

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA KEMIJO IN KEMIJSKO TEHNOLOGIJO

Matic Krivec

DIDAKTIČNI MODUL ZA UČENJE UMERJANJA
MERILNIKOV

DIPLOMSKO DELO
NA VISOKOŠOLSLEM STROKOVNEM ŠTUDIJU
KEMIJSKA TEHNOLOGIJA

Mentor: izr. prof. dr. Janez Cerar

Ljubljana, 2020

IZJAVA O AVTORSTVU

Spodaj podpisani Matic Krivec,

sem avtor diplomskega dela z naslovom:

Didaktični modul za učenje umerjanja merilnikov

S svojim podpisom zagotavljam da:

- Sem diplomsko delo izdelal samostojno pod mentorstvomizr. prof. dr. Janeza Cerarja
- Sem dosledno navedel vso uporabljeno strokovno literaturo
- Je elektronska oblika diplomskega dela identična tiskani obliki diplomskega dela

V Ljubljani, dne

Podpis avtorja:

ZAHVALA

Rad bi se zahvalil svojemu mentorju izr. prof. dr. Janezu Cerarju za strokovno svetovanje, potrpežljivost in spodbudo pri nastajanju diplomskega dela.

POVZETEK

V diplomski nalogi je predstavljen didaktični modul PCT56 za umerjanje merilnikov tlaka in njegovo delovanje. Opisan je način, kako si je podjetje Armfield, ki proizvaja ta didaktični modul, zamislilo pedagoško rabo tega učnega pripomočka. Opisal sem princip delovanja merilnikov, ki so vključeni v modul PCT56 in predstavil svoje videnje, kako bi lahko nadgradili rabo opisanega modula ter ga vključili v nabor obstoječih laboratorijskih vaj pri predmetu Meritve in osnove regulacije procesov na Fakulteti za kemijo in kemijsko tehnologijo v Ljubljani. Zaradi omejitve študentskega dela v laboratorijih kot posledice epidemije koronavirusne bolezni svoje zamisli nisem mogel praktično preizkusiti v laboratoriju.

ABSTRACT

The didactic module PCT56 for calibration of pressure gauges and its functioning are presented in diploma thesis. It is described how the company Armfield, which manufactures this didactic module, conceived the pedagogical use of this teaching aid. I described the operating principle of pressure sensors, which are included in the PCT56 module and presented my idea how to upgrade the use of this module and incorporate it into the set of existing laboratory exercises within the course “Measurements and fundamentals of process control“ at the Faculty of Chemistry in Chemical Technology in Ljubljana. Due to the ban of student work in laboratories as a consequence the coronavirus disease pandemic, I was unable to practically test my idea in the laboratory.

Kazalo vsebine

1. UVOD	10
1.1 KAKO VEMO KDAJ JE POTREBNO INSTRUMENT UMERITI?.....	10
1.2 ZAKAJ IN KAKO UMERJAMO NAPRAVE:	11
1.3 STANDARDNI SIGNALI :	13
1.4 ZGRADBA MERILNIKOV	14
2. NAMEN DELA	15
3. MATERIALI IN METODE	16
3.1 Materiali	16
3.2 Poskusi, predvideni s strani proizvajalca modula PCT56 [5].	19
4. REZULTATI IN RAZPRAVA:.....	26
5. ZAKLJUČEK:	31
6.LITERATURA:	32

Kazalo slik

Slika 1: Fotografija didaktičnega modula PCT56 (VIR: Navodila za uporabo PCT56). Na levi strani fotografije je nadtlačna posoda s tremi električnimi merilniki tlaka in Bourdonovo cevjo, na desni strani pa elektronski del modula s potenciometri, pretikali in tekočerkristalnim zaslonom.	17
Slika 2: Mesta vezave kablov in položaji pretikal pri merjenju tlaka s senzorjem, ki posreduje napetostni signal (VIR: Navodila za uporabo PCT56).....	20
Slika 3: Mesta vezave kablov in položaji pretikal pri merjenju tlaka s senzorjem, ki posreduje tokovni signal (VIR: Navodila za uporabo PCT56).....	23
Slika 4: Mesta vezave kablov in položaji pretikal pri merjenju tlaka s senzorjem, ki posreduje uporovni signal (VIR: Navodila za uporabo PCT56).....	25
Slika 5: Tekočinski U-manometer.	26
Slika 6: Bourdonova cev.	27
Slika 7: Eden od principov delovanja piezoelektričnih merilnikov tlaka. Delovanje sile na membrano se prenese na kristal, posledično pa se znotraj kristala inducira električna napetost, ki je sorazmerna z na membrano delujočim tlakom.	28

Kazalo Grafov

Graf 1: Primer umeritvenega diagrama	11
Graf 2: Primer odklonov umeritvene krivulje znotraj dovoljenih toleranc.	12
Graf 3: Primer odklonov umeritvene krivulje izven dovoljenih toleranc.....	13

