

# Postupak umjeravanja pretvornika tlaka u području 0 - 315 bar

---

Jurak, Dora

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:423432>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-21**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





**Sveučilište  
Sjever**

Diplomski sveučilišni studij Strojarsstvo

Diplomski rad br. 095/STR/2023

# **Postupak umjeravanja pretvornika tlaka u području 0 – 315 bar**

Student: Dora Jurak, diplomski studij Strojarsstva

Mentor: doc.dr.sc. Tomislav Veliki

Varaždin, travanj 2024. godine





# Sveučilište Sjever

Diplomski sveučilišni studij Strojarsstvo

Diplomski rad br. 095/STR/2023

## **Postupak umjeravanja pretvornika tlaka u području 0 – 315 bar**

Student: Dora Jurak, diplomski studij Strojarsstva

Mentor: doc.dr.sc. Tomislav Veliki

Varaždin, travanj 2024. godine

# Prijava diplomskog rada

## Definiranje teme diplomskog rada i povjerenstva

ODJEL Odjel za strojarstvo

STUDIJ diplomski sveučilišni studij Strojarstvo

PRISTUPNIK Dora Jurak

JMBAG 0336021349

DATUM 14.09.2023.

KOLEGIJ Procesna mjerenja u industriji

NASLOV RADA Postupak umjeravanja pretvornika tlaka u području 0 - 315 bar

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU Pressure Transducer Calibration Procedure in the Range 0 - 315 bar

MENTOR dr.sc. Tomislav Veliki

ZVANJE docent

ČLANOVI POVJERENSTVA

1. Doc. dr. sc. Zlatko Botak, predsjednik povjerenstva
2. Doc. dr. sc. Tomislav Veliki, mentor, član
3. Doc. dr. sc. Matija Bušić, član
4. Prof. dr. sc. Živko Kondić, zamjenski član
- 5.

## Zadatak diplomskog rada

BROJ 095/STR/2023

OPIS

U diplomskom radu je potrebno obraditi slijedeća područja:

Opisati način rada mjerila tlaka, način pretvorbe signala s posebnima naglaskom na tip pretvornika koji se umjerava

Navesti aktualne norme u području umjeravanja pretvornika te interne procedure za umjeravanje te komentirati eventualno odstupanje.

Prikazati način računanja mjerne nesigurnosti u postupku umjeravanja pretvornika tlaka.

U eksperimentalnom dijelu potrebno je opisati i dokumentirati postupak umjeravanja pretvornika tlaka u tri područja:

- 0-6 bar
- 0-80 bar
- 0-315 bar

Opisati korištene etalone (tlačna vaga i pretvornici) te izračunati dopuštena odstupanja.

Izračunati nesigurnost mjerenja. Dobivene rezultate potrebno je analizirati te je potrebno donijeti zaključke.

ZADATAK URUČEN

15.09.2023,



*[Handwritten signature]*

## Predgovor

Zahvaljujem se mentoru doc.dr.sc. Tomislavu Velikom što mi je omogućio izradu diplomskog rada, zahvaljujem mu na uputama i pomoći prilikom pisanja. Ovim putem još jednom zahvaljujem i na mentorstvu za završni rad kao i prenesenom znaju iz područja mjerenja koje mi je uveliko pomoglo u karijeri.

Zahvaljujem se svojoj obitelji i prijateljima koji su mi pružali podršku za vrijeme pisanja rada i mog studija na Sveučilištu Sjever.

## Sažetak

U ovom diplomskom radu opisano je procesno mjerenje tlaka, princip rada tlačne vage, umjeravanje i postupak umjeravanja, metode umjeravanja, norma koja definira rad umjernih laboratorija i mjerna nesigurnost.

Za potrebe rada odrađena su laboratorijska mjerenja. Provedena su četiri mjerenja u raznim mjernim područjima i na tri različita tlačna medija. Mjerila su umjeravana u područjima 0/6, 0/60, 0/80, 0/315 bara. Detaljno je opisan svaki postupak umjeravanja i prikazane su tablice s rezultatima.

Ključne riječi: tlak, tlačne vage, klip/cilindar, umjeravanje, mjerna nesigurnost

## Summary

In this master thesis the process of pressure measurement, mode of operation of the pressure standard, measurement and the measurement process, measurement methods, the norm that defines the work of measurement laboratories and measurement uncertainty are explained.

Laboratory measurements were made for the purposes of the work. Four measurements were carried out in various measuring areas and on three different pressure media. The measures were measured in the areas of 0/6, 0/60, 0/80, 0/315 bar. Each measurement process is described in detail and tables with results are presented.

Key words: pressure, pressure standard, piston/cylinder system, measurement uncertainty



## Popis korištenih kratica

HAA – Hrvatska akreditacijska agencija

HRN – oznaka hrvatske norme

EN – oznaka europske norme

ISO/IEC – oznake međunarodnih normi

ILAC – međunarodni akreditacijski laboratorij

EA – regionalno akreditacijsko tijelo

## Popis oznaka

$A$  – površina

$\vec{F}$  – sila

$p$  – tlak

$p_0$  – atmosferski tlak

$p_m$  – manometarski tlak

$\bar{x}_i$  – srednja vrijednost

$s(\bar{x}_i)$  – eksperimentalno standardno odstupanje

$u_A$  – mjerna nesigurnost „Tip A“

$u_f$  – sastavljena mjerna nesigurnost

$u(p)$  – sastavljena mjerna nesigurnost

$u_{et}$  – mjerna nesigurnost etalonskog tlaka

$u_{ind}$  – mjerna nesigurnost zbog razlučivosti

$u_{his}$  – mjerna nesigurnost zbog histereze

$u_{pon}$  – mjerna nesigurnost zbog ponovljivosti

$u_{nul}$  – mjerna nesigurnost zbog promjenjivosti nule

$u_{rep}$  – mjerna nesigurnost zbog reproducibilnosti

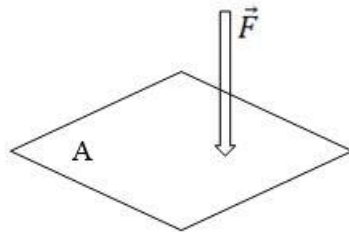
$u_{el}$  – mjerna nesigurnost zbog mjerne nesigurnosti umjeravanja etalonskog mjerila električnog signala

# Sadržaj

1. Uvod.....	11
2. Osnovni pojmovi.....	13
3. Procesno mjerenje tlaka .....	15
3.1. Tlačne vage .....	17
3.2. Umjeravanje .....	18
3.2.1. Postupak umjeravanja .....	19
3.2.2. Norma HRN EN ISO/IEC 17025.....	19
3.3. Metode umjeravanja.....	22
3.4. Mjerni pretvornici .....	24
3.5. Mjerna nesigurnost.....	27
4. Laboratorijska mjerenja .....	30
5. Zaključak.....	43
6. Literatura.....	44
7. Popis tablica .....	45
8. Popis slika .....	45
9. Popis jednadžba .....	45

# 1. Uvod

Svaki dan smo u prilici čuti riječ tlak, bilo da se radi o meteorološkoj prognozi, tlaku zraka, krvnom tlaku ili pak tlaku kao pritisku na neku površinu. Tlak nastaje djelovanjem pritisne sile na površinu, što je pritisna sila veća, veći je tlak. Također, tlak ovisi i o veličini površine na koju djeluje pritisna sila. Ako je površina djelovanja pritisne sile manja, tlak je veći i obratno. Tlak se označava malim slovom „p“ i jednak je kvocijentu pritisne sile i površine na koju ta sila djeluje.



Slika 1 Prikaz definicije tlaka

$$p = \frac{F}{A} \text{ [Pa]}$$

Jednadžba 1 Jednadžba za tlak

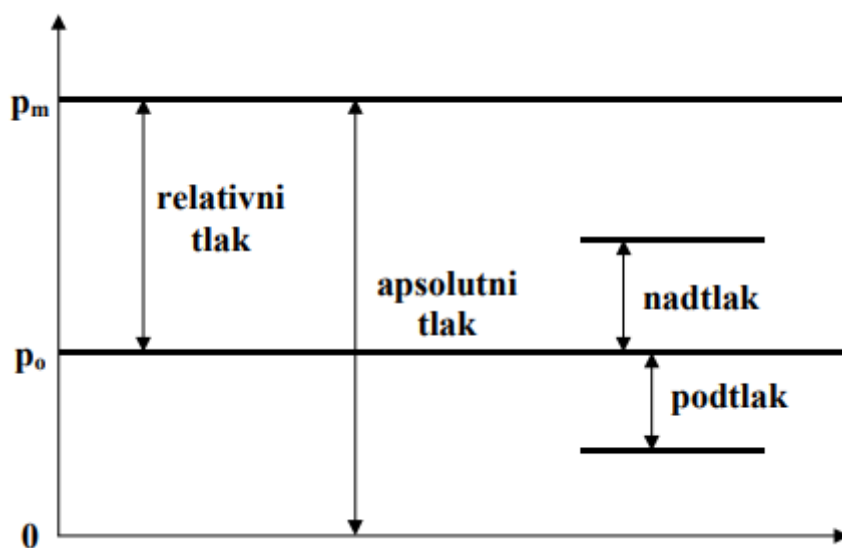
Mjerna jedinica za tlak je njutn po kvadratnom metru, naziva se paskal i označava sa „Pa“. Naziv je dobila u čast francuskog fizičaru Pascalu. Tlak od jednog paskala jednak je potisnoj sili od jednog njutna koja djeluje na površinu od kvadratnog metra.

$$p = \frac{F}{A} = \frac{N}{m^2} = Pa$$

Jednadžba 2 Izvod mjerne jedinice tlaka

Razlikujemo više vrsta tlakova:

- Manometarski tlak
- Tlak okoline
- Apsolutni tlak
- Potlak [1] [2]



Slika 2 Grafički prikaz odnosa tlaka [2]

## 2. Osnovni pojmovi

*Mjeriteljstvo* (metrologija) je znanost o mjerenju i njegovoj primjeni. Mjeriteljstvo obuhvaća sve teoretske i praktične aspekte mjerenja bez obzira na njihovu mjernu nesigurnost i područje primjene. Pod mjeriteljstvo podrazumijevamo onaj specijalizirani dio pojedinih prirodoslovnih i tehničkih znanosti koji se bavi metodama mjerenja fizikalnih veličina, razvojem i izradom mjernih uređaja, pohranjivanjem mjernih jedinica i usavršavanjem mjernih postupaka.

