

## Vježba P-10: MJERENJE TLAKA

### 1. Svrha vježbe

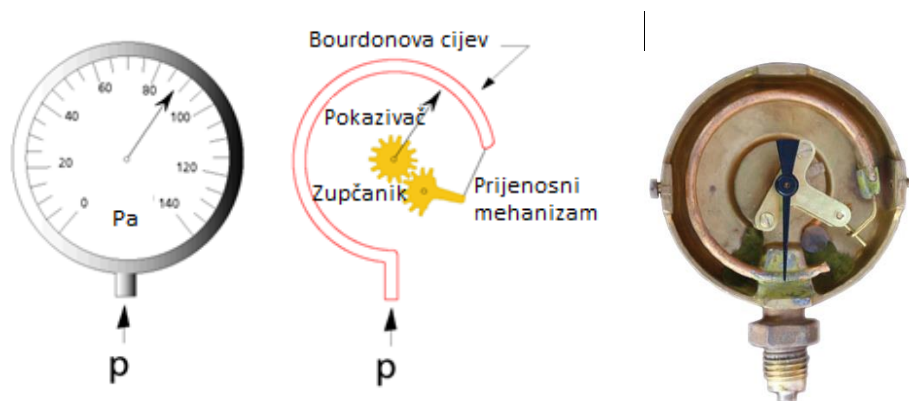
Upoznati se s načelima mjerenja tlaka primjenom stapnog manometra. Stjecanje iskustva u umjeravanju mjernih pretvornika tlaka.

### 2. Teorijska osnova

U ovoj vježbi mjerenja tlaka primjenjuju se Bourdonova cijev, piezoelektrični, piezootpornički i kapacitivni pretvornik tlaka, slika 1.

#### 2.1. Bourdonova cijev

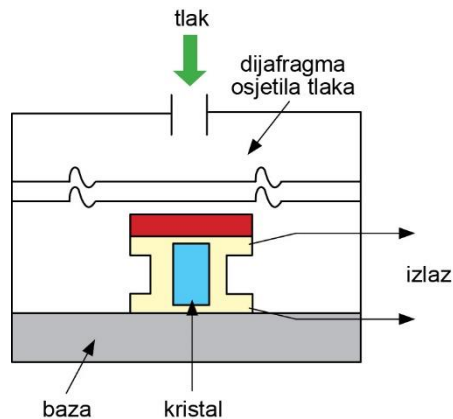
Bourdonova cijev spada u skupinu deformacijskih pretvornika tlaka i izvedena je kao šuplja cijev zakrivljena u obliku srpa koja je na jednom kraju zatvorena, a na drugom kraju nalazi se priključak za mjereni tlak, slika 1. Tekućina u cijevi izložena je tlaku koji uzrokuje deformaciju (ispravljanje) cijevi.



Slika 1 Bourdonova cijev

#### 2.2. Piezoelektrični pretvornik tlaka

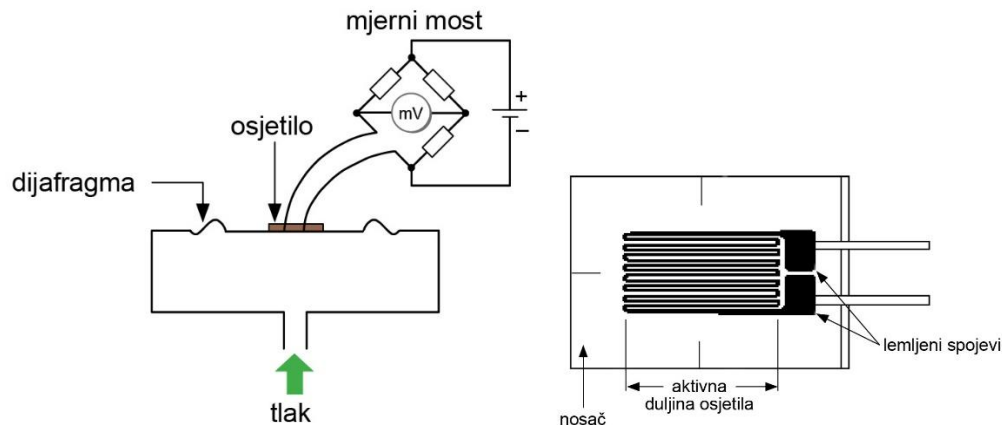
Mjerenje pomoću piezoelektričnih pretvornika zasniva se na činjenici da neki materijali stvaraju električno polje kad na njih djeluje sila. Dijafragma pretvornika tlaka koja je u kontaktu s medijem prenosi silu na slog diskova napravljenih od piezoelektrične keramike ili kristaliničnog kvarca. Kristali pod utjecajem tlaka generiraju električni naboj proporcionalan tlaku, slika 2. Elektrode prenose naboj sa kristala na ugrađeno mjerno pojačalo.



