Prema propisima, mjerenje bi se trebalo provoditi nakon uspostavljenih standardnih uvjeta okoline. Standardni uvjeti okoline podrazumijevaju temperature od 20°C, također se podrazumijeva standardni tlak od jednog bara i normalna gravitacija. Najvažnija stavka je da referentni etalon koji će se koristiti za umjeravanje bude odobren od akreditacijskog tijela. Referentni etaloni

koji se mogu koristiti su visokokvalitetni tekućinski manometri i tlačne vage ili druga razna električna mjerila tlaka. Oni se umjeravaju u propisanim redovnim razmacima i dolaze s certifikatima u kojima se navodi proširena mjerna nesigurnost pri standardnim uvjetima. Kod izračuna za mjernu nesigurnost korištenih etalona, uzimaju se u obzir sve relevantne veličine vanjskih i unutarnjih utjecaja. Ako se umjeravanje ne provodi pri standardnim uvjetima moraju se uzeti u obzir potrebne korekcije tlaka. Umjeravanja započinje kada se izjednače temperature umjeravanog instrumenta i etalona u okviru dozvoljenog temperaturnog intervala od 18°C do 28°C, uz značajan uvjet da temperatura mora biti stabilna s mogućom maksimalnom oscilacijom od 1°C.

3.2.1 Metode umjeravanja

Radi što točnijeg umjeravanja, potrebno je obratiti pozornost na sljedeće:

- mjerilo tlaka mora biti umjereno kao cjelina
- potreban položaj ugradnje
- jednoliko raspoređene mjerne točke kroz mjerni raspon (raspon umjeravanja)
- broj mjernih serija varira o zahtijevanoj mjernoj nesigurnosti
- visinsku razliku između etalona i umjeravanog mjerila treba održavati što manjom ili primijeniti potrebnu korekciju
- uvjete prilikom montaže mjernog instrumenta

Rezultati mjerenja umjeravanog instrumenta i referentnog etalona mogu se uspoređivati na dva načina:

- podešavanjem tlaka prema naznaci referentnog etalona
- podešavanjem tlaka prema naznaci umjeravanog instrumenta

Kako bi umjeravanje bilo što točnije, treba proći minimalno 30 sekundi između dva predopterećenja, a toliko bi trebao iznositi i vrijeme predopterećenja kod najviše vrijednosti. Nakon predopterećenja i nakon što su se uspostavili stacionarni uvjeti, indikacija umjeravanog instrumenta podešena je na nulu te je moguće očitati prva mjerna točka. Vremenski period između dva uzastopna opterećenja je minimalno dugačak 30 sekundi i u principu bi trebao biti konstantan. 30 sekundi nakon što se tlak počeo mijenjati dolazi do očitavanja vrijednosti tlaka. Najvišu vrijednost mjernog intervala se očitava dva puta, prije i

poslije faze čekanja jer ona označava završetak uzlazne i početak silazne serije. Očitavanje najniže tj. nulte vrijednosti, pri završetku mjerenja, se provodi minimalno 30 sekundi nakon potpunog rasterećenja.

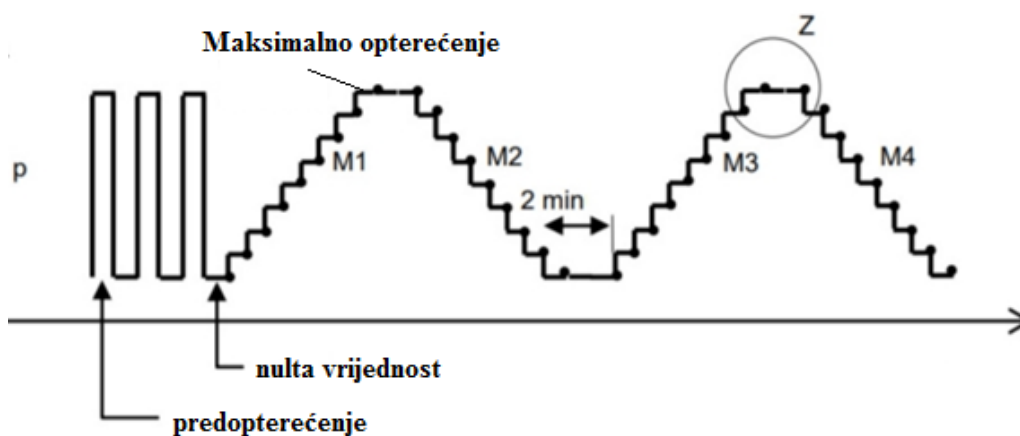
Općenito su korištene tri metode umjeravanja mjerila tlaka po DKD-ovom priručniku:

- metoda A
- metoda B
- metoda C

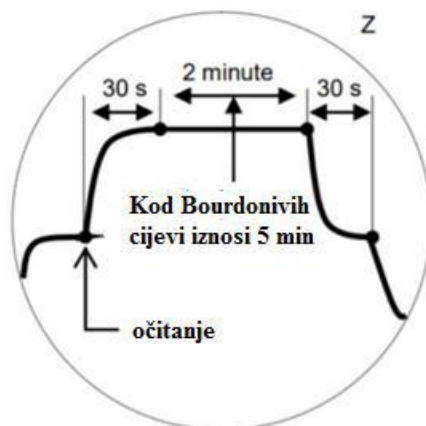
Tablica (2) prikazuje osnovne parametar ovih tri metoda:

Tablica 2. Osnovne metode umjeravanja prema DKD-R6-1 [8]

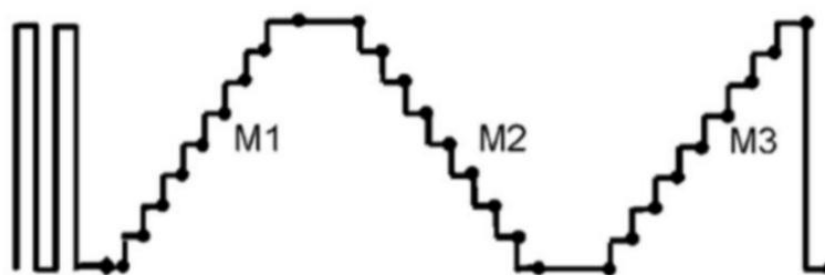
Tip umjeravanja	Željena mjerna nesigurnost (% mjernog područja)	Minimalni broj mjernih točaka (s nulom uzlazno/silazno)	Broj predopterećenja	Promjena opterećenja +vrijeme čekanja (sekunde)	Vrijeme zastoja u najvećoj točki mjernog područja (minute)	Broj mjernih serija	
						uzlazno	silazno
A	< 0,1	9	3	> 30	2	2	2
B	0,1 - 0,6	9	2	> 30	2	2	1
C	> 0,6	5	1	> 30	2	1	1



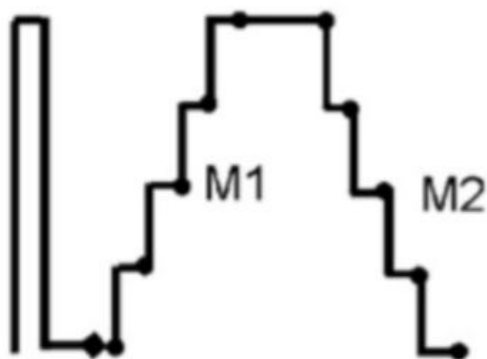
Slika 11. Shematski prikaz metode A [8]



Slika 12. Detalj Z segmenta metode A [8]



Slika 13. Shematski prikaz metode B[8]



Slika 14. Shematski prikaz metode C [8]

4. PROVEDBA MEĐULABORATORIJSKE USPOREDBE

Međulaboratorijska usporedba (ispitivanja) predstavlja organiziranje, izvođenje te na kraju vrednovanje mjerenja ili ispitivanja istih ili sličnih predmeta ispitivanja u minimalno dva, ali po mogućnosti više laboratorija prema unaprijed definiranim uvjetima. Međulaboratorijske usporedbe uz programe ispitivanja sposobnosti i vanjske procjene kvalitete predstavljaju najprikladnija sredstva za praćenje ispravnosti i kvalitetu mjernih rezultata i samih mjernih instrumenata nekog laboratorija. Iz tog razloga, kroz godine su napisani nekoliko pravilnika odnosno uputa kako se provode međulaboratorijska ispitivanja. U ovom radu opisat ćemo što nalažu dva pravilnika: EURAMET i Hrvatska akreditacijska agencija.