*Mjerenje* je proces eksperimentalnoga dobivanja jedne ili više vrijednosti veličine koje se mogu razumno pripisati veličini.

*Mjerni rezultat* (rezultat mjerenja) je skup vrijednosti veličine koje se pripisuju mjerenoj veličini zajedno sa svim drugim dostupnim bitnim podacima. Mjerni se rezultat općenito izražava jednom vrijednošću mjerene veličine i mjernom nesigurnošću.

*Mjerna nesigurnost* je parametar pridružen rezultatu mjerenja koji opisuje rasipanje vrijednosti koje bi se razumno moglo pripisati mjerenoj veličini. Riječ "nesigurnost" znači sumnju i, prema tomu, u najširem smislu "mjerna nesigurnost" znači sumnju u valjanost mjernog rezultata.

*Mjerni sustav* je skup od jednog ili više mjerila i često drugih uređaja prilagođen da daje podatke koji se upotrebljavaju za dobivanje izmjerenih vrijednosti veličine specificirane vrste u specificiranim intervalima veličina. Osnovni elementi mjernog sustava su predmet mjerenja, mjeritelj, mjerni postupak, okolina i vrijeme u kojem se provodi mjerenje.

*Mjerni postupak* je detaljan opis mjerenja u skladu s jednim ili više mjernih načela i danom mjernom metodom, na temelju mjernog modela i uključujući svaki izračun kako bi se dobio mjerni rezultat.

*Mjerna metoda* (metoda mjerenja) je opći opis smislene organizacije postupaka koji se upotrebljavaju u mjerenju.

*Etalon* je stvarna mjera, mjerilo ili referentna tvar prema kojoj se definira svaka mjera koja se određuje. Normom ili zakonom utvrđena mjera kao utjelovljenje određenog pojma koji se mjeri.

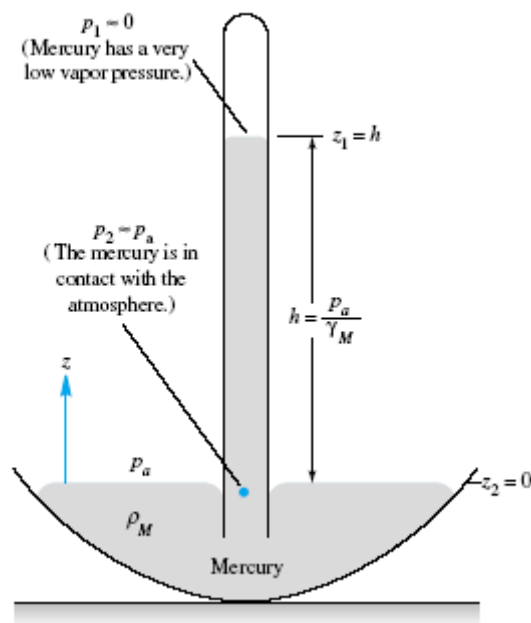
*Umjeravanje* je skup postupaka kojima se u kontroliranim uvjetima određuje odnos između veličina koje pokazuju mjerila i vrijednosti referentne tvari.

*Mjerno odstupanje* je razlika između etalonske vrijednosti i srednje vrijednosti očitavanja svih ciklusa mjerenja za istu mjernu točku. Veliki predavanja

*Procesna mjerenja* su skup postupaka kojim precizno određujemo fizikalne veličine kao što su temperatura, protok, tlak, vlažnost... Fizikalne veličine koje određujemo nazivamo još i procesne varijable. Procesne varijable pretvaraju se pomoću senzora u izmjerene veličine koje se dalje koriste kao ulazne veličine za razne uređaje. [3] [4]

### 3. Procesno mjerenje tlaka

Počeci mjerenja tlaka datiraju iz 1643. godine kada je Torricelli svojim eksperimentom pokazao da zemljin atmosferski omotač tlači zemljinu površinu približno 760 mm Hg. Do danas se mjerenje tlaka usavršilo do razine da u bilo kojem trenutku možemo očitati bilo koji tlak. Barometar je sprava za mjerenje apsolutnog tlaka atmosfere kojeg nazivamo barometarski tlak. Sasotiji se od staklene, na vrhu zatvorene cijevi, koja je donjim, otvorenim krajem uronjena u kapljevinu izloženu atmosferskom tlaku  $p_o$ . Ako se iz cijevi isisa sav zrak, podići će se nivo kapljevine do određene visine, jer u cijevi ostale samo pare kapljevine. S obzirom da na slobodnu površinu kapljevine djeluje tlak  $p_o$ , u cijevi će na istoj razini vladati isti tlak.



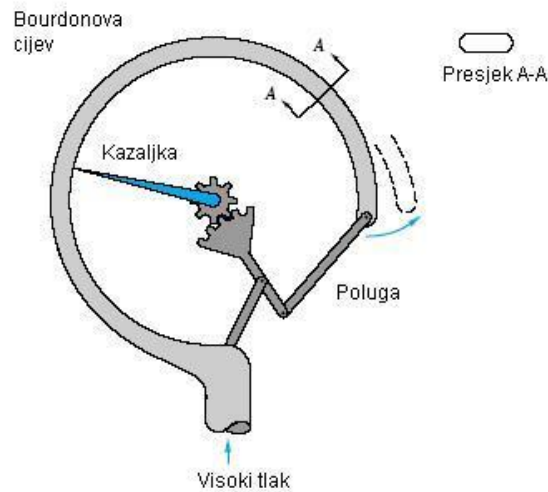
Slika 3 Grafički prikaz barometra [2]

Za ovakve barometre upotrebljava se živa jer je njezina gustoća toliko velika da cijev može biti kratka, a pritisak zasićenja živinih para je, kod normalne temperature, tako malen da ga možemo zanemariti.

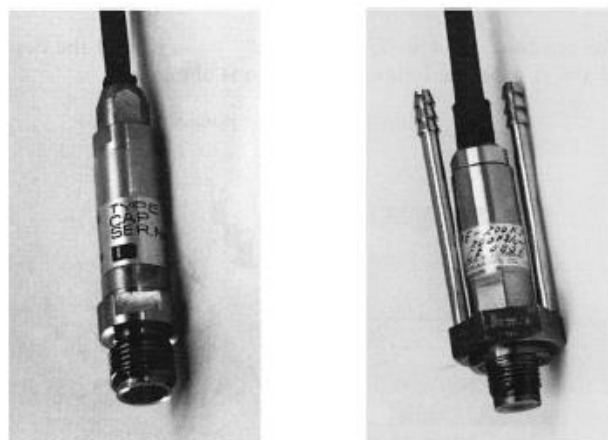


Analogni manometri tzv. Bourdonova cijev predstavljaju napredniju metodu mjerenja tlaka. Djelovanjem tlaka cijev se nastoji izravnati, čime se aktivira mehanizam koji pomiče kazaljku manometra. Jači tlak izaziva veći pomak Bourdonove cijevi što izaziva veći otklon kazaljke manometra, tako da uz pomoć skale prikazane ispod kazaljke, lako očitamo tlak.

Elektronički osjetnici tlaka predstavljaju najsuvremenije rješenje za mjerenje i praćenje tlaka na pojedinim mjestima. Oni pritisak pretvaraju u digitalni signal koji se šalje na pretvarač. Pretvarač prema zadanom algoritmu šalje informaciju o visini tlaka. Ovakav način omogućuje ne samo mjerenje nego i bilježenje tlaka u određenom vremenskom periodu. [2] [5]



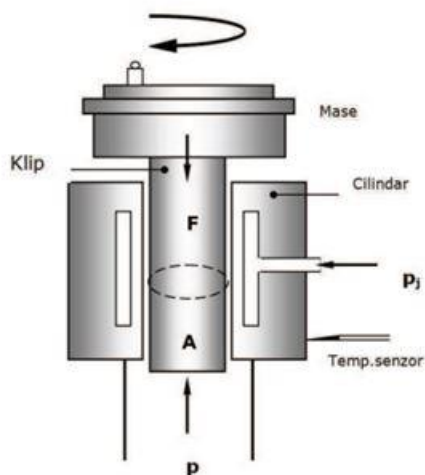
Slika 4 Bourdonova cijev [2]