**Slika 2** Presjek piezoelektričnog osjetila

### 2.3. Piezootpornički pretvornik tlaka

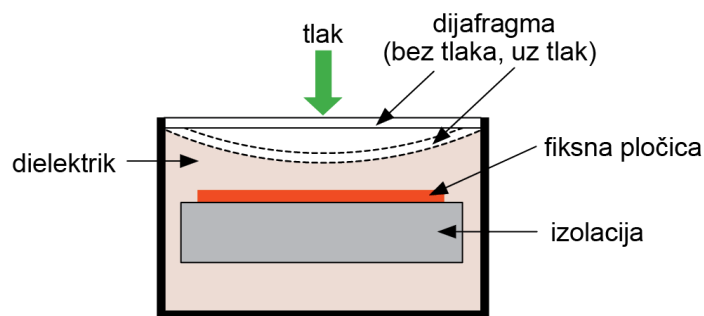
Piezootporničko osjetilo tlaka čini mjerna ćelija u kojoj se nalazi dijafragma od nehrđajućeg čelika na koju se prenosi radni tlak. Na dijafragmi je pričvršćeno piezoelektrično osjetilo koje je spojeno s mjernim mostom, slika 3. Pod utjecajem tlaka dijafragma se deformira mijenjajući tako električni otpor piezootporničke trake, što, pak izaziva promjenu napona u mjernom mostu. Napon iz mjerne ćelije pojačalom se pretvara strujni ili naponski signal koji se očitava ili prenosi dalje. Izlazni signal proporcionalan je primijenjenom tlaku. Komercijalni pretvornici obično imaju složeniju izvedbu s četiri piezootpornika.



**Slika 3** Mjerni spoj piezootporničkog pretvornika i osjetila

### 2.4. Kapacitivni pretvornik tlaka

Kapacitivno osjetilo tlaka sastoji se od dvije paralelne postavljene vodljive ploče, jedne fiksne i druge savitljive, slika 4. Pod djelovanjem tlaka mijenja se razmak između metalne dijafragme i fiksne metalne ploče što se očituje promjenom kapaciteta. Promjena kapaciteta se prikladnim mjernim spojem pretvara u promjenu mjernog signala.