4.1 Upute EURAMET-a

EURAMET (eng. European Association of National Metrology Institutes) je europsko udruženje nacionalnih mjeriteljskih zavoda osnovano 11.siječnja 2007. godine u Berlinu. Suradnički je savez nacionalnih mjeriteljskih organizacija iz država članica Europske unije i Europske udruge za slobodnu trgovinu čiji je glavni cilj postizanje usklađivanja u radu i suradnji nacionalnih mjeriteljskih zavoda te razvoj i održavanja integrirane mjeriteljske infrastrukture na području Europe.[11] EURAMET inzistira na korištenju vodiča za umjeravanje od strane drugih organizacija (npr. Nacionalni mjeriteljski institute, regionalne mjeriteljske organizacije i ostale) i korištenje vodiča za kalibraciju u svrhu usklađivanja tehničkih postupaka u području mjerenja. Upute koje sadrži EURAMET-ov pravilnik za međulaboratorijske usporedbe treba koristiti zajedno s dokumentom “*Measurement comparisons in CIPM MRA*” (točnije CIPM MRA-D-05) izdanog od strane Međunarodnog odbora za mjere i utege. Prema dokumentima se definiraju tri osnovne vrste usporedbi koje se vrše na regionalnoj razini ili na međunarodnoj razini:

- ključne usporedbe
- dodatne (dopunske) usporedbe
- pilot-studije (istraživanja)

Pod ključne usporedbe podrazumijeva se da su najopširnije i da se njima postiže najviša razina kvalitete. Savjetodavni odbor odabire ključne usporedbe kako bi se testirale glavne tehnike i metode u praksi. Dodatne, bilateralne usporedbe s pilot-laboratorijem ili nekim od sudionika, se provode ako neki od instituta smatra da rezultati proizašli iz ključne usporedbe ne sadrže vjerodostojni prikaz njihovog standard. Bilateralne usporedbe traže dodatni angažman u organizaciji iako se one provode u što kraćem vremenskom periodu nakon već obavljenih ključnih usporedbi. Dodatne usporedbe služe za zadovoljavanje specifičnih potreba koje nisu specifične i obuhvaćene u ključnim usporedbama. Njih provode regionalne metrološke organizacije, a osim zadovoljavanja specifičnih zahtjeva, koriste se i za uključivanje laboratorija koji ne zadovoljava potrebne uvjete za sudjelovanje u ključnim usporedbama. Pilot-studije (istraživanja) se provode radi ispitivanja novo uvedenih instrumenata ili u svrhu obuke, iako postižu najnižu razine kvalitete.

4.1.1 Pilot-laboratorij

Kako bi se međulaboratorijska usporedba provela po nekim pravilima, između sudionika odabire se tko će preuzeti ulogu koordinatora ili tzv. pilot-laboratorij. Prilikom usporedbe opisane u zadatku, ovu ulogu je preuzeo LMP te su njegove glavne odgovornosti[11]:

- određivanje sudionika
- izrada tehničkog protokola, naravno u uskom dogovoru s tehničkim odborom i uključenim sudionicima
- registriranje usporedbe za bazu podataka tehničkog odbora EURAMET-a
- priprema prijenosnog etalona i određivanje kako će cirkulirati među sudionicima
- usporedba svih rezultata mjerenja određenih u laboratorijima koji su sudjelovali
- u slučaju velikih problema (poput značajnih odgoda, gubitak ili oštećenje etalona i sl.) prilikom izvođenja, potrebno je kontaktirati tehnički odbor
- izrada godišnjeg izvještaja o napretku za sastanke s tehničkim odborom
- procjenjivanje/ocjenjivanje usporedbe
- izrada i objava konačnog izvještaja

4.1.2 Tehnički protokol za međulaboratorijsku usporedbu

Tehnički protokol je važan dio svake međulaboratorijske usporedbe koji poštivaju svi sudionici kako bi se sam proces lakše i neometano odvijao. Pilot-laboratorij je zadužen za njegovo sastavljanje, a prema EUROMET-ovim uputama, on treba sadržavati[11]:

- sažeti uvod i precizno definirane veličine koje će se mjeriti
- opis sheme usporedbe
- točno određen vremenski period odvijanja usporedbe i dogovore oko rezultata
- opis instrumenta koji cirkulira između laboratorija
- preporuku za izvođenje i organizaciju transporta za prijenosni instrument
- opis mjerne metode, broj točaka izvođenja i uvjete umjeravanja
- konačne rezultate usporedbe
- popis najznačajnijih uzroka mjerne nesigurnosti
- opisani način procjenjivanja rezultata
- sveukupne troškove za provedbu usporedbe
- navedenu pomoćnu literature koja se koristila

4.2 Hrvatska akreditacijska agencija (HAA)

Hrvatska akreditacijska agencija (skraćeno HAA) je neovisna, nekomercijalna i neprofitna javna ustanove osnovana s ciljem obavljanja poslova nacionalne službe za akreditaciju u Republici Hrvatskoj. Zasniva se na temelju zakona o akreditaciji, a uvedena je Uredbom Vlade RH radi provedbe hrvatskog tehničkog zakonodavstva koje je usklađeno sa zakonodavstvom Europske Unije.[12] Ona vrši procjenu stručne i tehničke osposobljenosti inspekcijskih i certifikacijskih tijela, verifikatora stakleničnih plinova, organizatora ispitivanja osobnosti te nama najvažnije, laboratorija. Posjedovanje akreditacije omogućuje međunarodno priznato dokazivanje osposobljenosti za procjenu sukladnosti u područjima ispitivanja, inspekcije, umjeravanja, verifikacije stakleničkih plinova te organiziranje ispitivanja sposobnosti. Kako bi dobili akreditaciju, laboratorij ili neko drugo tijelo, mora dokazati svoju tehničku osposobljenost koja se dokazuje vanjskim i unutrašnjim mjerama kontrole kvalitete rezultata. Vanjske procjene kvlalitete ili uspješno sudjelovanje u shemama ispitivanja sposobnosti najbolji su načini dokazivanja tehničke osposobljenosti nekoga laboratorija.