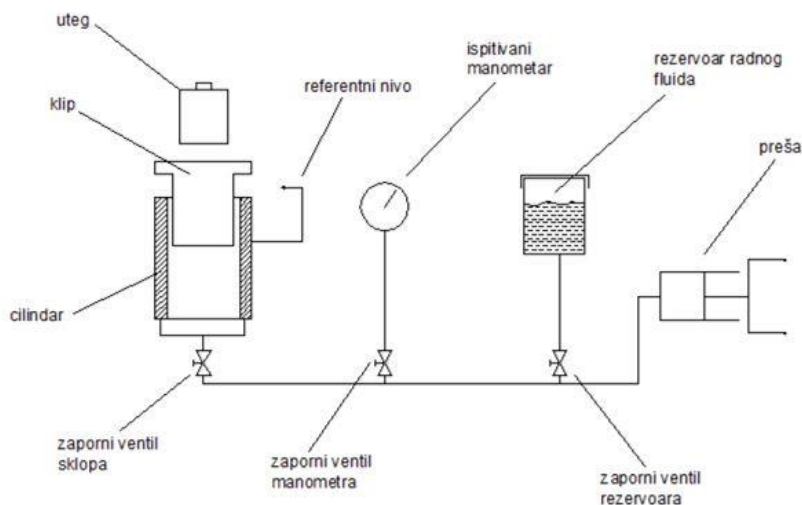
Slika 5 Elektronički osjetnici tlaka [2]

### 3.1. Tlačne vage

Tlačne vage najtočnije su mjerilo tlaka. U današnjici su tlačne vage etaloni za umjeravanje. Njihov razvoj započeo je zbog potrebe praćenja stanja plina u različitim atmosferskim uvjetima. Tlačne vage sastoje se od sklopa klip/cilindar. Razlikujemo jednoradni i dvoradni sklop. Jednoradni sklop koristi se većinom kod plinskih tlačnih vaga a dvoradni na uljnoj. Sklop je izrađen od volfram karbida, čelika ili keramike kako bi imao temperaturnu otpornost i dobro izdržao naprezanja. Rad tlačne vage temelji se na promjeni hidrostatičkog tlaka. Masa poznate težine postavlja se na vrh klipa koji sam po sebi već izaziva neko opterećenje. Na donji dio klipa dovodi se fluid pod tlakom sve do razvijanja sile koja će podignuti klip sa utezima. Kada klip slobodno rotira u fluidu, vaga je u ravnoteži s tlakom sistema. Zbog istjecanja dovedenog fluida on se mora neprestano dodavati u sustav. [6] [7]



Slika 6 Sklop klip/cilindar [6]



Slika 7 Dijelovi tlačne vage [6]

## 3.2. Umjeravanje

Postupak umjeravanja odrađuje se uz pomoć etalona koji nam služi kao referentna veličina prema kojoj težimo da ide naš rezultat. Etalon koji se koristi umjerava se etalomom „iznad” koji ima najveću mjeriteljsku točnost. Etalon koji se koristi u mjerenjima treba biti više klase točnosti od mjernog instrumenta odnosno ispitivanog mjerila. Sva oprema koja se koristi u mjerenjima mora se dati na umjeravanje nakon određenih vremenskih intervala ili broja korištenja. Umjeravanje se provodi u Nacionalnim mjeriteljskim laboratorijima. Tlačne vage potrebno je umjeravati svakih pet godina a pretvornike tlaka nakon godine ili dvije. Osnova metode je usporedba tlaka dobivenog i određenog etalomom te očitavanja vrijednosti na umjeravanom mjerilu.

Mjerilo se prije svakog mjerenja provjerava primjenom tlaka od minimalnog do maksimalnog i nazad.

Na postupak mjerenja odnosno točnost rezultata utječu vanjski faktori kao što su: atmosferski tlak, temperatura zraka, relativna vlažnost prostorije, buka, vibracije. Na svakom izvješću mjerenja potrebno je napisati parametre okruženja u kojima je mjerenje odrađeno. Svaki laboratorij ima električni uređaj za bilježenje parametara koji također mora biti ispitivan.

Laboratorij u kojem je odrađeno mjerenje zaštićen je od vanjskih temperaturnih uvjeta, izoliran od buke i vibracija.

Rad laboratorija nadzire Hrvatska akreditacijska agencija (HAA) koja također izdaje certifikate i osposobljava laboratorije za rad na području ispitivanja i umjeravanja. Svi certifikati i osposobljavanja odrađeni su prema normi HRN EN ISO/IEC 17025. [8]

### 3.2.1. Postupak umjeravanja

- Odabiremo mjerni etalon obzirom na mjerno područje
- Spajanje mjernog sustava sa predmetom mjerenja
- Provjera brtvenih površina na elementima mjernog sustava
- Tlačenje etalona do maksimalnog tlaka potrebnog za mjerenje
- Popunjavanje obrasca prije mjerenja (predmet, etalon, radni medij)
- Vanjski parametri, datum i vrijeme mjerenja
- Predviđanje rezultata
- Odrađivanje mjerenja kako metoda propisuje
- Zapisivanje podataka
- Izdavanje certifikata

### 3.2.2. Norma HRN EN ISO/IEC 17025

Prvo izdanje norme bilo je 1999. godine te se nametnula kao standard za sve laboratorije. Akreditacijska tijela normu su prepoznala kao osnovni dokument koji daje zahtjeve za osposobljenost laboratorija. Norma utvrđuje opće zahtjeve za osposobljenost, nepristranost i dosljedan rad laboratorija.

Označavanje norme:

HRN –oznaka hrvatske norme

EN –oznaka europske norme

ISO/IEC –oznake međunarodnih normi

17025 –jedinstvena brojčana oznaka norme

2017 –godina izdanja hrvatske norme

## Sadržaj norme:

1. Područje primjene
2. Upućivanje na druge norme
3. Nazivi i definicije
4. Opći zahtjevi: Odnose se na nepristranost i povjerljivost informacija. Laboratorij je odgovoran za nepristranost aktivnosti unutar njega i ne smije dopustiti poslovne, financijske ili druge pritiske koji mogu na nju utjecati. Unutar zakonskih okvira laboratorij upravlja svim dobivenim informacijama i unaprijed mora obavijestiti kupca o javno dostupnim informacijama. Isto tako svo osoblje, zaposlenici i pojedinci moraju držati u tajnosti sve dobivene informacije i informacije nastale za vrijeme laboratorijskih aktivnosti.
5. Strukturni zahtjevi: Laboratorij je zakonski odgovoran za svoje aktivnosti, jasno mora biti definiran sustav, ovlasti, odnosi. Laboratorij određuje upravu koja nosi sveukupnu odgovornost za laboratorij. Isto tako jasno se definira opseg laboratorijskih aktivnosti koje se provode kako u laboratoriju tako i na terenskim ispitivanjima.
6. Zahtjevi za resurse: Laboratorij dokumentira zahtjeve za osposobljenost za svaku funkciju koja utječe na rezultate rada laboratorija, samim time svaki član laboratorija mora biti educiran obzirom na vrstu dužnosti i ovlasti. Laboratorij mora pratiti, nadzirati i bilježiti uvjete okoliša u skladu s odgovarajućim specifikacijama, metodama ili postupcima. Laboratorij mora imati pristup opremi uključujući, između ostalog mjerne instrumente, softver, mjerne etalone, referentne materijale, referentne podatke, reagense, potrošni materijal ili pomoćne uređaje koji su potrebni za ispravno provođenje laboratorijskih aktivnosti i koji mogu utjecati na rezultate. Oprema koja se koristi za mjerenje mora biti sposobna postići mjernu točnost i/ili mjernu nesigurnost zahtijevanu za postizanje valjanog rezultata. Mjerna se oprema mora umjeriti kada:
  - mjerna točnost ili mjerna nesigurnost utječu na valjanost dobivenih rezultata, ili
  - se zahtijeva umjeravanje opreme radi uspostavljanja mjerne sljedivosti dobivenih rezultata.Laboratorij mora uspostaviti program umjeravanja koji se mora, po potrebi, preispitivati i prilagođavati kako bi se održalo povjerenje u status umjeravanja. Oprema koja se umjerava ili koja ima definirano razdoblje valjanosti mora biti označena, kodirana ili na drugi način identificirana kako bi korisnik opreme lako utvrdio status umjeravanja ili razdoblje valjanosti.
7. Zahtjevi za procese: Potrebno pažljivo postupanje sa svim predmetima koji se ispituju, svako ispitivanje provodi se po pravilnom postupku kako se može izdati valjani certifikat odnosno potvrda. Laboratorij mora upotrebljavati prikladne metode i postupke za sve laboratorijske aktivnosti i, gdje je to prikladno, za vrednovanje mjerne nesigurnosti kao i za statističke tehnike analize podataka.

8. Zahtjevi za sustav upravljanja: Laboratorij mora uspostaviti, dokumentirati, provoditi i održavati sustav upravljanja koji može podržati i pokazati dosljedno ispunjavanje zahtjeva ISO/IEC 17025 i osigurati kvalitetu rezultata laboratorija.