Kazalo tabel

Tabela 1: Primer meritev pri umerjanju instrumenta	12
--	----

1. UVOD

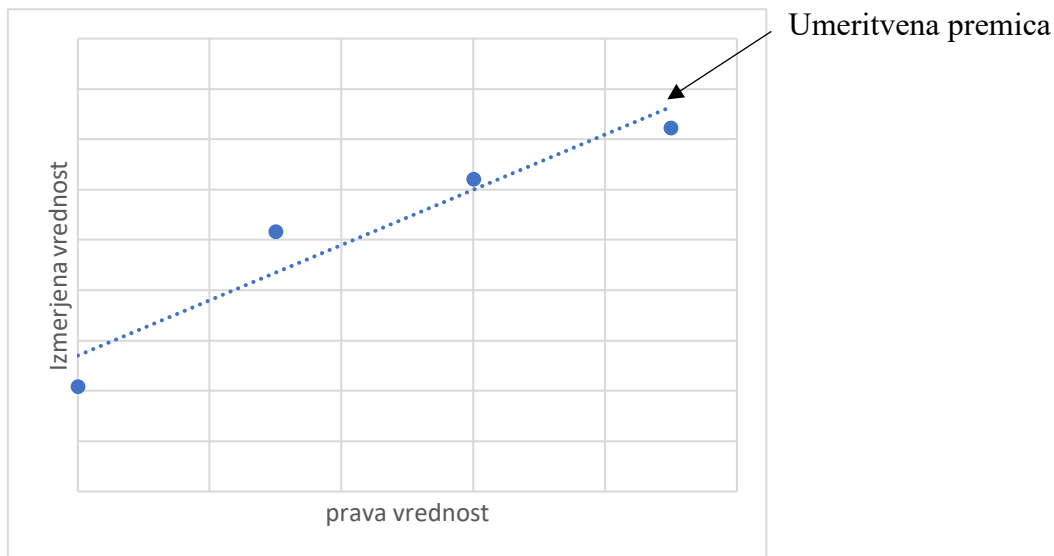
V kemijski tehnologiji pa tudi v mnogih drugih procesnih proizvodnjah ter laboratorijih je merjenje tlaka zelo pogosta meritev, ki omogoča nadzorovanje opazovanih procesov. Da bi se dijaki in študenti teh vsebin naučili, obstaja nekaj specializiranih podjetij, ki se ukvarjajo z načrtovanjem in sestavljanjem didaktičnih modulov, namenjenih poučevanju v različnih izobraževalnih institucijah. Eno od najbolj znanih globalno delujočih podjetij s področja izdelave didaktičnih modulov za učenje tehnoloških, inženirskih pa tudi naravoslovnih vsebin na srednjih šolah in fakultetah je podjetje Armfield iz Združenega kraljestva Velike Britanije in Severne Irske. To podjetje med drugim izdeluje štiri med seboj neodvisne didaktične enote za pomoč pri razumevanju regulacije pretoka, nivoja tekočin, tlaka ter temperature, enoto za učenje razumevanja delovanja PID (proporcionalno-integralno-derivativnega) regulatorja, enoto za razumevanje delovanja PLC (angl *programmable logic controller*; programabilni logični krmilnik), enoto za pomoč pri razumevanju umerjanja merilnikov tlaka ter kompleksno multifunkcijsko učno enoto za učenje regulacije procesov. Ne glede na stopnjo kompleksnosti procesa, pa je pri vsaki regulaciji procesa najprej potrebno dobro poznati izmerjeno vrednost in dobro umerjanje merilnikov je zato ključno za zanesljivo delovanje regulacijskih zank.

1.1 KAKO VEMO KDAJ JE POTREBNO INSTRUMENT UMERITI?

Merilne instrumente oziroma merilnike je potrebno pred uporabo umeriti. To praviloma naredimo z bolj točnim instrumentom, pri tem pa pri večjih vrednostih merjeno količino hkrati izmerimo z instrumentom, ki ga umerjamo, in z drugim instrumentom, ki nam prikaže vrednost, ki naj bi bila prava. Pri odločanju, ali je za izbrani instrument potrebno izdelati umeritveno krivuljo, pa nam lahko pogosto pomagajo tudi standardi, katerih točne vrednosti poznamo in potem naše meritve primerjamo z znanimi rezultati. Merilnike se sicer umerja po potrebi, instrumente pa je potrebno redno kontrolirati [1].

Pri umerjanju običajno uporabimo statično kalibracijo, kjer sta vrednost na vhodu in izhodu instrumenta med meritvijo konstantna. Umerjanje izvajamo tako, da določamo izhod instrumenta pri znanem vhodu. Iz večih takih točk sestavimo umeritveno tabelo oz. oziroma narišemo umeritveni diagram. Pri tem je pomembno, da se zavedamo, da je instrument zanesljiv le znotraj območja merjenja [1].

V umeritvenem diagramu prikažemo odvisnost izmerjene vrednosti od prave vrednosti. Ker so meritve vedno podvržene naključnim napakam, praviloma skušamo najti neko z matematično enačbo opisano krivuljo (tako imenovano umeritveno krivuljo), ki dobro opisuje odvisnost izmerjene vrednosti od prave vrednosti, pri tem pa ni nujno, da ta krivulja vključuje tudi točke, ki kažejo pretirano odstopanje od splošnega trenda [1].