4.2.1 Pravila HAA

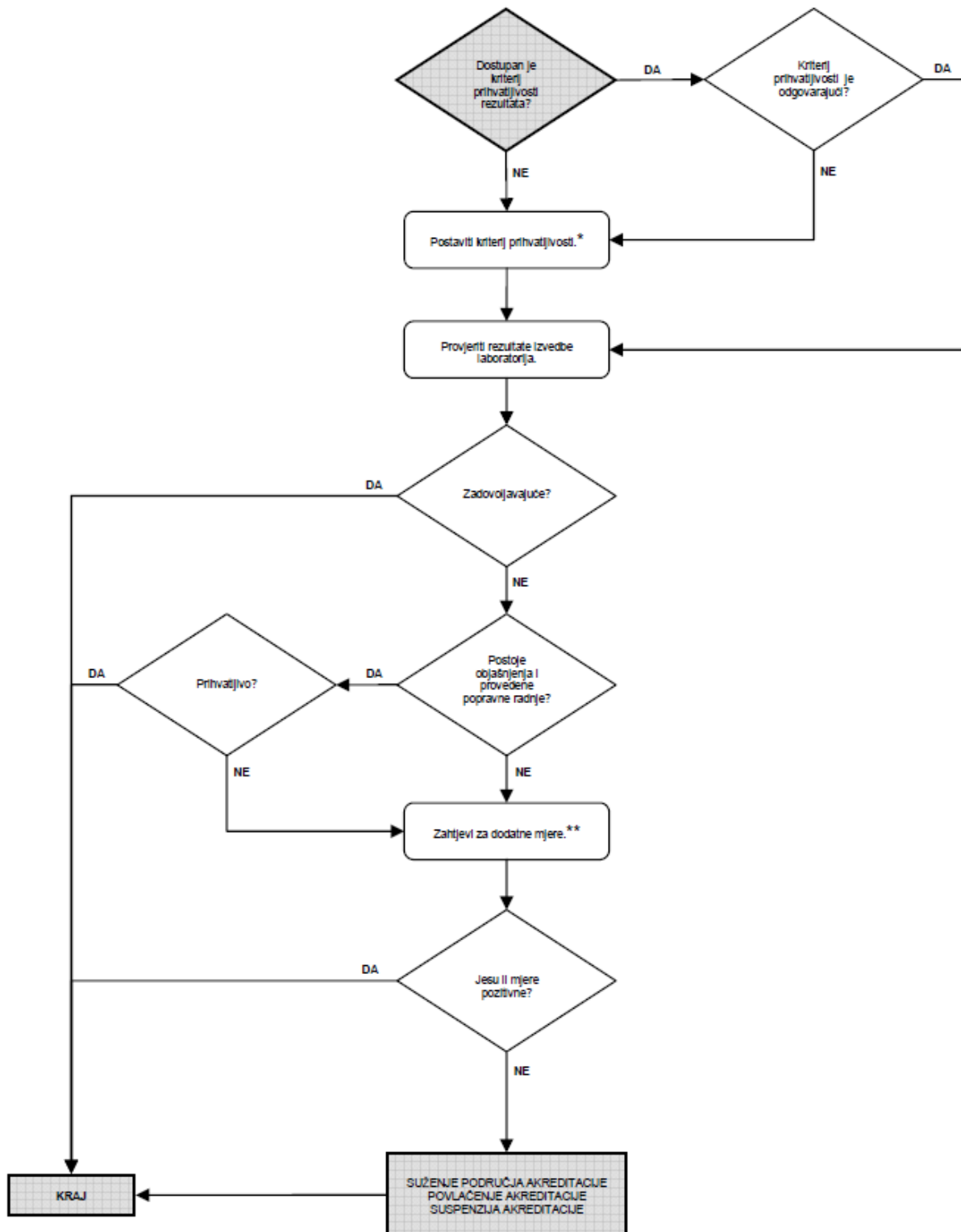
Međulaboratorijska usporedba se provodi prema uputama i pravilima HAA ako laboratorij posjeduje dokumente o politici i postupcima osiguranja kvalitete rezultata i ima definiran plan kontroliranja kvalitete. Analiza rezultata detaljno se razrađuje za svaku provedenu mjeru kontrole kvalitete ili ispitivanje sposobnosti. [12] Također, mora sadržavati sve potrebne informacije o postupcima mjerenja, mjernoj opremi, shemama ispitivanja, izvođačima provedenih mjerenja, odabrani kriteriji vrednovanja itd. HAA prihvaća sve međulaboratorijske usporedbe ili sva ispitivanja sposobnosti za dokazivanje tehničke osposobljenosti ako su provedeni u skladu s načelima norme HRN EN ISO/IEC 17043:2010. Kriterij prihvatljivosti najčešće su definirani shemom ispitivanja sposobnosti, koje se temelje na dogovorenim graničnim vrijednostima ili pokazateljima koji se zasnivaju na nekom statističkom proračunu. Kriterij prihvatljivosti za individualne rezultate koji za procjenu uspješnosti sudjelovanja koriste statističko određivanje rezultata primjenom z-vrijednosti, z'-vrijednosti, ζ -vrijednosti i E_n vrijednosti su:

$ z \leq 2$	Zadovoljavajuće
$2 < z < 3$	Upitno
$ z \geq 3$	Nezadovoljavajuće
$ E_n \leq 1$	Zadovoljavajuće
$ E_n > 1$	Nezadovoljavajuće

Kriterij za vrijednost z' i ζ jednaki su onima za z-vrijednost. Ako su rezultati upitni ili još gore, nezadovoljavajući, laboratorij provodi istraživanje uzroka koji su zaslužni za takve rezultate te pokreće odgovarajuće radnje koje ispravljaju uzroke koje se dokumentiraju jer prolaze ocjenjivanje od strane HAA.[12]

Tablica 3. Statistike za kvantitativne rezultate[12]

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



Slika 15. Dijagram tijeka ocjenjivanja sheme ispitivanja sposobnosti [12]

Akreditacija se provodi u skladu s europskim (EN) i međunarodnim (ISO, ISO/IEC) normama, a u Republici Hrvatskoj one su prihvaćene kao hrvatske norme (HRN). Priznate norme su [12]:

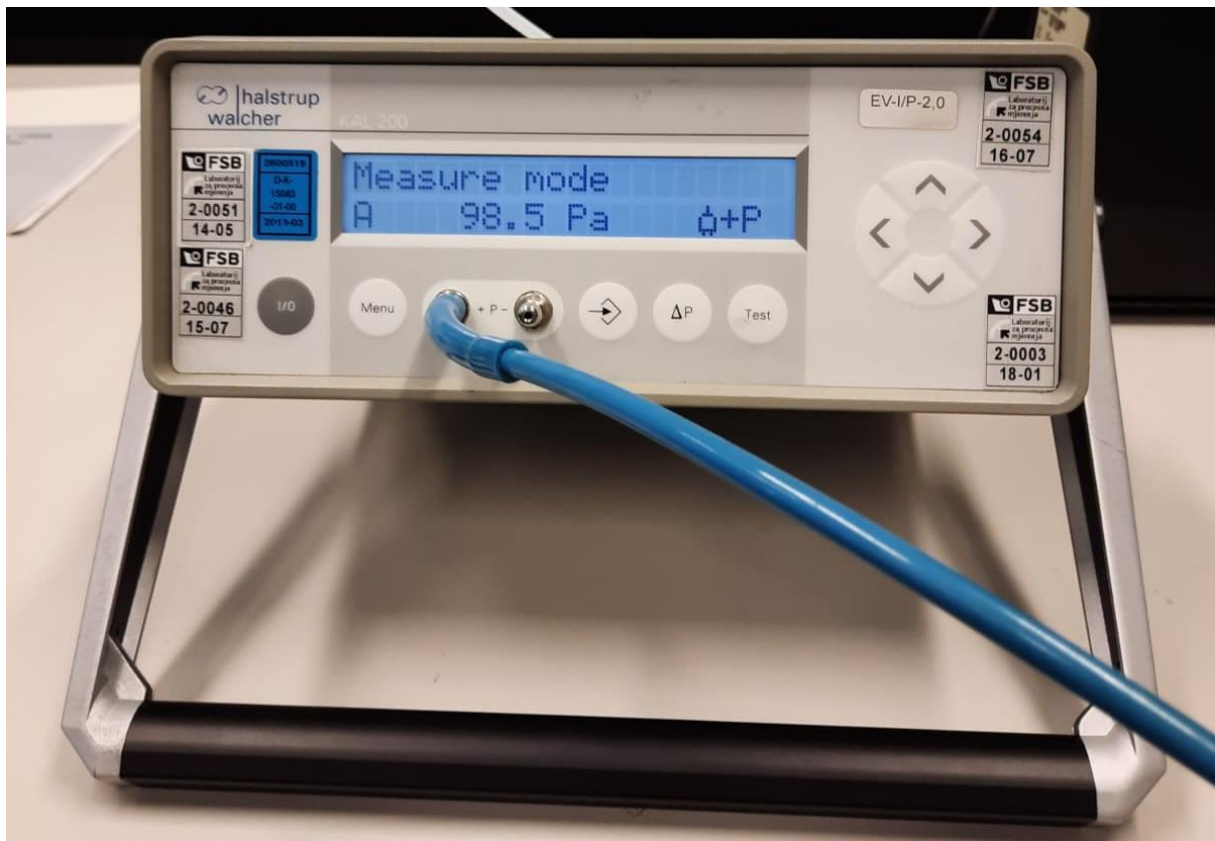
1. *HRN EN ISO/IEC 17020:2012, Ocjenjivanje sukladnosti - Zahtjevi za rad različitih vrsta tijela koja provode inspekciju*
2. *HRN EN ISO/IEC 17011:2017, Ocjena sukladnosti - Opći zahtjevi za akreditacijska tijela koja akreditiraju tijela za ocjenu sukladnosti*
3. *HRN EN ISTO/IEC 17025:2017, Opći zahtjevi za osposobljenosti ispitnih i umjernih laboratorija*
4. *HRN EN ISO/IEC 17043:2010, Ocjenjivanje sukladnosti - Opći zahtjevi za ispitivanje sposobnosti*
5. *HRN 5725-2:2020, Osnovna metoda određivanja ponovljivosti i obnovljivosti standardne mjerne metode*
6. *HRN ISO 13528:2017, Statističke metode pri ispitivanju sposobnosti putem međulaboratorijskih usporedbi*
7. *HRN EN ISTO 15189:2012, Medicinski laboratoriji - Zahtjevi za kvalitetu i osposobljenost*

5. OPIS PROVEDENIH MJERENJA

U provedbi ovog međulaboratorijske usporedbe sudjelovali su sveukupno tri laboratorija:

- Laboratorij za procesna mjerenja (LPM) na Fakultetu strojarstva i brodogradnje
- EkoVent-Info d.o.o.
- Klimaoprema d.d.

Predmet umjeravanja bio je digitalni kalibrator tlaka proizvođača Halstrup Walcher, model KAL 200 i njega prikazuje slika (16). Predstavlja prijenosni etalon koji je cirkulirao između tri navedena laboratorija, a instrument pod vlasništvom EkoVent-a. Mjerno područje umjeravanja je obuhvaćeno od 0 do 5000 Pa.



Slika 16. Digitalni kalibrator tlaka Halstrup Walcher, KAL 200

5.1 Mjerenje u laboratoriju EkoVent-a

EkoVent-Info d.o.o. je firma osnovana 1997.godine i smještena je u Zagrebu. Firma se od samih početaka specijalizirala u području ispitivanja i balansiranja ventilacijskih sustava te u ispitivanjima kvalitete zraka u radnim prostorima kao i u ispitivanjima buke.[13] Od 2003. godine su dobili ovlaštenja za obavljanje poslova vezanih uz zaštitu na radu te ispitivanja elektro instalacija. Nešto kasnije, od 2014. godine su se upustili u procedure dobivanja akreditacije, te se akreditira kao umjerni laboratorij kod Hrvatske Akreditacijske agencije (HAA) prema normi EN ISO/IEC 17025:2007, te dodatno širi djelatnost na umjeravanje mjerila temperature, tlaka, relativne vlage i klimatizacijskih komora. Od 2017. godine firma kreće u akreditaciju kao ispitni laboratorij po normi EN ISO/IEC 17025 za ispitivanje ventilacijskih sustava tj. brzina strujanja zraka, protoka zraka, temperature i relativne vlage zraka te diferencijalnog tlaka. Od 2020-te godine su akreditirani kod Slovenske Akreditacijske Agencije prema istoj normi EN ISO/IEC 17025:2017 kao akreditirani umjerni laboratorij.

Za ovu usporedbu laboratorij EkoVent-a preuzeo je ulogu umjeravanog laboratorija. Kod njih umjeravanja se odvijalo 13.12. 2021. godine. Umjeravanje je provedeno usporedbenom metodom tipa B koristeći mjernu proceduru oznake MU 7.2/3 koja se temelji na proceduri opisanoj u DKD-R 6.1. Vremenski period za kondicioniranje instrumenata iznosio je 24 sata. Predmet umjeravanja bio je postavljen u vertikalni položaj, dok je zrak poslužio kao tlačni medij. Tablica (4) prikazuje okolišne uvjete laboratorija EkoVent-a tijekom umjeravanja.

Tablica 4. Okolišni uvjeti u laboratoriju EkoVent-a

EkoVent	Uvjeti umjeravanja
Temperatura okoline	(21±2) °C
Tlak okoline	(1000±10) mbar
Relativna vlažnost	(40±10) %rv

5.1.1 Rezultati mjerenja u laboratoriju EkoVent-a

Mjerna nesigurnost je sastavljena od nesigurnosti metode umjeravanja i nesigurnosti predmeta koji se umjerava. Mjerna nesigurnost ne obuhvaća komponentu duge vremenske stabilizacije, ali obuhvaća histerezu predmeta koji se umjerava. Prikazana mjerna nesigurnost (u tablici) je

proširena mjerna nesigurnost koja se izračunava iz standardne mjerne nesigurnosti množenjem s faktorom pokrivanja $k=2$ prema EA-4/02 M:2013. Izmjerena vrijednost je sa sigurnošću od 95% unutar dodijeljenog mjernog područja. Kao što je već navedeno umjeravanje je izvedeno korištenjem metode B sukladno uputi DKD-R 6.1 u mjernim točkama 0, 10, 20, 30, 50, 60, 80, 90 i 100 Pa (sveukupno 9 točaka).