**Slika 4** Kapacitivno osjetilo tlaka

## OPIS VJEŽBE I MJERENJA

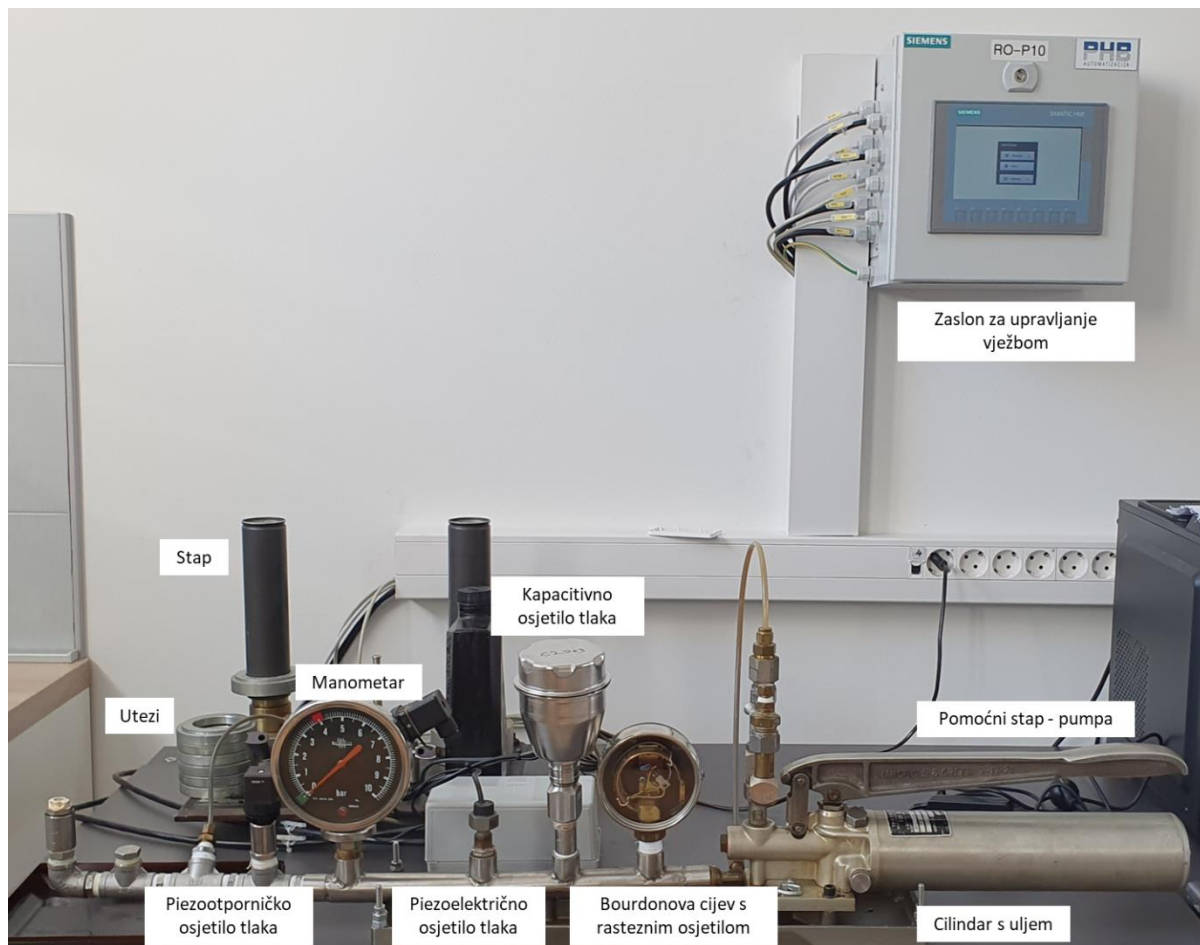
Laganim pomicanjem pomoćnog stapa pomoću pumpe povećava se tlak ulja u sustavu,  $p$ , što tlači površinu stapa,  $A$ , silom  $p \cdot A$ . Kad se sila  $p \cdot A$  izjednači s težinom stapa i utega,  $G$ , uspostavlja se ravnoteža te uteg sa stapom "zapliva". Tada vrijedi:

$$p \cdot A = G_u + G_s$$

pri čemu je  $G_u$  slobodna težina utega, a  $G_s$  težina stapa. Tlak ulja u kućištu tada je:

$$p = \frac{G_u + G_s}{A} = (m_u + m_s) \frac{g}{A}$$

Tom tlaku podvrgnuti su mjerni pretvornici tlaka spojeni na zatvoreni hidraulički sustav stapnog manometra. Vrijednosti izlaznih veličina mjernih pretvornika funkcija su narinutog tlaka pomoću utega. Pri umjeravanju je potrebno mijenjati utege, tako da se mijenjajući  $G_u$  može ispitati odgovarajuće mjerno područje. Preciznom izvedbom stapa i cilindra može se postići vrlo velika točnost definiranja tlaka. Da bi se kompenziralo trenje stapa i cilindra, stap se pri umjeravanju može zavrnuti rukom ili se vrti motorom.