Graf 1: Primer umeritvenega diagrama.

1.2 ZAKAJ IN KAKO UMERJAMO NAPRAVE:

Nastavitve senzorjev so zelo pomembne, saj lahko le tako omogočimo varno in natančno merjenje brez večjih napak. Natančnost vseh merilnih naprav se sčasoma zmanjša. To je lahko posledica spremembe območja, v katerem deluje naprava. Na meritve lahko vplivajo tudi napačno nastavljena ničla ali pa mehanske poškodbe na merilnem sistemu [2].

Pri umerjanju je potrebno poznati območje, v katerem je predvidena raba instrumenta. Pri tem je potrebno vedeti, da sta območje instrumenta in kalibracijsko območje različna pojma. Instrument je potrebno nastaviti v tistem območju, v katerem bo meril, to območje pa je lahko tudi manjše od celotnega območja, v katerem je z instrumentom možno izvajati meritve. Velikost območja je odvisna tudi od natančnosti, ki jo želimo imeti pri izvajanju meritev [2].

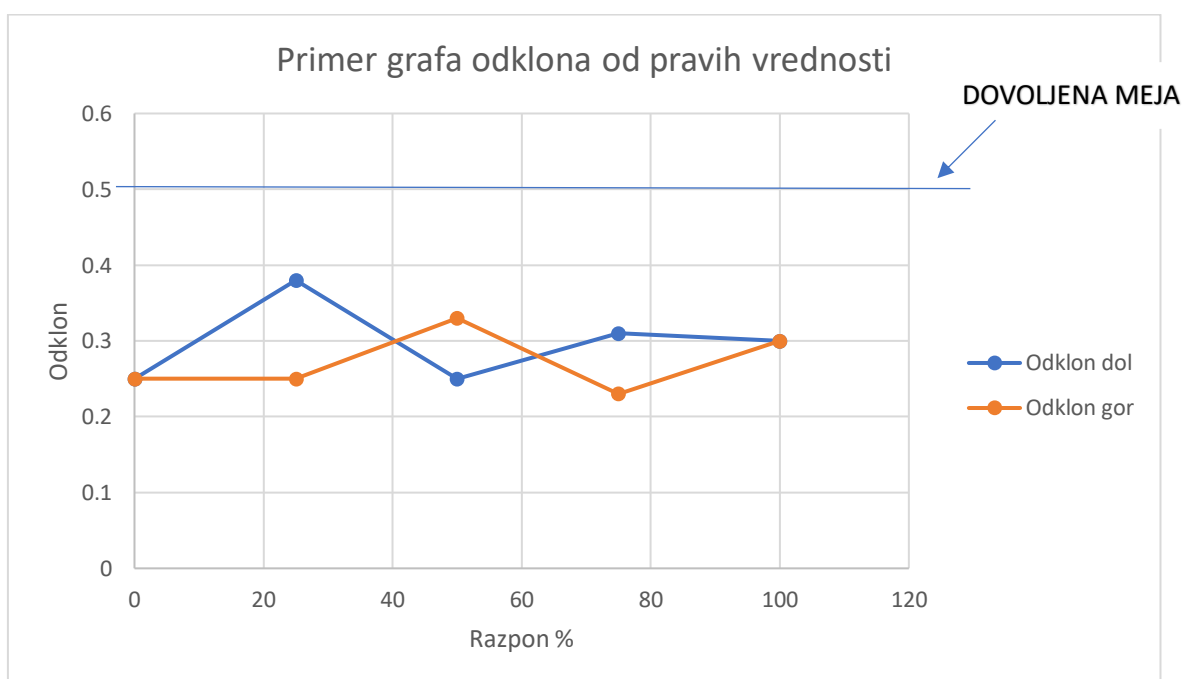
Pri analognem umerjanju merilnikov obstaja interakcija med ničlo in razponom. Z nastavitvijo ničle in razpona lahko znotraj območja, ki ga je postavil proizvajalec, nastavimo poljuben obseg. Spremembe pri nastavitvah razpona zahtevajo veliko več časa za natančno umerjanje, saj se je potrebno vračati na spodnjo in zgornjo mejo merilnega območja, če se želi prilagoditi natančnost.

Pri digitalnih umerjanjih to ni potrebno, ker interakcije med ničlo in razponom ni [2].

PRIMER:

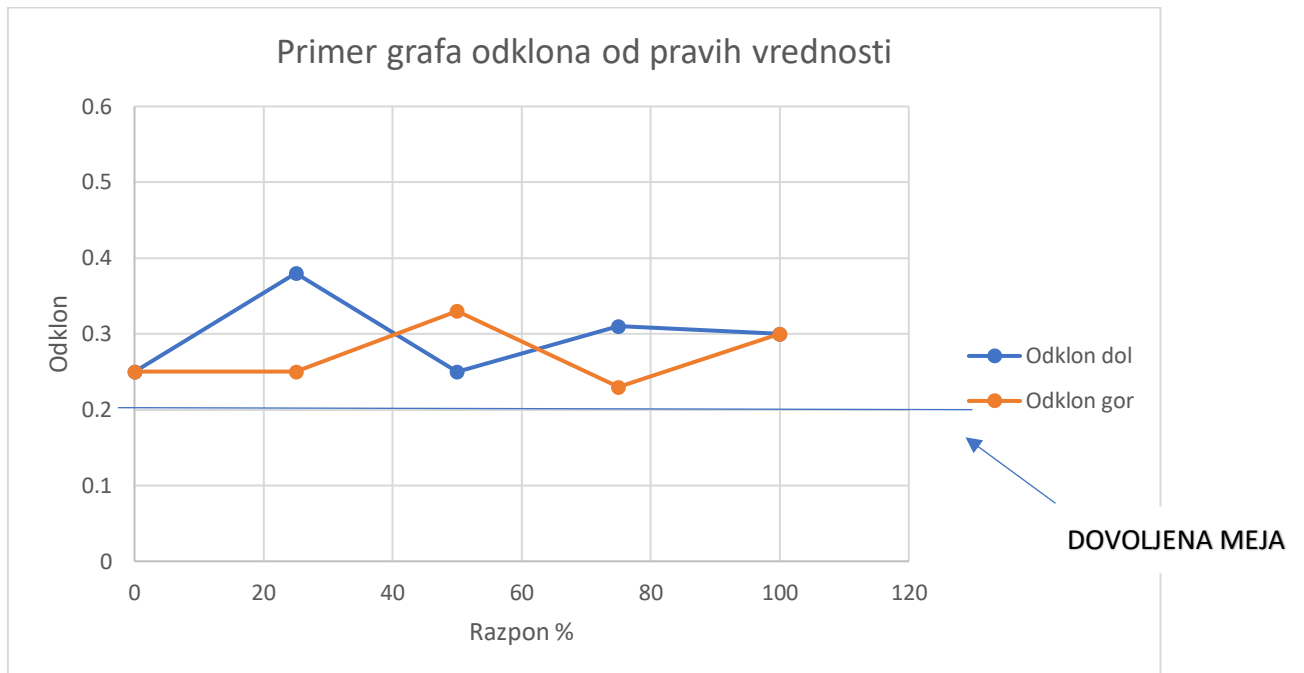
Tabela 1: Primer meritev pri umerjanju instrumenta.

Vstopne vrednosti	Izhodne vrednosti				
	Razpon %	Idealne vrednosti	Izmerjene vrednosti [smer spreminjanja]		Odklon [%]
Naraščanje			Padanje	Naraščanje	Padanje
0	4 mA	4,01	4,01	0,25	0,25
25	8 mA	8,03	8,02	0,38	0,25
50	12 mA	12,03	12,04	0,25	0,33
75	16 mA	16,05	16,04	0,31	0,23
100	20 mA	20,06	20,06	0,30	0,30



Graf 2: Primer odklonov umeritvene krivulje znotraj dovoljenih toleranc.

Graf 2 prikazuje primer preverjanja merilnika, pri katerem se odstopanja izmerjenih vrednosti manjša od dovoljenega praga odstopanja, zato umerjanje instrumenta ni potrebno [2].



Graf 3: Primer odklonov umeritvene krivulje izven dovoljenih toleranc.

V primeru, prikazanem na grafu 3, odklon izmerjenih vrednosti presega dovoljeno mejo odstopanja od pravih vrednosti. To pomeni, da je napravo potrebno ponovno umeriti, da bodo odstopanja izmerjenih vrednosti znotraj intervala dovoljenih pogreškov [2].

1.3 STANDARDNI SIGNALI :

Merilniki praviloma na izhodu podajajo izmerjeno vrednost v obliki enega izmed standardnih signalov. Med komponentami v regulacijski zanki se namreč pretaka standardni signal.

Poznamo:

- Hidravlični signal:
 - Od 0-200 bar
- Standardni napetostni signal (E)
 - Mrtva ničla: 0-5 V ali 0-10 V
 - Živa ničla: 1-5 V ali 1-10 V
- Standardni pnevmatski signal (P)
 - Mrtva ničla: 0 – 1 bar
 - Živa ničla: 0,2 - 1 bar
- Standardni tokovni signal (I)
 - Mrtva ničla: 0 -20 mA
 - Živa ničla: 4 -20 mA

Za pretvarjanje signalov s posameznih instrumentov v standardne signale uporabimo ojačevalnike ali pa merilne pretvornike. V primeru PCT56 ima naprava tri merilnike, zato lahko zaznani tlak pretvori v tri različne vrste izhodnega signala [3].

1.4 ZGRADBA MERILNIKOV

Merilniki so sestavljeni iz tipala, dajalnika in merilnega pretvornika, včasih pa še iz prikazovalnika. Naloga merilnih členov je izmeriti procesne spremenljivke npr. tlak, temperaturo, pretok in podobno. Element, ki je neposredno v stiku z merjeno količino, je tipalo, vse meritve, ki jih opravimo, pa se prikažejo na prikazovalniku. Signal, ki ga poda tipalo, lahko prenašamo tudi na daljavo, vendar pa ga je potrebno prej spremeniti v standardni signal, le-tega pa lahko nato posredujemo naslednjemu elementu v regulacijski zanki. Signal, ki je primeren za obdelavo, pripravi dajalnik, drugi del pa opravi merilni pretvornik, ki omogoči pretvorbo v standardni signal [4].