Tablica 5. Izmjerene vrijednosti u laboratoriju EkoVent-a

Br.	Mjerna točka [Pa]	Tlak etalona p_e [Pa]	Umjeravani uređaj [Pa]		
			Uzlazno M1	Silazno M2	Uzlazno M3
1	0	-0,01	0,0	-0,5	-0,5
2	10	9,96	10,0	9,5	9,5
3	20	19,94	20,0	19,5	19,5
4	30	29,93	30,0	30,0	29,5
5	50	49,95	50,0	50,0	49,5
6	60	59,94	60,0	60,0	59,5
7	80	79,94	80,0	80,0	79,5
8	90	89,94	90,0	90,0	89,5
9	100	99,96	100,0	100,0	99,5

Tablica 6. Izračunate vrijednosti u laboratoriju EkoVent-a

Br	Mjerna točka [Pa]	Tlak etalona p_e [Pa]	Srednja vrijednost M_{sr} [Pa]	Odstupanje $M-p_e$ [Pa]	Ponovljivost b [Pa]	Histereza h [Pa]	Mjerna nesigurnost U [Pa]
1	0	-0,01	-0,33	-0,32	-0,50	-0,50	0,61
2	10	9,96	9,67	-0,29	-0,50	-0,50	0,61
3	20	19,94	19,67	-0,27	-0,50	-0,50	0,61
4	30	29,93	29,83	-0,10	-0,50	0,00	0,6
5	50	49,95	49,83	-0,12	-0,50	0,00	0,6
6	60	59,94	59,83	-0,11	-0,50	0,00	0,6
7	80	79,94	79,83	-0,11	-0,50	0,00	0,6
8	90	89,94	89,83	-0,11	-0,50	0,00	0,6
9	100	99,96	99,83	-0,13	-0,50	0,00	0,6

5.2. Mjerenje u laboratoriju Klimaopreme

U Samoboru je 1975. godine osnovana je Klimaoprema te se iz malog proizvodnog pogona sa samo 12 zaposlenih djelatnika danas razvila u tržišno prepoznatog proizvođača s robotiziranim i automatiziranim proizvodnim pogonom veličine 43.000 m² i 460 zaposlenih [14]. Njihov laboratorij je projektiran u skladu sa EN 12238 normom, a primarna namjena je ispitivanje stopnih distributera zraka, stropni raspore, linijskih distributera, zidnih rešetki, sapnica, zaklopki i zračnih ventila, prema HR EN 12238 i HR EN 12239 normi. Laboratorij, uz standardna mjerenja, omogućava simulacije u realnim uvjetima. U ispitnom laboratoriju mjere se brzine strujanja zraka, protoci zraka, Reynoldsov tenzor naprezanja i intenzitet turbulencije, pad tlaka, temperature, buka te vizualizacija strujanja zraka pomoću dimnih testova.

Laboratorij klimaopreme, kao i laboratorij EkoVent-a, je preuzeo ulogu umjeravanog laboratorija. Umjeravanje u laboratoriju bilo je održano 21.12.2021. godine. Umjeravanje je provedeno usporedbom očitavanja mjerila koji se provjeravao sa referentnim mjerilom. Umjeravanje je provedeno usporednom metodom tipa B koristeći mjernu procedure oznake KO-PP-027-LAB koja se temelji na proceduri opisanoj u DKD-R 6.1. Kao referentni uređaj koristio se Mensor, model CPC2000 (slika(17)). Umjeravani kalibrator tlaka bio je horizontalno postavljen, a za tlačni medij koristio se zrak. Kondicioniranje opreme (instrumenata) trajalo je 24 sata. Tablica (7) prikazuje okolišne uvjete koji su prevladavali tijekom umjeravanja u laboratoriju Klimaopreme.

Tablica 7. Okolišni uvjeti u laboratoriju Klimaopreme

Klimaoprema	Uvjeti umjeravanja
Temperatura okoline	23,9 °C
Tlak okoline	(1006±5) mbar
Relativna vlažnost	28,7 %rv



Slika 17. Mensor, model CPC2000 (lijevo) s Halstrup Walcher, model KAL 200 (desno)

5.2.1 Rezultati mjerenja u laboratoriju Klimaopreme

Proširena mjerna nesigurnost U je iskazana kao standardna nesigurnost rezultata mjerena pomnožena s faktorom $k=2$ (vjerojatnost približno 95%). Standardna nesigurnost je određena u skladu s EA preporukama EA-4/02. Kao i ostala mjerenja u ovoj usporedbi, umjeravanje je provedeno korištenjem metode B prateći upute DKD-R 6.1 i također provedeno u, već nabrojanim, 9 mjernih točki.

Tablica 8. Izmjerene vrijednosti u laboratoriju Klimaopreme

Br.	Mjerna točka [Pa]	Tlak etalona p_e [Pa]	Umjeravani uređaj [Pa]		
			Uzlazno M1	Silazno M2	Uzlazno M3
1	0	0,098	0,0	-0,5	-0,5
2	10	10,07	10,0	9,5	9,5
3	20	20,04	20,0	19,5	19,5
4	30	30,02	30,0	29,5	29,5
5	50	49,96	50,0	49,5	49,0
6	60	59,94	60,0	59,5	59,0
7	80	79,89	80,0	79,5	79,0
8	90	89,86	89,5	89,5	89,0
9	100	99,83	100,0	100,0	99,5

Tablica 9. Izračunate vrijednosti u laboratoriju Klimaopreme

Br.	Mjerna točka [Pa]	Tlak etalona p_e [Pa]	Srednja vrijednost M_{sr} [Pa]	Odstupanje $M-p_e$ [Pa]	Ponovljivost b [Pa]	Histereza h [Pa]	Nesigurnost umjeravanja U [Pa]
1	0	0,098	-0,33	-0,43	-0,50	-0,50	0,58
2	10	10,07	9,67	-0,40	-0,50	-0,50	0,58
3	20	20,04	19,67	-0,37	-0,50	-0,50	0,58
4	30	30,02	29,67	-0,35	-0,50	-0,50	0,58
5	50	49,96	49,50	-0,46	-1,00	-0,50	0,77
6	60	59,94	59,50	-0,44	-1,00	-0,50	0,77
7	80	79,89	79,50	-0,39	-1,00	-0,50	0,77
8	90	89,86	89,33	-0,53	-0,50	0,00	0,42
9	100	99,83	99,83	0,00	-0,50	0,00	0,42

5.3 Mjerenje u laboratoriju LPM-a

Laboratorij za procesna mjerenja (skraćeno LPM) je laboratorij u sklopu Fakulteta strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu.[15] LPM ima više od 50 iskustva u stručnom, znanstvenom i nastavnom radu vezanom za praktična i teorijska znanja o mjerenju procesnih i toplinskih veličina kao što su:

- tlak
- temperatura
- protok
- vlažnosti
- masa
- brina strujanja fluida
- toplinska energija
- toplinska svojstva tvari