#### 8.1 Sustav edukacija:

- ISO/IEC izdaju normu ISO/IEC 17025 u suradnji s ILAC-om
  - ILAC organizira edukacije sa regionalnim akreditacijskim tijelima (EA)
  - EA organizira edukacije za nacionalna akreditacijska tijela (HAA)
  - HAA organizira edukacije za ocjenitelje i dodatno za vodeće ocjenitelje
  - Ocjenitelji nakon završenih edukacija mogu provoditi ocjenjivanja
  - Predstavnici laboratorija nakon završene edukacije mogu uvoditi sustav upravljanja
- [9]

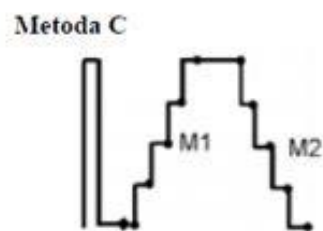
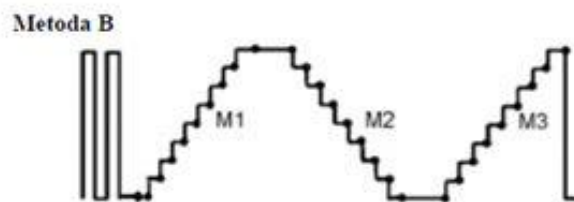
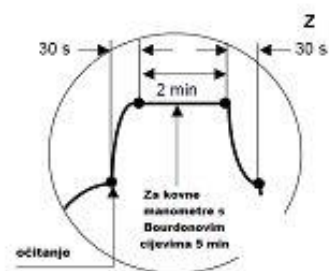
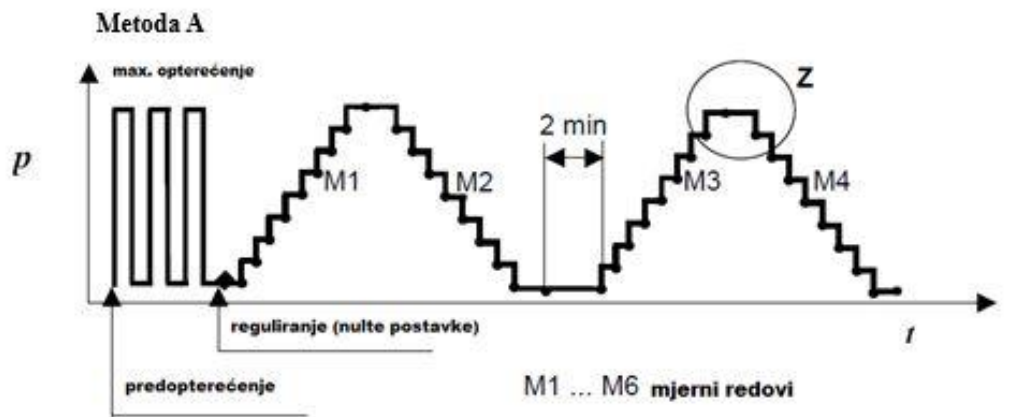
### 3.3. Metode umjeravanja

Za umjeravanje mjerila postoje tri razvijene metode koje se koriste. To su A, B i C metoda koje se međusobno razlikuju po broju silaznih i uzlaznih opterećenja odnosno rasterećenja. Ovisnost načina umjeravanja prema metodi prikazana je u tablici.

METODA	DOPUŠTENA MJERNA NESIGURNOST (% OD RASPONA MJERENJA)	MINIMALNI BROJ MJERNIH TOČAKA	BROJ OPTEREĆENJA/RASTEREĆENJA	VRIJEME OPTEREĆENJA	VRIJEME ZADRŽAVANJA I OČITANJA NA MAKSIMALNOM TLAKU	BROJ PONAVLJANJA (OPTEREĆENJE/RASTEREĆENJE)
A	<0,1	9	3	30 s	2 min	2+2
B	0,1...0,6	9	2	30 s	2 min	2+1
C	>0,6	5	1	30 s	2 min	1+1

Tablica 1 Metode umjeravanja

Metoda A ima najviše točaka odnosno broja pritiska. U vremenu od 30 sekundi potrebno je tri puta opteretiti i rasteretiti od minimalnog do maksimalnog tlaka. Nakon toga započinje ciklus mjerenja koji se sastoji od dvije serije opterećivanja u kojima se na maksimalnom tlaku čeka dvije minute prije povratka na nulu. Kod metode B potrebno je dva puta opteretiti mjerilo i napraviti 2 serije mjerenja a kod metode C samo jednom. [10]



Slika 8 Dijagrami metoda umjeravanja



### 3.4. Mjerni pretvornici

Pretvornik je tehnički element koji obrađuje različite oblike energije. Senzori obrađuju ulaznu funkciju jer osjete fizičku promjenu mjerene karakteristike i zatim pretvornik daje izlaznu veličinu prikladnu za prijenos ili dovođenje na pokazalo. Pretvornici mogu biti sa posebnim izvorom energije ili sa dva kabela koji mogu prenositi i signal i energiju. Na ulazu pretvornika nalazi se mjereno osjetilo odnosno senzor koji osjeća neelektrične ili električne veličine. Ako je izlazna veličina iz osjetila neelektrična, u pretvorničkom elementu pretvara se u električnu i obrađuje.



Slika 9 Struktura mjernog pretvornika

Mjerni pretvornici se najčešće dijele prema:

- Prirodi mjernih veličina
- Principu rada
- Vrsti izlaznog signala
- Području primjene

Prema prirodi mjernih veličina dijele se na pretvornike kinematičkih veličina (duljina, pomak, brzina, ubrzanje, sila, moment), pretvornike tehnoloških veličina (razina, tlak, temperatura, gustoća, viskozitet...), pretvornike električnih veličina (napon, struja, frekvencija...).

Prema principu rada dijele se na aktivne i pasivne, aktivni pretvornici pretvaraju neelektričnu veličinu u električnu a da im pri tome ne treba dodatan izvor energije dok pasivnim pretvornicima treba dodatan izvor energije.

Prema vrsti izlaznog signala dijele se na strujne, naponske i pneumatske.

Prema području primjene dijele se na pretvornike za procesnu industriju, graditeljstvo, medicinu i pretvornike koji se koriste u istraživanjima.

Postoji mnogo izvedbi mjernih pretvornika no u sonovi svi pretvornici sadrže osnovne elektroničke

komponente kao što su termistori, induktivni, kapacitivni, piezo-električni, magnetski, termo-električni i slično. [11]

Pretvornici tlaka naprave su koje osjećaju promjene tlaka mehaničkih osjetila u kojima se na određen način uspostavlja ravnoteža sila i kao posljedica mjerljiv pomak odnosno deformacija. Izmjereni tlak pretvaraju u električni signal kojeg očitavamo na tom uređaju odnosno pretvorniku. Svi pretvornici tlaka koji pretvaraju analogni signal u digitalni također imaju odstupanja i nepravilnosti što kod jeftinijih uređaja može stvarati velike pogreške u mjerenju. Glavni dio svakog pretvornika je sam senzor koji očitava promjene u tlaku. Sensore obzirom na tlak koji mjere dijelimo na senzore za mjerenje apsolutnog tlaka, relativnog tlaka, podtlaka i za mjerenje razlike tlakova. Obzirom na konstrukciju dijelimo ih na piezorezistivne, kapacitivne, elektromagnetske, piezoelektrične, optičke i slično.

U mjerenjima potrebnim za ovaj diplomski rad korišten je električni pretvornik tlaka s direktnim pokazivačem CPT 6200 + CPH 6200 koji se koristi za umjeravanje ili mjerenje u bilo koju svrhu koja zahtjeva precizno mjerenje tlaka. Ovaj pretvornik ima visoku preciznost što omogućava pouzdane rezultate u različitim uvjetima rada, ima širok raspon mjerenja uključujući tlak, temperaturu, protok, razinu tekućine i slično. Ima brzu odzivnost što je ključno u praćenju dinamičkih promjena u parametrima procesa. Može se koristiti za mjerenje manometra i apsolutnog tlaka. Jedinice tlaka koje se mogu odabrati na instrumentu su: bar, mbar, psi, Pa, kPa, MPa, mmHg ili inHg. Posebno je prikladan kao ispitni instrument u procesnoj tehnologiji, izradi i montaži strojeva i slično. Pretvornik može mjeriti tlak do 1000 bara. Dizajniran je s iznimnom pažnjom kako bi izdržao zahtjeve različitih industrijskih okruženja.

Glavni element pretvornika je piezorezistivni senzor čiji se rad temelji na promjeni električnog otpora materijala pod utjecajem mehaničkog napona. Kada senzor osjeti promjene u tlaku dolazi i do promjene otpora u materijalu senzora. Koristi piezorezistivni učinak spojenih mjerača (otpornika) za otkrivanje naprezanja uslijed primijenjenog tlaka, a otpor se povećava kako pritisak deformira materijal. Pločica senzora je od silicija na koji se nanosi tanki sloj materijala koji ima piezoelektrična svojstva. [12][13]



Slika 10 Električni pretvornik tlaka [13]

### 3.5. Mjerna nesigurnost

Po definiciji mjerna nesigurnost jest parametar pridružen rezultatu mjerenja koji opisuje rasipanje vrijednosti koje bi se razumno moglo pripisati mjerenoj veličini.

Mjerenje ne završava kada odradimo mjerenja već je potrebno procijeniti kvalitetu rezultata i iskazati mjernu nesigurnost. Sastoji se općenito od više sastavnica koje se mogu odrediti temeljem statističke razdiobe niza mjerenja i opisati eksperimentalnim standardnim odstupanjima.

U praksi postoji mnogo mogućih izvora nesigurnosti u mjerenju, uključujući:

- nepotpuna definicija mjerene veličine
- nereprezentativno uzorkovanje
- nepoznavanje uvjeta okoliša
- netočne vrijednosti mjernih etalona, istrošeni mjerni instrumenti
- pogrešna mjerna metoda

U mjernu nesigurnost ne spadaju pogreške mjeritelja jer se smatra da su izbježne pažljivim rukovanjem i čestim provjerama.

Preporuka za razvrstavanje nesigurnosti na temelju metode izračuna dijeli se na metodu procjene „tipa A“ i metodu procjene „tipa B“. Objе vrste temelje se na razdiobi vrijednosti a sastavnice nesigurnosti izračunate ovim metodama količinski se iskazuju standardnim odstupanjima.

Nesigurnost ispravka zbog poznatog sustava djelovanja može se u nekim slučajevima dobiti određivanjem A-vrste, dok se u drugim slučajevima može dobiti određivanjem B-vrste, kao i nesigurnost koja opisuje slučajno djelovanje.

Često se događa u praksi da se uređaj ispituje usporedbom s mjernim etalonom gdje su nesigurnosti pridružene mjernom etalonu i postupku zanemarive.