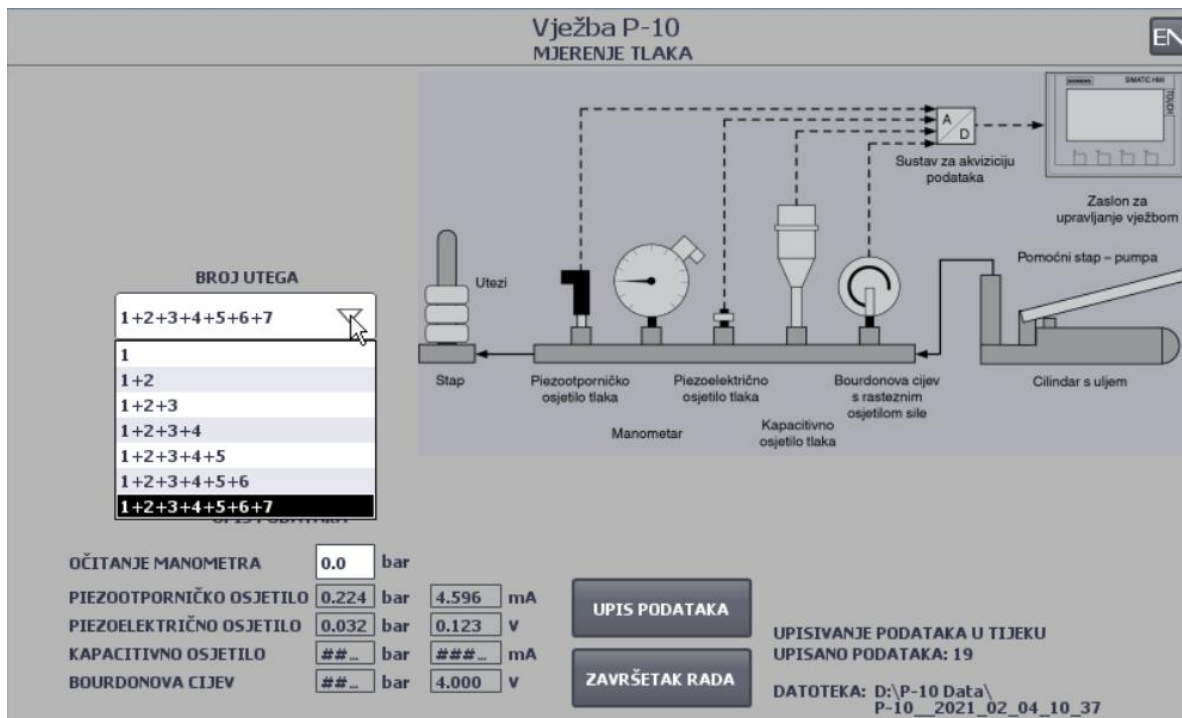


**Slika 5** Laboratorijska izvedba stapnog manometra

Stapni manometar s kojim se izvodi umjerenje mjernih pretvornika tlaka jednostavne je izvedbe. Sastoji se od kućišta ispunjenog uljem na koji je pričvršćen cilindar s preciznim stapom, pomoćnim stapom i priključcima za pretvornike tlaka. Na stapu su postavljeni utezi u obliku diskova različite težine koji se mogu po volji mijenjati, slika 5.

Na priključke za pretvornike tlaka spojeni su manometar, piezoelektrični, kapacitivni i piezootpornički pretvornik tlaka te Bourdonova cijev. Tlak u Bourdonovoj cijevi mjeri se posredno pomoću zalijepljenih rasteznih osjetila sile spojenih u istosmjerni Wheatstoneov most.

**Izlazni signal** piezoelektričnog pretvornika tlaka i pretvornika s rasteznim osjetilima sile jest napon, a piezootporničkog osjetila struja. Izlazi pretvornika su putem pojačala spojeni na pokazni uređaj na kojemu se očitavaju njihove vrijednosti. Pri mjerenju je potrebno bilježiti zavisnost izlaza pretvornika (otklon kazaljke kod manometra, napon (V) kod piezoelektričnog pretvornika tlaka i napon (mV) kod pretvornika tlaka s rasteznim osjetilima sile o tlaku te struju (mA) kod piezootporničkog i kapacitivnog osjetila tlaka.