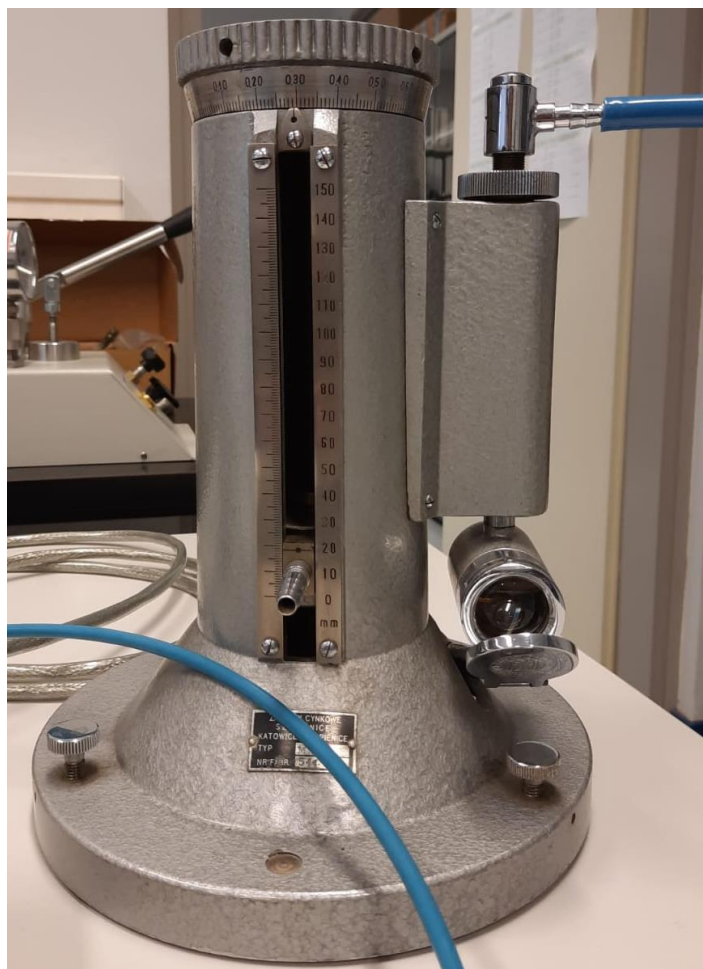
LPM je nacionalni umjereni laboratorij za tlak, vlažnost i temperature imenovan od Državnog zavoda za mjeriteljstvo (skraćeno DZM-a) te od 2002. godine je akreditirani umjereni laboratorij prema normi ISO/IEC 17025. Laboratorij je opremljen najmodernijom računalnom i mjernom opremom, a u njemu su zaposleni djelatnici s vrhunskom stručnom spremom stečenu na brojnim znanstvenim i stručnim usavršavanjem u inozemstvu. Osim što aktivno sudjeluju i u edukaciji mladih kadrova FSB-a, sudjelovali ili su još uvijek uključeni u mnoštvo stručnih i znanstvenim radova.

Zbog svog iskustva i jer je uspoređivan s europskim etalonima, LPM je odrađivao ulogu pilot-laboratorija. LPM laboratorij proveo je umjeravanje 22.12.2021.godine. Korištena je interna procedura umjeravanja metodom usporedbe CPTL-02 temeljene na DKD-R6-1 (Tip B) proceduri. Kao referentni uređaj ovaj laboratorij je koristio pretvornik tlaka “Baratron” model 120AD (Slika (18)) interne oznake TLPRE-06 koji je umjeren na Institutu za kovinske material in tehnologije (IMT) u Ljubljani, Sloveniji. Referentni uređaj spaja s PR4000B (slika(19)) što predstavlja jedinicu za napajanje i očitavanje rada npr. mjerača protoka mase, regulatora protoka, pretvarača tlaka ili regulatora tlaka. Za generaciju ovako zahtijevanih malih tlakova koristio se minimetar(slika(20)). Umjeravani kalibrator tlaka bio je horizontalno položen, a za tlačni medij koristio se zrak dok je kondicioniranje opreme trajala također oko 24 sata. Slika (21) prikazuje kompletno postavljene instrumente za provedbu umjeravanja.

Tablica 10. Okolišni uvjeti u laboratoriju LPM-a

LPM	Uvjeti umjeravanja
Temperatura okoline	$(27\pm 1)^\circ\text{C}$
Tlak okoline	$(1015\pm 1)\text{ mbar}$
Relativna vlažnost	$(16\pm 1)\%rv$

**Slika 18. Baratron****Slika 19. PR4000B**



Slika 20. Minimetar



Slika 21. Postavljeni instrumenti za provebu umjeravanja od 0 do 100 Pa

5.3.1 Rezultati mjerenja u laboratoriju LPM-a

Umjeravanje u LPM, kao i u prethodna dva laboratorija, obavljeno je metodom B umjeravanja tlaka sukladno uputama DKD-R6-1 proceduri. Izmjerene i izračunate vrijednosti prikazane su u tablicama (11) i (12). Nesigurnost navedena u tablici je proširena mjerna nesigurnost koja odgovara dvostrukom standardnom odstupanju ($k=2$), tj. granice ukupne nesigurnosti odgovaraju razini pouzdanosti od 95%.

Tablica 11. Izmjerene vrijednosti u laboratoriju LPM-a

Br.	Mjerna točka [Pa]	Tlak etalona p_e [Pa]	Umjeravani uređaj [Pa]		
			Uzlazno M1	Silazno M2	Uzlazno M3
1	0	0,00	0,0	0,0	0,0
2	10	9,93	9,5	9,5	9,5
3	20	19,86	19,5	19,5	19,5
4	30	29,78	29,5	29,5	29,5
5	50	49,64	49,5	49,5	49,5
6	60	59,57	59,5	59,5	59,5
7	80	79,42	79,0	79,0	79,0
8	90	89,35	89,0	89,0	89,0
9	100	99,27	99,0	99,0	99,0

Tablica 12. Izračunate vrijednosti u laboratoriju LPM-a

Br.	Mjerna točka [Pa]	Tlak etalona p_e [Pa]	Srednja vrijednost M_{sr} [Pa]	Odstupanje $M-p_e$ [Pa]	Ponovljivost b [Pa]	Histereza h [Pa]	Nesigurnost umjeravanja U [Pa]
1	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,35
2	10	9,93	9,50	-0,43	0,00	0,00	0,36
3	20	19,86	19,50	-0,36	0,00	0,00	0,36
4	30	29,78	29,50	-0,28	0,00	0,00	0,36
5	50	49,64	49,50	-0,14	0,00	0,00	0,37
6	60	59,57	59,50	-0,07	0,00	0,00	0,38
7	80	79,42	79,00	-0,42	0,00	0,00	0,39
8	90	89,35	89,00	-0,35	0,00	0,00	0,40
9	100	99,27	99,00	-0,27	0,00	0,00	0,40

6. ANALIZA REZULTATA MEĐULABORATORIJSKE USPOREDBE

Analiza rezultata međulaboratorijskih usporedbi vrši se izračunom unaprijed spomenutih i definiranih kriterija prihvatljivosti za usklađenost koji zadovoljavaju dogovorene granične vrijednosti. Najčešća metoda analize je usporedba mjernih podataka sudionika i izračunate mjerne nesigurnosti s referentnom vrijednošću. Gornji postupak rezultira dobivanjem faktora slaganja E_n , koji je kriterij prihvatljivosti korišten u ovoj međulaboratorijskoj usporedbi, definiran jednadžbom (13):

$$E_n = \frac{|x_{LPM} - x_{LAB}|}{\sqrt{(U_{LAB}^2 + U_{LPM}^2)}} \quad (13)$$

x_{LPM} – mjerni odmak LPM-a

x_{LAB} – mjerni odmak umjeravanog laboratorija (EkoVent ili Klimaoprema)

U_{LAB} - mjerna nesigurnost umjeravanog laboratorija

U_{LPM} - mjerna nesigurnost LPM-a

Propisane granične vrijednosti E_n iznose [12]:

- $|E_n| \leq 1$ Kriterij zadovoljava, dodatne korekcije nisu potrebne
- $|E_n| > 1$ Kriterij nezadovoljava, potrebne dodatne korekcije