Metodu procjene „tip A“ koristimo kad za mjerenu vrijednost imamo više mjerenja. Tada se mjerna nesigurnost računa iz standardne devijacije podataka iz više mjerenja, odnosno statističkom metodom.

$$\bar{x}_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_{i,k}$$

Jednadžba 3 Srednja vrijednost/aritmetička sredina

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

Jednadžba 4 Eksperimentalno standardno odstupanje

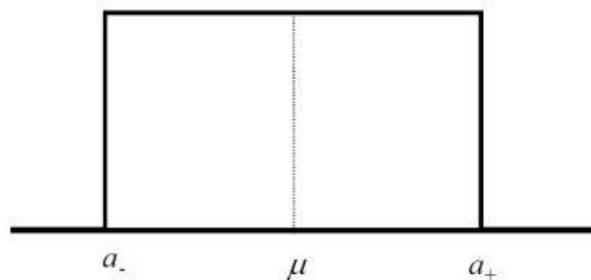
$$s(\bar{x}_l) = \frac{s(x_i)}{\sqrt{n}}$$

Jednadžba 5 Eksperimentalno standardno odstupanje srednje vrijednosti

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

Jednadžba 6 Mjerna nesigurnost "Tip A"

Metodu procjene „tip B“ koristimo kada se procjena bazira na drugim podacima kad nam je poznat interval nesigurnosti u kojem će vjerojatno biti prava vrijednost.



Slika 11 Pravokutna razdioba

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

Jednadžba 7 Mjerna nesigurnost "Tip B"

Sastavljena mjerna nesigurnost, poznata i kao kombinirana mjerna nesigurnost, predstavlja kvantitativnu mjeru ukupne nesigurnosti, koja uzima u obzir sve relevantne faktore koji mogu utjecati na preciznost i pouzdanost rezultata mjerenja. U općem slučaju mjerena veličina ovisi o više ulaznih veličina koje mogu međusobno ovisiti jedna o drugoj a i ne moraju.

Osnovni koraci u procesu izračuna sastavljene mjerne nesigurnosti uključuju identifikaciju svih utjecaja koji mogu utjecati na rezultat, kombiniranje više mjernih nesigurnosti što podrazumijeva određivanje svake zasebno a zatim njihov utjecaj na rezultat.

Mjernu nesigurnost potrebno je računati za svaku mjernu točku prema izrazu:

$$u_f = \sqrt{\sum_{i=1}^n (c_i u_i)^2}$$

Jednadžba 8 Sastavljena mjerna nesigurnost

Očitavanje na umjeravanom mjerilu zavisno je o razlučivosti očitavanja, histerezi, ponovljivosti i promjenjivosti nule dok je koeficijent  $c_i$  jednak 1 jer svaka promjena u nesigurnosti senzora tlaka izravno utječe na mjerni rezultat. Iz navedenog slijedi da je izraz za sastavljenu mjernu nesigurnost:

$$u(p) = \sqrt{u_{et}^2 + u_{ind}^2 + u_{his}^2 + u_{pon}^2 + u_{nul}^2 + [u_{rep}^2] + [u_{el}^2]}$$

Jednadžba 9 Sastavljena mjerna nesigurnost

$u_{et}$  – mjerna nesigurnost etalonskog tlaka

$u_{ind}$  – mjerna nesigurnost zbog razlučivosti

$u_{his}$  – mjerna nesigurnost zbog histereze (srednja vrijednost svih histereza)

$u_{pon}$  – mjerna nesigurnost zbog ponovljivosti (veća od ciklusa sa porastom i ciklusa sa snižavanjem tlaka, kod metode umjeravanja po C modelu jednaka je 0 zbog toga što nema više ciklusa mjerenja)

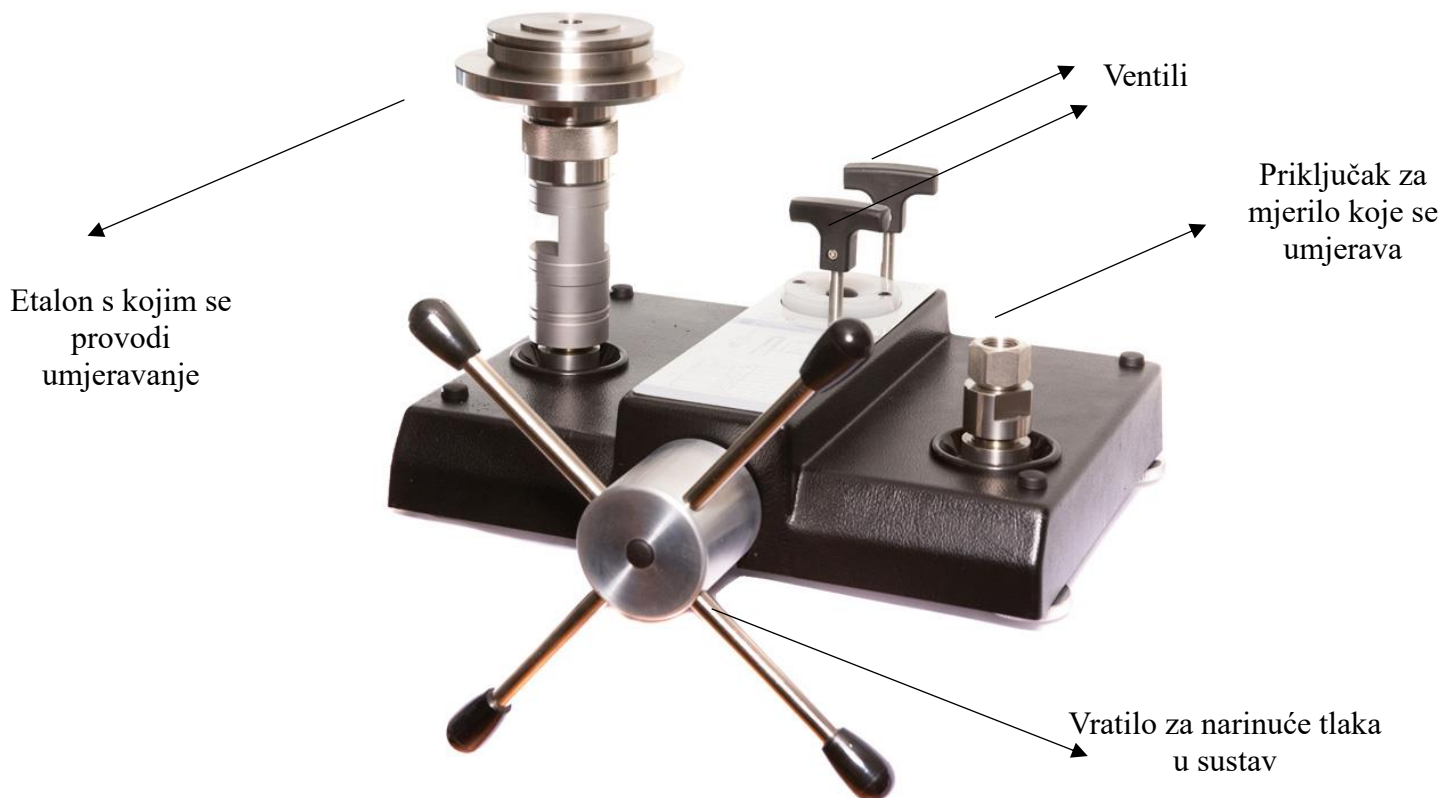
$u_{nul}$  – mjerna nesigurnost zbog promjenjivosti nule (maksimalna)

$u_{rep}$  – mjerna nesigurnost zbog reproducibilnosti (kod elektroničkih mjerila i mjerila sa električnim izlaznim signalom ako se očitavanje mijenja sa ugradnjom, veća od ciklusa sa porastom i ciklusa sa snižavanjem tlaka)

$u_{el}$  – mjerna nesigurnost zbog mjerne nesigurnosti umjeravanja etalonskog mjerila električnog signala (kod mjerila sa električnim izlaznim signalom)

## 4. Laboratorijska mjerenja

U umjernom laboratoriju provedena su četiri mjerenja u raznim mjernim područjima i na tri različita tlačna medija. Svako mjerenje provedeno je na pneumatskom ili na hidrauličkom postolju. Primjerice pneumatsko postolje korišteno je za mjerenje mjerila u mjernom području od 0/6 bar gdje je korišteni tlačni medij zrak iz kompresora, te se obično to postolje koristi maksimalno do 12 bar. Hidrauličko postolje korišteno je za mjerenje mjerila u mjernom području od 0/160 bar gdje je korišteni tlačni medij ulje. Na slici 12 prikazano je hidrauličko mjerno postolje. Za posljednja dva mjerenja u mjernom području od 0/80 bar i 0/315 bar korišteno je također hidrauličko postolje, ali sa dodanim separatorom u kojem se nalazi alkohol, pa su provedena mjerenja izvršena na alkoholu, jer su mjerila za korištenje na kisik, a to je potrebno jasno naznačiti naljepnicom koja se nalazi na mjerilu. Svako postolje ima dva ventila kojim se otvara ili zatvara sustav i vratilo kojim se dovodi tlak u sustav.



Slika 12 Mjerno postolje  
Slikano 9.5.2023.