Slika 6 Sučelje računalnog programa

Na računalu P-10 pokrenut je računalni program čije je sučelje prikazano slikom 6.

U padajućem izborniku klikom miša odabrati broj utega na stapu (slika 6). Pomicati pomoćni stap do uspostavljanja ravnoteže. Očitati vrijednost koju pokazuje manometar te ju **ručno** upisati u program (obavezno pritisnuti tipku **Enter** kako bi se potvrdila upisana vrijednost). Nakon svakog mjerenja klikom na **UPIS PODATAKA**, trenutne se vrijednosti upisuju u datoteku što se očituje porukom uz broj upisanih vrijednosti u tom mjerenju desno od tipke. Nakon zadnjeg mjerenja, klikom na **ZAVRŠETAK RADA**, završava se upis podataka u datoteku.

Rezultati mjerenja pohranjeni su u datoteku na serverskom računalu F-10 u mapi DATA\_P-10. Po završetku vježbe upitati asistenta/tehničara/demonstratora da prebaci datoteku s mjernim podacima na prijenosnu memoriju (USB).

## ZADATAK I OBRADA REZULTATA

Zadatak je umjeriti pretvornike tlaka na zadanom mjernom području. Rezultate **tri uzastopna umjeravanja** svrstajte u tablicu, prikažite grafički i odredite statičku karakteristiku, linearnost i histerezu mjernih pretvornika. Rezultate mjerenja potrebno je svesti na puni mjerni opseg (% **PMO**) i puni opseg izlaza (% **PO**) te izračunati koeficijente  $a$  i  $b$  regresijskog pravca  $y = ax + b$ . Izračunajte standardnu devijaciju pojedinog mjernog rezultata i standardnu devijaciju aritmetičke sredine.

- a) Proučite eksperimentalni uređaj i pripremite ga za mjerenje.
- b) Umjerite pretvornike tlaka na zadanom mjernom području.
- c) Rezultate tri uzastopna umjeravanja svrstajte u tablicu i izračunajte srednje vrijednosti.
- d) Rezultate prikažite grafički.
- e) Napišite jednažbe i odredite statičku karakteristiku, linearnost, histerezu i standardnu devijaciju.

## LITERATURA:

1. N. Bolf, Mjerenje tlaka - predavanja iz kolegija „Mjerenja i automatsko vođenje procesa“, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu, 2021.
2. <https://www.ni.com/en-rs/innovations/white-papers/11/pressure-measurement-overview.html>

## Vježba P-10: MJERENJE TLAKA

### REZULTATI

Masa stapa je 0,23330 kg, a površina poprečnog presjeka stapa je  $63,6172 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$ .

$$p = (m_u + m_s) \cdot \frac{g}{A}$$

#### POKUSI

- Proučite eksperimentalni uređaj i pripremite ga za mjerenje.
- Umjerite pretvornike tlaka na zadanom mjernom području.
- Rezultate tri uzastopna umjeravanja svrstajte u tablicu i izračunajte srednje vrijednosti.
- Rezultate prikažite grafički.
- Napišite jednadžbe i odredite statičku karakteristiku, linearnost, histerezu i standardnu devijaciju.



BROJ UTEGA	MASA UTEGA [kg]	Bourdonova cijev			Piezoelektrično osjetilo			Manometar			Piezootporničko osjetilo			Kapacitivno osjetilo			
		p1 [mV]			p2 [bar]			p3 [bar]			p4 [bar]			p5 [bar]			
1	0,330																
1+2	0,757																
1+2+3	1,087																
1+2+3+4	1,417																
1+2+3+4+5	1,747																
1+2+3+4+5+6	2,077																
1+2+3+4+5+6+7	2,408																
1+2+3+4+5+6	2,077																
1+2+3+4+5	1,747																
1+2+3+4	1,417																
1+2+3	1,087																
1+2	0,757																
1	0,330																