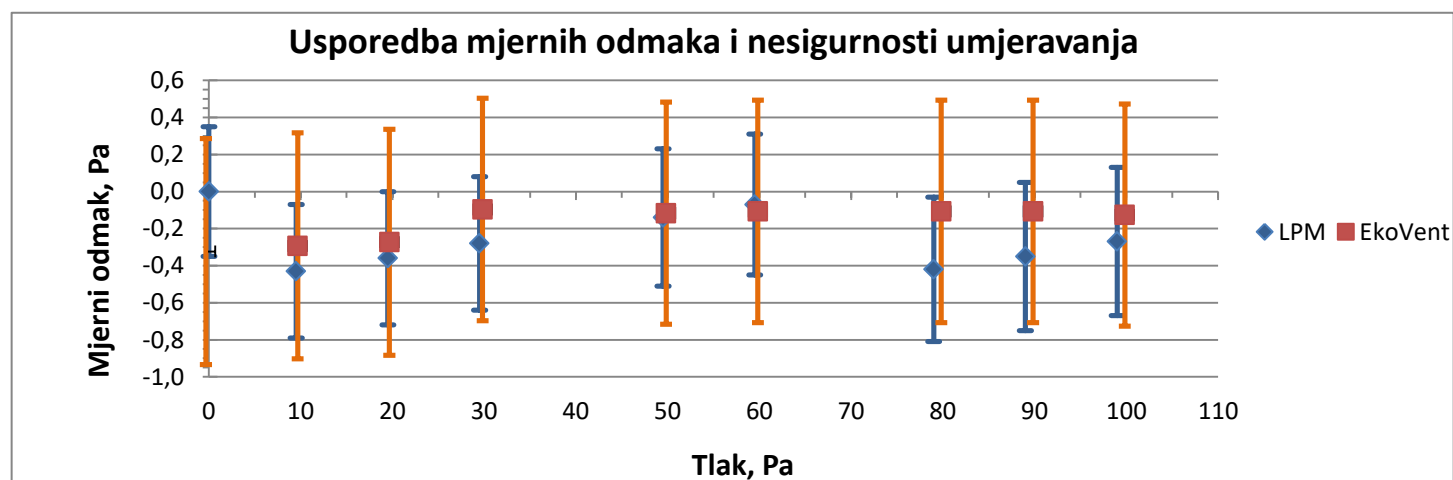
6.1 Usporedba LPM-a i laboratorija EkoVent-a

Tablica 13. Usporedba LPM-a i laboratorija EkoVent-a

Br.	Mjerna točka [Pa]	Mjerni odmak (LPM) [Pa]	Mjerni odmak (EkoVent) [Pa]	Mjerna nesigurnost (LPM) [Pa]	Mjerna nesigurnost (EkoVent) [Pa]	Faktor slaganja E_n
1	0	0,00	-0,32	0,35	0,61	0,46
2	10	-0,43	-0,29	0,36	0,61	0,19
3	20	-0,36	-0,27	0,36	0,61	0,12
4	30	-0,28	-0,10	0,36	0,6	0,26
5	50	-0,14	-0,12	0,37	0,6	0,03
6	60	-0,07	-0,11	0,38	0,6	0,05
7	80	-0,42	-0,11	0,39	0,6	0,44
8	90	-0,35	-0,11	0,40	0,6	0,34
9	100	-0,27	-0,13	0,40	0,6	0,20

Rezultati usporedbe između LPM-a i EkoVent-a prikazani tablicom (13) predočuju da je faktor slaganja E_n zadovoljio granične vrijednosti, tj. manji je od 1 u svim mjernim točkama čime je kriterij prihvatljivosti zadovoljen te nisu potrebne korekcije.