Kod samog umjeravanja potrebno je popuniti obrazac za mjerenje na kojem su navedeni neki osnovni podaci o umjeravanju. Svako mjerilo ima svoj serijski broj, a ako serijski broj ne postoji pri dolasku u laboratorij, tad mu se dodjeljuje od strane mjeritelja. U obrazac se upisuju još i tehničke karakteristike mjerila poput promjer kućišta, vrsta priključka, podjela mjerne skale i klase točnosti. Rezultati mjerenja tablično su prikazani. Tablica sadrži etalonski tlak, rezultate uzlaznih i silaznih mjerenja, histerezu i mjernu nesigurnost. Histereza je razlika u mjernom rezultatu između uzlaznog i silaznog očitavanja. Klasa točnosti pokazuje koje bi bilo maksimalno dozvoljeno odstupanje mjernog rezultata. Primjerice mjerilo u mjernom području od 250 bar ima klasu točnosti 1,6 bar, te se maksimalno dozvoljeno odstupanje računa na način da se mjerno područje, u ovom slučaju 250 bar množi s klasom točnosti i dijeli sa 100, odnosno  $(250 \text{ bar} \times 1,6)/100 = 4 \text{ bar}$ . Dobiveni rezultat je maksimalno dozvoljeno odstupanje za to mjerilo, u ovom slučaju 4 bar, odnosno odstupanje za koje možemo reći da je mjerilo unutar klase. Kod svakog umjeravanja potrebno je i zabilježiti koji su vremenski uvjeti u laboratoriju, odnosno koliko iznosi temperatura i tlak zraka te relativna vlažnost. Kontrola vremenskih uvjeta je svakodnevna, te su temperaturne granične vrijednosti za umjeravanje između 18°C i 25°C.

Kako bi mjeritelj dobio čim bolji mjerni rezultat tijekom umjeravanja nekog mjerila, potrebno je voditi računa i o etalonu s kojim se provodi umjeravanje. Etalon mora imati barem 3x bolju klasu točnosti od predmeta umjeravanja, te mora biti u određenim vremenskim intervalima umjeren. Etaloni s kojima su provedena umjeravanja umjereni su svakih dvije godine, te unutar tih dvije godine prolaze kontrolna mjerenja da se utvrdi njihov mjerni rezultat. Najpravilnije bi bilo provesti umjeravanje etalom koji je istog mjernog područja kao i predmet umjeravanja ili uzeti sljedeći etalon po mjernom području koji je na redu. Primjerice ako je predmet umjeravanja mjerilo od 0/16 bar, a etalon od 0/16 bar koristi neki drugi mjeritelj ili je na umjeravanju, tada se uzima etalon od 0/25 bar.



### **Umjeravanje mjerila u mjernom području od 0/6 bar**

Mjerilo u mjernom području od 0/6 bar umjereno je na pneumatskom postolju. Odabrani etalon za ovo umjeravanje je etalon u mjernom području od 0/6 bar, a njegova interna oznaka u laboratoriju je EP16 kako je i navedeno u tablici 1. Nakon što je popunjen obrazac za mjerenje gdje su upisani osnovni podaci o mjerilu, vremenski uvjeti i korišteni etalon, tada kreće umjeravanje. Mjerilo je umjereno metodom koja se još naziva i C metoda, što znači da prije samog umjeravanja potrebno je jednom razraditi mjerilo i narinuti tlak do maksimalne točke mjerne skale. U ovom slučaju 6 bar je maksimalna točka. Na toj točki potrebno je pričekati 2 minute i ponovno se vratiti na 0. Obično se u C metodi uzima 6 mjernih točaka ili broj točaka koje određuje sam korisnik. U ovom slučaju uzeto je 7 mjernih točaka. Podjela mjerne skale na ovom mjerilo je 0,05 bar, a s obzirom da je mali prostor za očitavanje mjernog rezultata između svake podjele, mjerni rezultat je očitavan na pola podjele. Nakon što je doveden zrak u sustav paljenjem kompresora zraka, zatvara se lijevi ventil na pneumatskom postolju, a desnim ventilom dodaje se zrak u sustav. Prva točka je na 0 bar, pa nakon toga slijede 1, 2, 3, 4, 5 i 6 bar uzlazno. Na svakoj točki nakon što prođe 30 sekundi očitava se mjerni rezultat i zapisuje se u obrazac za mjerenje. Na maksimalnoj točki od 6 bar potrebno je pričekati ponovno 2 minute, te se silazno vraćati i na svakoj točki zapisati mjerni rezultat. Pri silaznom mjerenju zatvara se desni ventil, a lijevim ventilom regulira se tlak u sustavu. Nakon što je očitana i posljednja točka, a to je 0 bar, tada lijevi ventil ostaje otvoreni i mjerilo se skida s mjernog postolja i lijepi se pripadajuća naljepnica koja označuje da je mjerilo umjereno. Gledajući u tablicu gdje su zapisana mjerenja, može se izračunati maksimalno odstupanje,  $6 \text{ bar} \times 1/100 = 0,06 \text{ bar}$ . Maksimalno odstupanje u ovom umjeravanju bilo je 0,025 bar što znači da je mjerilo unutra klase točnosti. Dodijeljena naljepnica nakon samog umjeravanja je B-6478.

Datum: 9.5.2023.      Proizvođač mjerila: NUOVA FIMA      Etalon: EP16

Mjerna jedinica: bar      Mjerno područje: 0/6 bar      Priključak: R1/2 rad

Kućište: Ø100      Podjela: 0,05 bar      Razlučivanje: 0,025 bar      Tlačni medij: zrak

Klimatski uvjeti: temperatura: 23,9 °C    vlažnost: 50,0 %      tlak zraka: 1006,5 hPa

Serijski broj: 49137      Klasa točnosti: 1,0

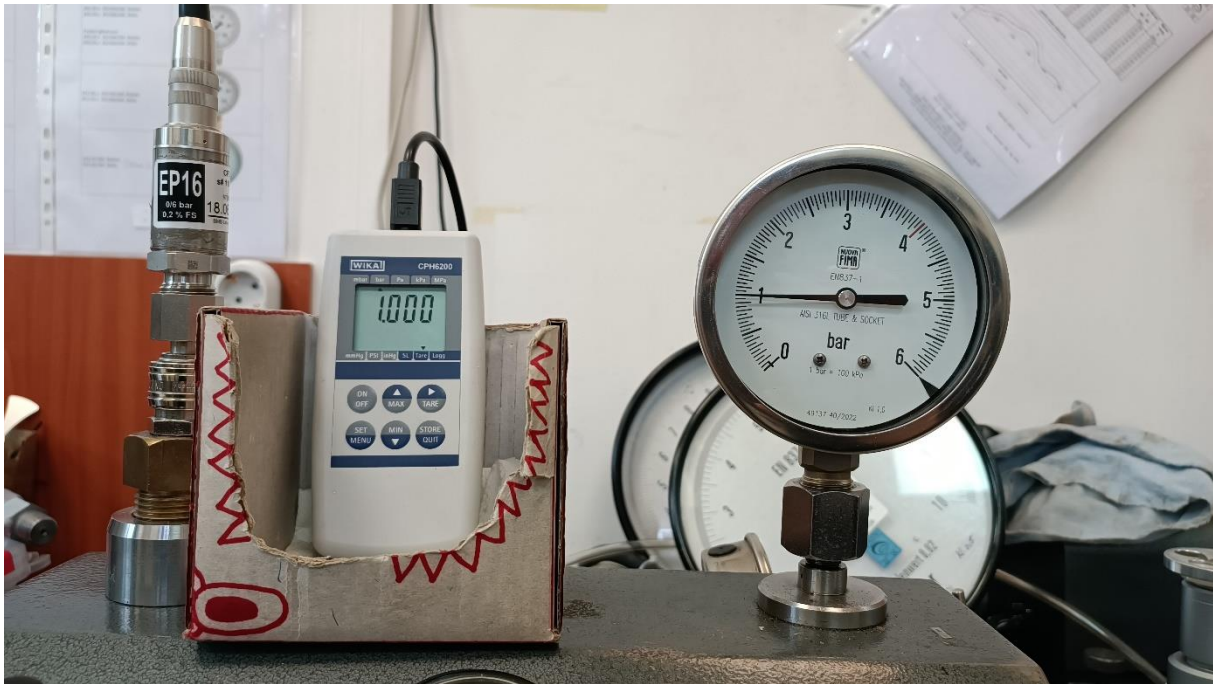
Redni broj	Etalonski tlak [bar]	Očitavanje uzlaznog mjerenja [bar]	Očitavanje silaznog mjerenja [bar]	Histereza [bar]	Mjerna nesigurnost [bar]
1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0401
2	1,000	1,000	1,000	0,000	0,0401
3	2,000	2,000	2,025	0,025	0,0887
4	3,000	3,025	3,025	0,000	0,0401
5	4,000	4,025	4,025	0,000	0,0401
6	5,000	5,025	5,025	0,000	0,0401
7	6,000	6,000	6,000	0,000	0,0401

Naljepnica: **B-6478**

Tablica 2 Podaci o mjerilu i provedena mjerenja u mjernom području od 0/6 bar

Proizvođač	WIKA
Tip	Električni pretvornik tlaka sa pokazivačem CPT 6200 + CPH 6200
Mjerno područje etalona	0/6 bar

Tablica 3 Podaci o etalonu s kojim je provedeno mjerenje



Slika 13 Umjeravanje mjerila u mjernom području 0/6 bar

Slikano 9.5.2023.