Pretvorniki standardnih signalov nam ene vrste signalov pretvorijo v druge. Poznamo napetostno-tokovne (E/I), pnevmatsko-napetostne (P/E), pnevmatsko-tokovne (P/I), tokovno-pnevmatske (I/P), napetostno-pnevmatske (E/P), in tokovno-napetostne (I/E) pretvornike signalov [4].

Za umerjanje merilnikov potrebujemo procesni simulator. V našem primeru, to je pri uporabi didaktičnega modula PCT56 za umerjanje merilnikov tlaka, je to ročna tlačilka, ki omogoča ustvarjanje nadtlaka v komori, na katero so nameščeni merilniki tlaka. Izhodi iz merilnikov tlaka so povezani na elektronski del modula, ki iz merilnikov sprejema signale bodisi v obliki električnega toka, napetosti ali upornosti. Elektronski del modula za svoje delovanje potrebuje zunanje električno napajanje z izmenično napetostjo 220 V [4].

Kadar za umerjanje uporabljamo analogne merilnike, ki bodo naprej posredovali signal v obliki standardnega tokovnega signala z živo ničlo, je potrebno ničlo (spodnjo vrednost) umeriti na 4 mA, vrednost razpona merilnega območja (zgornja vrednost) pa na 20 mA. Ti dve vrednosti sta nastavljeni tako, da predstavljata 0 % in 100 % vrednosti območja meritev [2].

Pri digitalnem oddajniku pa lahko samo uporabimo analogni digitalni pretvornik. Pri tem zgoj nastavimo vrednosti od 4-20 mA in opravimo kalibracijo. Razlika med digitalnim in analognim je v tem, da digitalno umerjanje ne potrebuje nobenega analognega merilnika kot je manometer. Ni pa nujno, da je digitalno umerjanje učinkovitejše [2].

2. NAMEN DELA

Namen dela je pregledati možnosti, ki jih ponuja didaktični modul PCT56 proizvajalca Armfield za učenje umerjanja merilnikov tlaka. Ta modul omogoča zaznavanje nadtlaka z različnimi merilniki tlaka, ki informacijo o izmerjenem tlaku posredujejo naprej v obliki različnih električnih signalov (napetost, tlak in upor). Proizvajalec tega modula v svojih izvornih navodilih za učenje principa umerjanja merilnikov tlaka predlaga izvedbo laboratorijske vaje, ki nima zelo visoke pedagoške vrednosti. Opremo, ki jo vsebuje modul PCT56, bi želeli boljše izrabiti v pedagoške namene in v tem smislu nadgraditi osnovna navodila proizvajalca za izvedbo laboratorijske vaje.