Slika 22. Grafički prikaz usporedbe LPM-a i laboratorija EkoVent-a

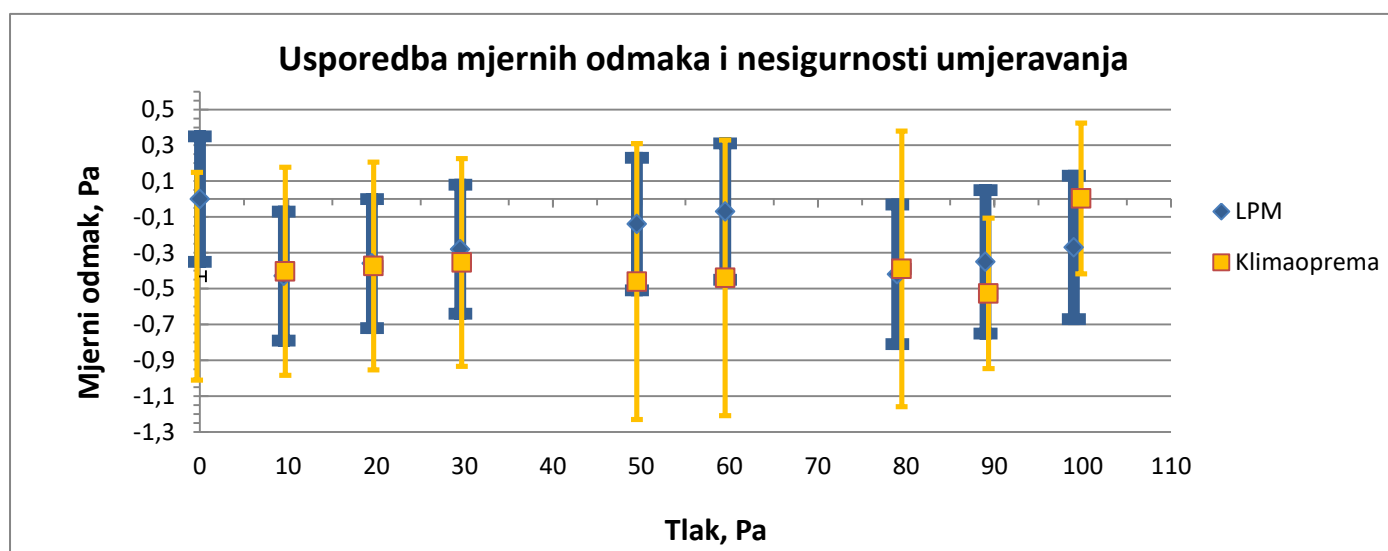


6.2 Usporedba LPM-a i laboratorija Klimaopreme

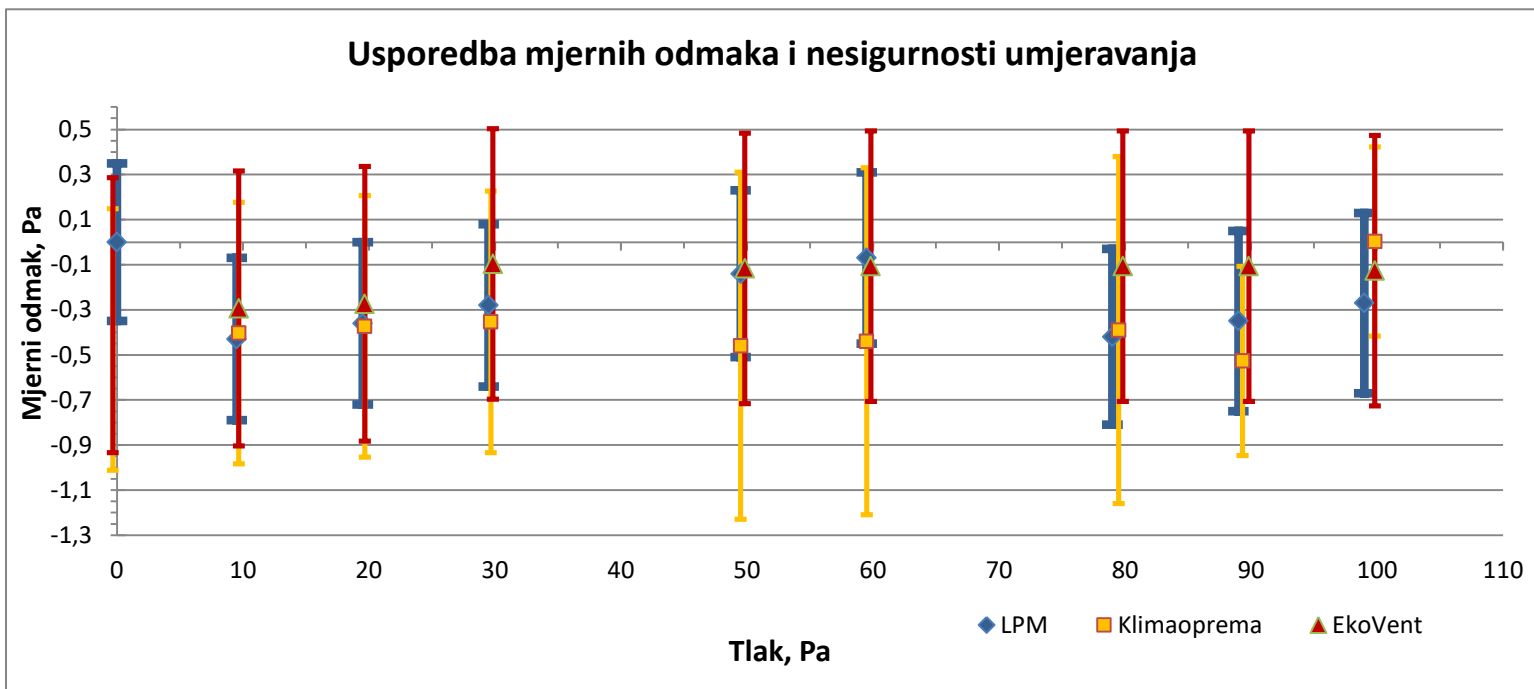
Tablica 14. Usporedba rezultata LPM-a i laboratorija Klimaopreme

Br.	Mjerna točka [Pa]	Mjerni odmak (LPM)	Mjerni odmak (Klimaoprema) [Pa]	Mjerna nesigurnost (LPM) [Pa]	Mjerna nesigurnost (Klimaoprema) [Pa]	Faktor slaganja E_n
1	0	0,00	-0,43	0,35	0,58	0,64
2	10	-0,43	-0,40	0,36	0,58	0,04
3	20	-0,36	-0,37	0,36	0,58	0,02
4	30	-0,28	-0,35	0,36	0,58	0,11
5	50	-0,14	-0,46	0,37	0,77	0,37
6	60	-0,07	-0,44	0,38	0,77	0,43
7	80	-0,42	-0,39	0,39	0,77	0,03
8	90	-0,35	-0,53	0,40	0,42	0,30
9	100	-0,27	0,00	0,40	0,42	0,47

Iz tablice (14) Vidljivo je da je i u ovoj usporedbi faktor slaganja E_n u svim mjernim točkama manji 1, čime je kriterij prihvatljivosti zadovoljen te nisu potrebne dodatne korekcije



Slika 23. Grafički prikaz usporedbe LPM-a i laboratorija Klimaopreme



Slika 24. Grafički prikaz usporedbe LPM-a, laboratorija EkoVent-a i laboratorija Klimaopreme

7. ZAKLJUČAK

U radu je dan pregled osnovnih metoda mjerenja malih tlakova. Opisan je značaj umjeravanja, definiran je pojam mjerne nesigurnosti te su predočene smjernice za umjeravanje prema DKD-u. Upute i norme provođenja umjeravanja predstavljaju važan dio jer se njima definiraju minimalni zahtjevi za postupak umjeravanja te se koriste za procjenu mjerne nesigurnosti mjernih uređaja. Opisana je uloga Hrvatske akreditacijske agencije (HAA) i potrebni zahtjevi za dobivanjem akreditacije. Laboratoriji teže k dobivanju akreditacije jer ona predstavlja priznanje kvalitete rada i dokazuje kompetentnost za obavljanje određenih ispitivanja, mjerenja i slično. Na kraju, provedena je i opisana jedna međulaboratorijska usporedba. Uključivala je sveukupno tri laboratorija, gdje je LPM preuzeo glavnu ulogu, odnosno ulogu pilot-laboratorija. Laboratorij EkoVent-a i laboratorij Klimaopreme imali su ulogu umjeravanog laboratorija.

Umjeravani instrument bio je kalibrator tlaka Halstrup Walcher, KAL 200, a samo umjeravanje se provodilo u području malih tlakova do 100 Pa. Analiza rezultata se izvršila preko izračunate vrijednosti faktora slaganja (E_n). Tablični i grafički prikaz rezultata vidljivi su tablicama (13) i (14) te slikom (24). Da je ova međulaboratorijska usporedba bila uspješno provedena pokazuje činjenica da su sve vrijednosti faktora slaganja (E_n) ispod granične vrijednosti koji je bio kriterij prihvatljivosti u ovom slučaju usporedbe. To označava da dodatne korekcije nisu potrebne, da su mjerni uređaji i rezultati ispravni te da su sudionici ispravno izvršili svoj dio usporedbe.

LITERATURA

- [1] Osnovno o mjeriteljstvu, <http://www.svijet-kvalitete.com/index.php/mjeriteljstvo/145-osnovno-o-mjeriteljstvu>, 1.9.2012.
- [2] Galović, A.: Termodinamika 1, Zagreb, 2011.
- [3] Grgec Bermanec, L., Zvizdić, D.: *Podloge za predavanja iz kolegija Mjerenje u energetici*, 2020.
- [4] The Institute of Measurement and Control: *Guide to the Measurement of Pressure and Vacuum*, <https://studylib.net/doc/18048981/guide-to-the-measurement-of-pressure-and-vacuum-1998>.
- [5] Grgec Bermanec, L., Zvizdić, D.: *Predavanja iz kolegija Mjerenje u energetici*, 2015.
- [6] Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement -BIPM.
<https://c2.etf.unsa.ba/mod/resource/view.php?id=85065>
- [7]Mjerna nesigurnost,
https://www.ucg.ac.me/skladiste/blog_24368/objava_89396/fajlovi/Prezentacija%204.pdf
- [8]DKD-R6-1, Calibration of Pressure Gauges,
https://www.ptb.de/cms/fileadmin/internet/dienstleistungen/dkd/archiv/Publications/Guidelines/DKD-R_6-1_2016_englisch.pdf 3.2014
- [9] Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM), *Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement*, JCGM 100:2008
- [10] Etaloni i sljedivost, <https://www.slideserve.com/ira/etaloni-i-sljedivost>, 17.7.2014.
- [11] EURAMET, <https://www.euramet.org/>
- [12] Hrvatska akreditacijska agencija, <https://akreditacija.hr/>
- [13] EkoVent-Info d.o.o., <https://www.ekoventinfo.hr/>
- [14] Klimaoprema, <https://www.klimaoprema.hr/>
- [15]Laboratorij za procesna mjerenja, <https://www.fsb.unizg.hr/?ztermo&lpm>