### **Umjeravanje mjerila u mjernom području od 0/160 bar**

Za iduće umjeravanje korišten je etalon pod oznakom EP10, u mjernom području 0/160 bar. Korišteni tlačni medij je ulje, a korišteno mjesto je hidrauličko. Mjerilu je dodijeljeni serijski broj od strane mjeritelja, te su upisane osnovne tehničke karakteristike o mjerilu. Ovo mjerilo ima klasu točnosti 1,6, što znači da mu je maksimalno dozvoljeno odstupanje  $160 \text{ bar} \times 1,6/100 = 2,5 \text{ bar}$ . Na ovom mjernom postolju su također 2 ventila, ali i vratilo kojim se dovodi tlak. Nakon što je odabrani etalon za umjeravanje, na pripadajući način montiraju se etalon i mjerilo na postolje. Prije nego se razradi mjerilo do maksimalnog tlaka, u ovom slučaju do 160 bar, potrebno je prvi ventil zatvoriti i okretanjem ručice vratila dodavati tlak u sustav. Nakon što kazaljka prijeđe 80 bar, tada se zatvara drugi ventil, a prvi otvara da bi se olakšalo okretanje ručice vratila. Odabrane točke za ovo umjeravanje bile su 10, 30, 60, 90, 120 i 160 bar. Prema tablici 3 gdje su upisani mjerni rezultati, vidljivo je da je maksimalno odstupanje bilo 2 bar, što odgovara maksimalnom dozvoljenom odstupanju prema klasi točnosti. Podjela mjerne skale je 5 bar, a mjerni rezultat očitao je na 1 bar. Svaki mjeritelj razlučuje podjelu skale prema svojoj mjernoj sposobnosti, odnosno prema svome „oku“. Nakon umjeravanja mjerilu je dodijeljena naljepnica B-6479.

Datum: 9.5.2023.      Proizvođač mjerila: WIKA      Etalon: EP10

Mjerna jedinica: bar      Mjerno područje: 0/160 bar      Priključak: R1/2 rad

Kućište: Ø100      Podjela: 5 bar      Razlučivanje: 1 bar      Tlačni medij: ulje

Klimatski uvjeti: temperatura: 23,9 °C      vlažnost: 50,0 %      tlak zraka: 1006,5 hPa

Serijski broj: ET 114      Klasa točnosti: 1,6

Redni broj	Etalonski tlak [bar]	Očitavanje uzlaznog mjerenja [bar]	Očitavanje silaznog mjerenja [bar]	Histereza [bar]	Mjerna nesigurnost [bar]
1	10	10	11	1	1,4142
2	30	30	31	1	1,4142
3	60	61	62	1	1,4142
4	90	91	92	1	1,4142
5	120	121	122	1	1,4142
6	160	162	162	0	1,0001

Naljepnica: **B-6479**

Tablica 4 Podaci o mjerilu i provedena mjerenja u mjernom području od 0/160 bar

Proizvođač	WIKA
Tip	Električni pretvornik tlaka sa pokazivačem CPT 6200 + CPH 6200
Mjerno područje etalona	0/160 bar

Tablica 5 Podaci o etalonu s kojim je provedeno mjerenje



Slika 14 Umjeravanje mjerila u mjernom području 0/160 bar

Slikano 9.5.2023.

### **Umjeravanje mjerila u mjernom području od 0/80 bar**

Mjerilo u mjernom rasponu od 0/80 bar je još i kisično mjerilo. Kako bi se znala razlika između „običnog“ i kisičnog mjerila potrebna je oznaka na kisičnom mjerilu, a to je prekrížena posuda s uljem ili natpis NO OIL. Sva kisična mjerila potrebno je umjeravati na tlačnom mediju: alkohol. Hidrauličko postolje ima u sebi ulje, međutim na djelu gdje bi se montiralo mjerilo za umjeravanje, montirani je dodatni separator koji u sebi ima gumenu epruvetu. Kada preko vratila dodajemo tlak u sustav, tada ulje iz postolja pritišće gumenu epruvetu u kojoj se nalazi alkohol i prenosi tlak na predmet umjeravanja. Ovo mjerilo ima priključak R1/4 rad što znači da je prije umjeravanja potrebno staviti redukciju kako bi se provelo umjeravanje. Nakon što je cijeli sustav odzračeni, potrebno je razraditi mjerilo do maksimalnog tlaka od 80 bar. S obzirom da laboratorij nema etalon u rasponu od 0/80 bar, odabran je etalon u rasponu od 0/100 bar. Odabrane su točke, te umjeravanje počinje na 6 bar, a nastavlja se na 10, 20, 40, 60 i 80 bar uzlaznog i silaznog mjerenja. Klasa točnosti je 2,5, što znači da je maksimalno dozvoljeno odstupanje  $80 \text{ bar} \times 2,5/100 = 2 \text{ bar}$ . Podjela mjerne skale je 2 bar, a s obzirom da je kućište Ø63, razlučuje se podjela od 2 bar na 0,5 bar, te se očitava mjerni rezultat na 6 bar npr. 6,5, 7 ili 7,5 bar. U ovom slučaju očitani su na 6,5 bar. Gledajući ostatak tablice mjerenja maksimalno odstupanje bilo je 0,5 bar, što znači da je mjerilo unutra klase točnosti. Nakon umjeravanja mjerilu je dodijeljena naljepnica B-6588.

Datum: 27.6.2023.      Proizvođač mjerila: GCE      Etalon: EP9

Mjerna jedinica: bar      Mjerno područje: 0/80 bar      Priključak: R1/4 rad

Kućište: Ø63      Podjela: 2 bar      Razlučivanje: 0,5 bar      Tlačni medij: alkohol

Klimatski uvjeti: temperatura: 24,4 °C    vlažnost: 48,5 %      tlak zraka: 1000,3 hPa

Serijski broj: ET 482      Klasa točnosti: 2,5

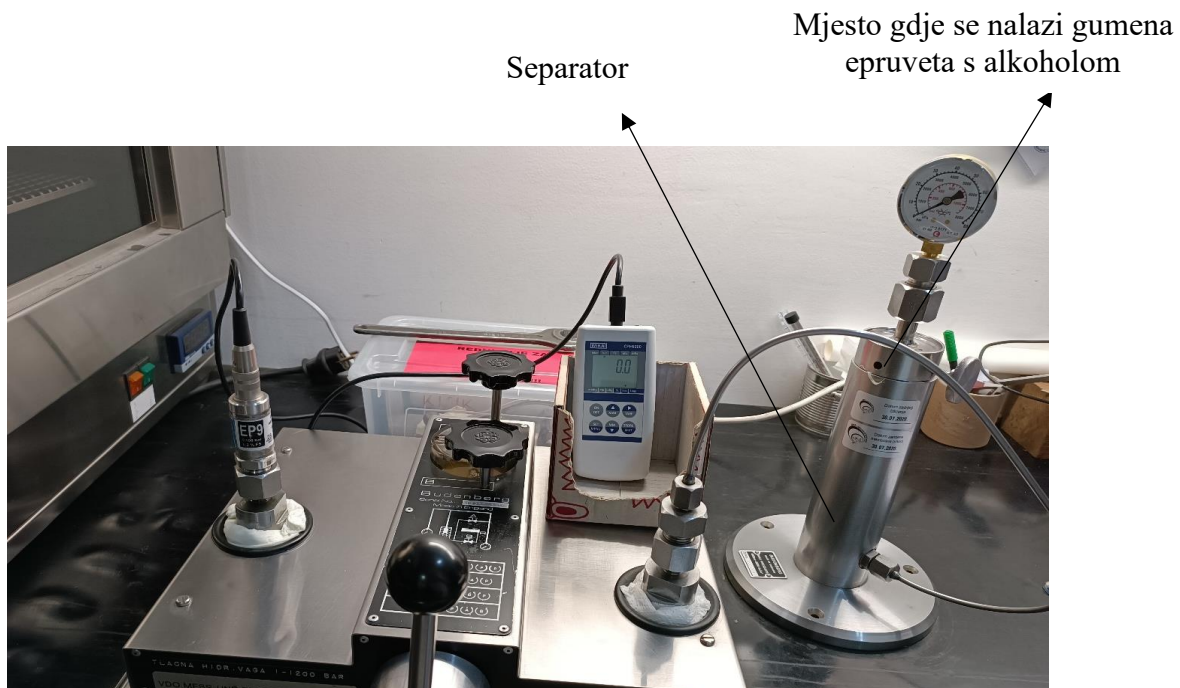
Redni broj	Etalonski tlak [bar]	Očitanje uzlaznog mjerenja [bar]	Očitanje silaznog mjerenja [bar]	Histereza [bar]	Mjerna nesigurnost [bar]
1	6,0	6,0	6,5	0,5	0,7071
2	10,0	10,5	10,5	0,0	0,5228
3	20,0	20,5	21,0	0,5	0,7071
4	40,0	40,0	41,0	1,0	1,128
5	60,0	59,5	60,5	1,0	1,128
6	80,0	79,5	79,5	0,0	0,5228

Naljepnica: **B-6588**

Tablica 6 Podaci o mjerilu i provedena mjerenja u mjernom području od 0/80 bar

Proizvođač	WIKA
Tip	Električni pretvornik tlaka sa pokazivačem CPT 6200 + CPH 6200
Mjerno područje etalona	0/100 bar

Tablica 7 Podaci o etalonu s kojim je provedeno mjerenje



Slika 15 Umjeravanje mjerila u mjernom području 0/80 bar – prikaz cijelog sustava mjerenja

Slikano 27.6.2023.





Slika 16 Umjeravanje mjerila u mjernom području 0/80 bar – prikaz etalona i mjerila  
Slikano 27.6.2023.