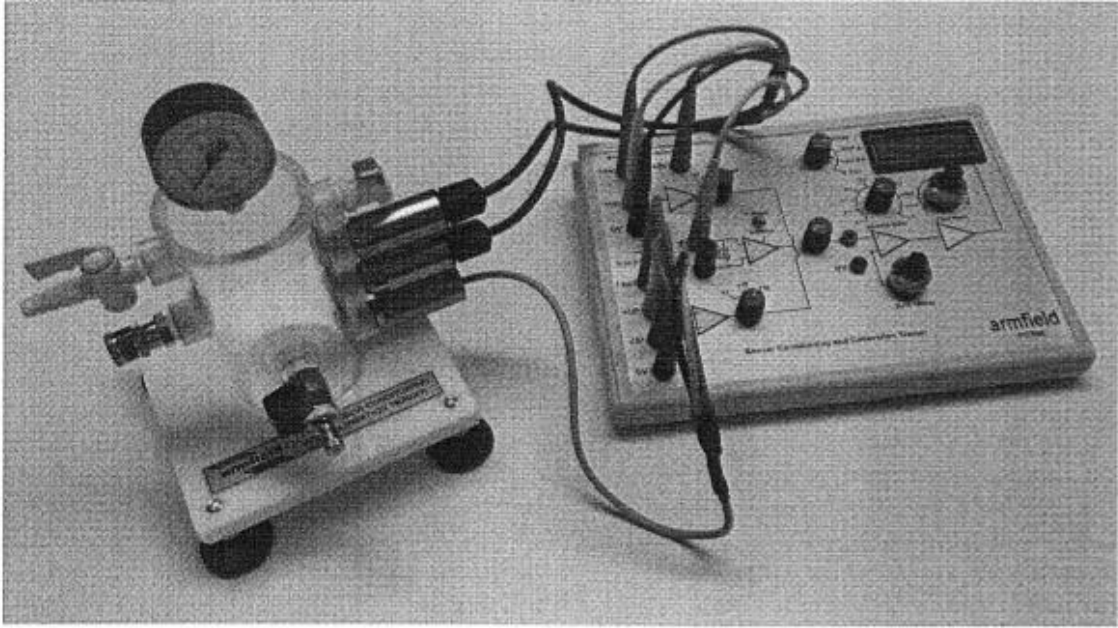
3. MATERIALI IN METODE

3.1 Materiali

OPIS DIDAKTIČNEGA MODULA PCT56

Didaktični modul PCT56 je naprava, zasnovana za učenje kalibracije senzorjev, to učenje pa je izvedeno na primeru merilnikov tlaka. Najpomembnejša kosa modula PCT56 sta fizično ločena pretežno elektronski del modula in pa nadtlačna posoda s senzorji tlaka. Prvi del vsebuje v ohišje zaprto elektronsko vezje, na čelni plošči ohišja pa so nameščeni priključni terminali za izhod iz merilnikov ter manjši LCD zaslon. Drugi del sestavlja iz akrilnega polimera narejena zaprta valjasta posoda volumna približno 1 liter, v njej pa med umerjanjem merilnikov spreminjamo nadtlak glede na laboratorijski tlak, na to posodo pa so vezani trije priloženi piezoelektrični merilniki tlaka ter Bourdonova cev. Merilniki posredujejo informacijo o zaznanem tlaku na elektronski del modula vsak z enim od treh različnih vrst električnega signala: električna napetost, tok in upor. Za vsakega od teh signalov je na čelni plošči predviden ločen vhod, tako doveden signal pa se potem preko elektronskih elementov pod čelno ploščo in potenciometri na čelni plošči prireja (kondicionira) našim zahtevam in se končno izpiše na LCD zaslonu na plošči [5].

Nadtlačna kalibracijska posoda je dodatno opremljena še z varnostnim ventilom, ki preprečuje porast tlaka v nadtlačni posodi nad vrednost 1,3 bar glede na laboratorijski tlak. Poleg tega so na nadtlačni kalibracijski posodi nameščeni tudi priključki za priklop priložene ročne zračne tlačilke, ventil za namerni izpust zraka iz posode ter en priključek za povezavo nadtlačne posode na morebitno nadtlačno omrežje ali na dodatni merilnik tlaka [5].



Slika 1: Fotografija didaktičnega modula PCT56 (VIR: Navodila za uporabo PCT56). Na levi strani fotografije je nadtlačna posoda s tremi električnimi merilniki tlaka in Bourdonovo cevjo, na desni strani pa elektronski del modula s potenciometri, pretikali in tekočerkristalnim zaslonom.

KALIBRACIJSKA POSODA:

Kalibracijska posoda je izdelana iz akrila, nanjo pa so pritrjeni navojni priključki za različne elemente. Največji predviden delovni nadtlak v akrilni posodi je 1 bar, za njegovo doseganje pa je predvidena ročna tlačilka. Slednjo se preko upogljive (fleksibilne) cevi poveže na povratni ventil na sprednji strani akrilne posode. Ta povratni ventil omogoča zaprtje posode med nameščanjem in odstranjevanjem cevi, ki vodi do tlačilke. Na posodi je dodatno ločeno nameščen še varnostni ventil, ki omejuje nadtlak v posodi na vrednost 1,3 bar in s tem preprečuje poškodbo posode zaradi prekomernega tlaka v njej. Za neposreden prikaz trenutnega tlaka v posodi je nanjo nameščena Bourdonova cev, ki služi tudi kot referenčni merilnik tlaka pri umerjanju priloženih piezoelektričnih merilnikov. Želeni tlak v posodi lahko ustvarimo z že omenjeno ročno tlačilko oziroma s pomočjo izpustnega ventila, ki se nahaja na levi strani posode. Na desni strani posode so trije prej omenjeni piezoelektrični senzorji, ki jih je mogoče umeriti (kalibrirati) v območju med 0 in 1 bar nadtlača glede na laboratorijski tlak. Ti trije piezoelektrični merilniki zaznani tlak posredujejo naprej (vsak v svoji obliki) v elektronski del modula v obliki napetostnega, tokovnega in uporabnega signala [5].

SPECIFIKACIJE MERILNIKOV:

Vsi trije električni merilniki tlaka, vključeni v modul PCT56, vsebujejo piezoelektrični senzor. Ti senzori v kombinaciji z ostalimi elementi merilnika omogočajo, da se vrednost zaznanega tlaka posreduje iz merilnika naprej v obliki enega od spodaj navedenih električnih signalov:

Merilnik 1: napajanje z enosmerno napetostjo 0-5V; izhodni signal v obliki enosmerne napetosti v območju od 0,5 do 4,5 V.

Merilnik 2: napajanje z enosmerno napetostjo med 8 in 30 V; izhodni signal v obliki enosmernega toka v območju med 4 in 20 mA.

Merilnik 3: napajanje s konstantnim enosmernim tokom 0,5 mA, izhodni signal pa je od tlaka odvisna upornost merilnika [5].

DELOVANJE PCT56:

Elektronski del modula se preko adapterja, vezanega na zunanje električno napajanje (220 V izmenične napetosti, 50 Hz), napaja z enosmerno 24 V napetostjo. Trije merilniki tlaka, ki so z navojnim priključkom pritrjeni na kalibracijsko posodo, omogočajo izhod signalov v obliki električne napetosti, toka in upornosti. Vsak merilnik je potrebno umerjati posebej. To storimo tako, da povežemo izhodne žice iz merilnikov v zato namenjene priključne sponke in postavimo izbirno stikalo (z le-tem izbiramo, kateri merilnik bomo umerjali) v ustrezen položaj [5].