### **Umjeravanje mjerila u mjernom području od 0/315 bar**

Posljednje umjeravanje provedeno je na mjerilu u području od 0/315 bar. Tlačni medij također je alkohol. U slučaju da bi se kisično mjerilo umjerilo na ulje, a korisniku je potrebno umjeravanje na alkoholu moglo bi doći do eksplozije, tako da je uvijek potrebno pratiti oznake na mjerilima kako bi se kisično mjerilo umjerilo na alkohol. Umjeravanje kreće na 20 bar i nastavlja se na 60, 120, 180, 240 i 315 bar uzlaznog i silaznog mjerenja. S obzirom da je predmet umjeravanja visokog mjernog područja, prije umjeravanja zatvara se prvi ventil, te se vratilom narine tlak do 100 bar. Nakon toga se zatvara drugi ventil, a prvi se otvara i tada se mjere ostale točke iznad 100 bar. Podjela mjerne skale je 10 bar, a razlučivanje je na 2 bar. Maksimalno dozvoljeno odstupanje je  $315 \text{ bar} \times 2,5/100 = 7,8 \text{ bar}$ . Prema tablici mjerenja vidljivo je da je maksimalno odstupanje tijekom umjeravanja bilo 4 bar što znači da je mjerilo unutar klase točnosti. S obzirom da nije standardno mjerno područje 0/315 bar, etalon koji je odabran je 0/400 bar s internom oznakom EP44. Nakon umjeravanja mjerilu je dodijeljena naljepnica B-6589.



Datum: 27.6.2023.      Proizvođač mjerila: GCE      Etalon: EP44

Mjerna jedinica: bar      Mjerno područje: 0/315 bar      Priključak: R1/4 rad

Kućište: Ø63      Podjela: 10 bar      Razlučivanje: 2 bar      Tlačni medij: alkohol

Klimatski uvjeti: temperatura: 24,4 °C    vlažnost: 48,5 %      tlak zraka: 1000,3 hPa

Serijski broj: ET 483      Klasa točnosti: 2,5

Redni broj	Etalonski tlak [bar]	Očitanje uzlaznog mjerenja [bar]	Očitanje silaznog mjerenja [bar]	Histereza [bar]	Mjerna nesigurnost [bar]
1	20	18	20	2	3,0412
2	60	58	58	0	2,357
3	120	116	118	2	3,0412
4	180	176	178	2	3,0412
5	240	238	238	0	2,357
6	315	314	314	0	2,357

Naljepnica: **B-6589**

Tablica 8 Podaci o mjerilu i provedena mjerenja u mjernom području od 0/315 bar

Proizvođač	WIKA
Tip	Električni pretvornik tlaka sa pokazivačem CPT 6200 + CPH 6200
Mjerno područje etalona	0/400 bar

Tablica 9 Podaci o etalonu s kojim je provedeno mjerenje



Slika 17 Umjeravanje mjerila u mjernom području 0/315 bar – prikaz narinutog tlaka od 180 bar

Slikano 27.6.2023.



Slika 18 Umjeravanje mjerila u mjernom području 0/315 bar

Slikano 27.6.2023.

## 5. Zaključak

Mjerenje veličine tlaka i umjeravanje instrumenata izrazito je važno u gotovo svim granama industrije. Postoje brojne norme koje u sve detalje propisuju postupke mjerenja i umjeravanja.

U radu sam se osvrnula na normu HRN EN ISO/IEC 17025:2017 koja utvrđuje opće zahtjeve za osposobljenost, nepristranost i dosljedan rad laboratorija. Svaka radnja vezana uz umjeravanje, postupke i način rada laboratorija detaljno je opisana i utvrđena navedenom normom. Iznimno je važno pridržavati se pravila prvenstveno zbog osobnih sigurnosti. Isto tako važno je redovno kontrolirati i održavati opremu koja se koristi u laboratoriju.

Prilikom odrađivanja praktičnog djela diplomskog rada osim što je potrebno pratiti upute iz norme, naučila sam da je važna stvar kontrolirati i okolišne uvjete. Već i malo odstupanje od propisane temperature, vlažnosti prostorije ili pak vibracije od buke mogu uvelike utjecati na mjerni rezultat. Naravno uz praćenje uputa iz norme potrebna je stručnost, preciznost u rukovanju opremom, iskrenost rezultata i nepristranost.

## 6. Literatura

- [1] Tropša, V. Čvrstoća, predavanja, unin.
- [2] Mađerić, D. Mehanika fluida, predavanja, unin.
- [3] Veliki, T. Mjerenja u proizvodnji, predavanja, unin.
- [4] Veliki, T. Procesna mjerenja, predavanja, unin.
- [5] <https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/Biographies/Torricelli/> 7.1.2024.
- [6] Grgec Bermanec, L. (2006) Razvoj i karakterizacija primarnog etalona tlaka. Doktorski rad. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje
- [7] Čalušić, L. (2015) Međulaboratorijska usporedba rezultata umjeravanja mjerila tlaka do 1400 bar. Završni rad. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje
- [8] Individualne upute laboratorija za rad i postupke mjerenja prema normi HRN EN ISO/IEC 17025:2017
- [9] Bošnjak, D., Grgić Z. HRN EN ISO/IEC 17025:2017, EG edukacijska grupa predavanja
- [10] DKD, Calibration of Pressure Gauges, Edition 03/2014
- [11] Jokić, R., (2019) Senzori i mjerni pretvarači sile. Završni rad. Osijek: Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija
- [12] chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://arhiva-2021.loomen.carnet.hr/pluginfile.php/4586977/mod\_resource/content/1/Analogni%20senzori%20tlaka.pdf 14.3.2024.
- [13] [https://www.wika.hr/cph6200\\_cpt6200\\_en\\_co.WIKA](https://www.wika.hr/cph6200_cpt6200_en_co.WIKA) 15.12.2023.
- [14] JCGM 100:2008: Vrednovanje mjernih podataka - Upute za iskazivanje mjerne nesigurnosti. Državni zavod za mjeriteljstvo. Zagreb; 2008.
- [15] Jugoslavenski leksikografski zavod. (1982). Tehnička enciklopedija (8. knjiga). Zagreb: Izdanje i naklada Jugoslavenskog leksikografskog zavoda

## 7. Popis tablica

Tablica 1 Metode umjeravanja .....	22
Tablica 2 Podaci o mjerilu i provedena mjerenja u mjernom području od 0/6 bar .....	33
Tablica 3 Podaci o etalonu s kojim je provedeno mjerenje .....	33
Tablica 4 Podaci o mjerilu i provedena mjerenja u mjernom području od 0/160 bar .....	35
Tablica 5 Podaci o etalonu s kojim je provedeno mjerenje .....	35
Tablica 6 Podaci o mjerilu i provedena mjerenja u mjernom području od 0/80 bar .....	37
Tablica 7 Podaci o etalonu s kojim je provedeno mjerenje .....	37
Tablica 8 Podaci o mjerilu i provedena mjerenja u mjernom području od 0/315 bar .....	40
Tablica 9 Podaci o etalonu s kojim je provedeno mjerenje .....	40

## 8. Popis slika

Slika 1 Prikaz definicije tlaka .....	11
Slika 2 Grafički prikaz odnosa tlaka .....	12
Slika 3 Grafički prikaz barometra .....	15
Slika 4 Bourdonova cijev .....	16
Slika 5 Elektronički osjetnici tlaka .....	16
Slika 6 Sklop klip/cilindar .....	17
Slika 7 Dijelovi tlačne vage .....	17
Slika 8 Dijagrami metoda umjeravanja .....	23
Slika 9 Struktura mjernog pretvornika .....	24
Slika 10 Električni pretvornik tlaka .....	26
Slika 11 Pravokutna razdioba .....	28
Slika 12 Mjerno postolje .....	30
Slika 13 Umjeravanje mjerila u mjernom području 0/6 bar .....	34
Slika 14 Umjeravanje mjerila u mjernom području 0/160 bar .....	36
Slika 15 Umjeravanje mjerila u mjernom području 0/80 bar – prikaz cijelog sustava mjerenja .....	38
Slika 16 Umjeravanje mjerila u mjernom području 0/80 bar – prikaz etalona i mjerila .....	39
Slika 17 Umjeravanje mjerila u mjernom području 0/315 bar – prikaz narinutog tlaka od 180 bar .....	41
Slika 18 Umjeravanje mjerila u mjernom području 0/315 bar .....	42

## 9. Popis jednadžba

Jednadžba 1 Jednadžba za tlak .....	11
Jednadžba 2 Izvod mjerne jedinice tlaka .....	11
Jednadžba 3 Srednja vrijednost/aritmetička sredina .....	27
Jednadžba 4 Eksperimentalno standardno odstupanje .....	28
Jednadžba 5 Eksperimentalno standardno odstupanje srednje vrijednosti .....	28
Jednadžba 6 Mjerna nesigurnost "Tip A" .....	28
Jednadžba 7 Mjerna nesigurnost "Tip B" .....	28
Jednadžba 8 Sastavljena mjerna nesigurnost .....	29
Jednadžba 9 Sastavljena mjerna nesigurnost .....	29



Sveučilište  
Sjever

—  
HAWON  
AATERRAIND



SVEUČILIŠTE  
SIEVER  
—

#### IZJAVA O AUTORSTVU

Završni/diplomski/specijalistički rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, DOGA JURY (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog/specijalističkog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom REZUMIRANJE UMJETNIČKE PLETIVOSTI TUKA 0-369 (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

Doga Jury  
(vlastoručni potpis)

Sukladno članku 58., 59. i 61. Zakona o visokom obrazovanju i znanstvenoj djelatnosti završne/diplomske/specijalističke radove sveučilišta su dužna objaviti u roku od 30 dana od dana obrane na nacionalnom repozitoriju odnosno repozitoriju visokog učilišta.

Sukladno članku 111. Zakona o autorskom pravu i srodnim pravima student se ne može protiviti da se njegov završni rad stvoren na bilo kojem studiju na visokom učilištu učini dostupnim javnosti na odgovarajućoj javnoj mrežnoj bazi sveučilišne knjižnice, knjižnice sastavnice sveučilišta, knjižnice veleučilišta ili visoke škole i/ili na javnoj mrežnoj bazi završnih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice, sukladno zakonu kojim se uređuje umjetnička djelatnost i visoko obrazovanje.