Ko z ročno zračno tlačilko v kalibracijsko posodo dovedemo dodatno množino zraka, se v njej ustvari nadtlak, zaznani nadtlak pa se na LCD zaslonu (angl. *Liquid Crystal Display*; tekočerkristalni zaslon) izpiše kot številčna vrednost. Z vrtenjem potenciometriških vijakov na čelni plošči lahko dosežemo, da izpisana številčna vrednost (tlačne enote se ne izpisujejo) ustreza dejanski (izmerjeni z Bourdonovo cevjo) vrednosti nadtlaka v kalibracijski posodi [5].

3.2 Poskusi, predvideni s strani proizvajalca modula PCT56 [5].

POSKUS 1 : Umerjanje tlačnega merilnika z napetostnim izhodom

Naloga:

Umeriti tlačni merilnik z napetostnim izhodom.

Metoda:

Za merjenje tlaka se pri vaji uporabi merilnik, ki daje na izhodu šibek električni signal (električni signal napetosti nekaj milivoltov npr. voltmeter, višina signala pa je odvisna od zaznanega tlaka). Med umerjanjem merilnika se višina napetosti naknadno kondicioniranega signala premosorazmerno priredi nadtlaku v kalibracijski posodi in uskladi z želeno tlačno enoto, uspešnost umerjanja pa se na koncu še preveri.

Teoretične osnove:

Merilni senzorji z izhodno napetostjo so lahko neposredno primerni za povezavo z merilnim instrumentom, za prikaz ali za beleženje same meritve. Kljub temu je v večini primerov izhod iz senzorskega dela merilnika praviloma premajhen, da bi ta signal lahko kasneje uporabili in ga je potrebno zato največkrat ojačati, da se ga lahko uporabi. Izjemoma je izhodna napetost lahko kdaj tudi previsoka in jo je potrebno zato znižati. Poleg tega je vrednost signala na izhodu iz senzorskega dela merilnika praviloma različna od nič, ko ima merjena količina vrednost nič. Vse te težave je možno odpraviti z uporabo operacijskega ojačevalnika na izhodu senzorskega dela merilnika.

Operacijski ojačevalnik je napetostni ojačevalnik, ki ima diferencialen vhod in enojni izhod. Napetost med električnim potencialom izhodnega signala in ničelnim potencialom (»ozemljitev«) je odvisna od razlike med električnima potencialoma njegovih vhodnih spolk. Faktor ojačenja te razlike potencialov je možno spreminjati; vhodno napetost je možno ojačiti tudi nekaj tisočkrat. Faktor ojačitve ojačevalnika in morebitni odmik od vhodnega signala lahko spreminjamo s spreminjanjem zunanjih komponent, povezanih s samim napajalnikom. V primeru PCT56 so te zunanje komponente sestavljene iz spreminljivih uporov in stikal potenciometrov, opremljenih s kalibriranimi lestvicami za spreminjanje izravnave, in so nameščene pod čelno ploščo elektronskega dela modula.

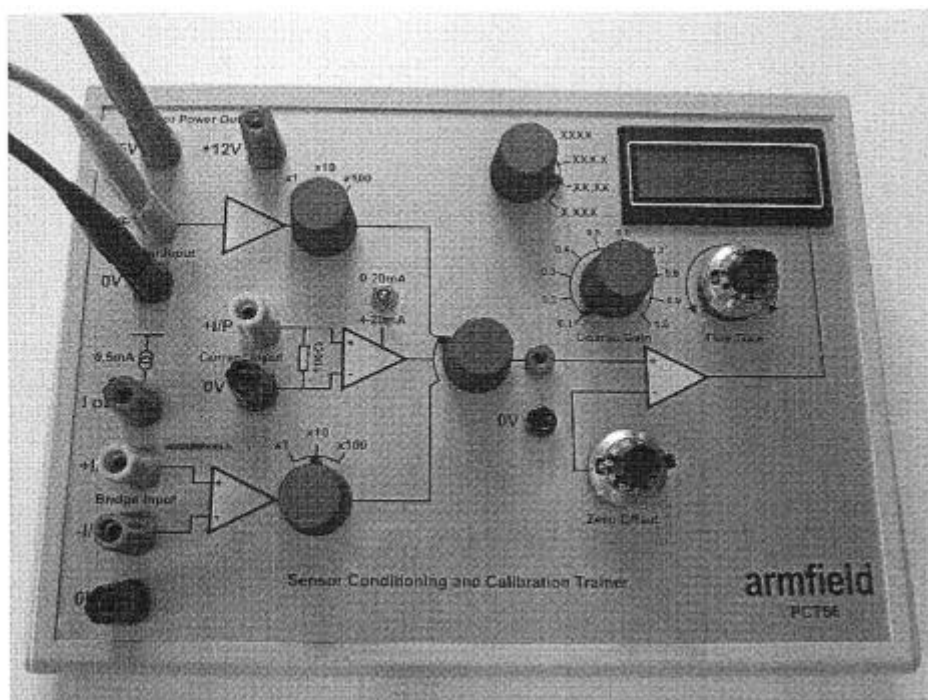
Delo:

Pri vsakem umerjanju je potrebno izhodni signal, ko je vrednost merjene količine (tlak glede na laboratorijski tlak) enaka nič, najprej nastaviti na 0 V. To storimo tako, da izenačimo tlak v kalibracijski posodi z laboratorijskim tlakom (tedaj v posodi ni nadtlaka) in potenciometriški vijak za grobo nastavljanje vrednosti (označen na čelni plošči kot »Coarse grain«) prestavimo na položaj 0.7 ter nato potenciometriški vijak za nastavljanje odmika (vijak »Zero Offset«) vrtimo toliko časa, dokler se na LCD zaslonu ne izpiše vrednost 0. Z vrtenjem vijaka za nastavljanje odmika tedaj prenehamo, vijak »Coarse grain« pa prestavimo nazaj v položaj 0.1.

Zračno tlačilko z vstavljenim podaljškom nato pritrdimo na Schraderjev ventil, nameščen na kalibracijski posodi. Odpremo ventil in posodo toliko napolnimo z zrakom, da Bourdonova cev pokaže tlak malo več kot 1 bar. Ventil nato zapremo in odstranimo tlačilko. Tlak v posodi z izpustom odvečnega zraka skozi izpustno pipo znižamo točno na vrednost 1 bar.

Za uskladitev velikosti signala z izpisano vrednostjo na LCD zaslonu je sedaj potrebno nastaviti še primerno ojačitev na operacijskem ojačevalniku. Ko je tlak v kalibracijski posodi točno 1 bar, prestavimo grobi nastavitveni vijak »Coarse gain« na najvišji položaj, pri katerem je na LCD zaslonu izpisana vrednost še nižja od vrednosti 1.00, nato pa vijak za natančno nastavitve vrednosti ojačitve (»Fine Gain«) vrtimo toliko časa, da se na zaslonu izpiše vrednost 1.00. S tem dejanjem je umerjanje merilnega pretvornika končano.

Da je signal iz merilnega pretvornika res usklajen z merjenim tlakom, preverimo tako, da skozi izpustno pipo izpustimo iz kalibracijske posode toliko zraka, da tlak pade na vrednost 0,50 bar. Če je merilni pretvornik dobro nastavljen, se mora na LCD zaslonu tedaj izpisati vrednost 0.50.



Slika 2: Mesta vezave kablov in položaji pretikal pri merjenju tlaka s senzorjem, ki posreduje napetostni signal (VIR: Navodila za uporabo PCT56).

Rezultati:

Kot rezultat predstavimo graf odčitka z LCD zaslona (umerjani merilnik) v odvisnosti od tlaka v kalibracijski posodi (tlak odčitani z Bourdonove cevi). Študent naj komentira linearnost izrisane zveze na grafu ter vpliv točnosti Bourdonove cevi na izrisani graf.

POSKUS 2: Umerjanje tlačnega merilnika s tokovnim izhodom

Naloga:

Umeriti tlačni merilnik s tokovnim izhodom.

Metoda:

Za merjenje tlaka se pri vaji uporabi merilnik, ki daje na izhodu šibek tokovni signal (tokovni signal nekaj miliamperov npr. amperometer, višina signala pa je odvisna od zaznanega tlaka). Med umerjanjem merilnika se višina napetosti naknadno kondicioniranega in v napetostni signal pretvorjenega izvornega signala premosorazmerno priredi nadtlaku v kalibracijski posodi in uskladi z želeno tlačno enoto, uspešnost umerjanja pa se na koncu še preveri.

Teoretične osnove:

Merilni senzorji s tokovnim izhodom so lahko neposredno primerni za povezavo z merilnim instrumentom, za prikaz ali za beleženje same meritve. Kljub temu je v večini primerov potrebno tokovni izhod iz senzorskega dela merilnika pretvoriti v napetostni signal in ga ojačati, da se ga lahko uporabi. Dodatno je vrednost signala na izhodu iz senzorskega dela merilnika praviloma različna od nič (je zamaknjena oziroma ima odmik; angl. *offset*), ko je vrednost merjene količine nič. Vse te težave je možno odpraviti z uporabo operacijskega ojačevalnika na izhodu senzorskega dela merilnika.

Operacijski ojačevalnik je napetostni ojačevalnik, ki ima diferencialen vhod in enojni izhod. Napetost med električnim potencialom izhodnega signala in ničelnim potencialom (»ozemljitev«) je različna od razlike med električnima potencialoma njegovih vhodnih spolk in faktor ojačenja te razlike potencialov je možno spreminjati; vhodno napetost je možno ojačiti tudi nekaj tisočkrat. Faktor ojačitve ojačevalnika in morebitni odmik od vhodnega signala lahko spreminjamo s spreminjanjem zunanjih komponent povezanih s samim napajalnikom. V primeru PCT56 so te zunanje komponente sestavljene iz spremenljivih uporov in stikal potenciometrov, opremljenih s kalibriranimi lestvicami za spreminjanje izravnave, in so nameščene pod čelno ploščo elektronskega dela modula.

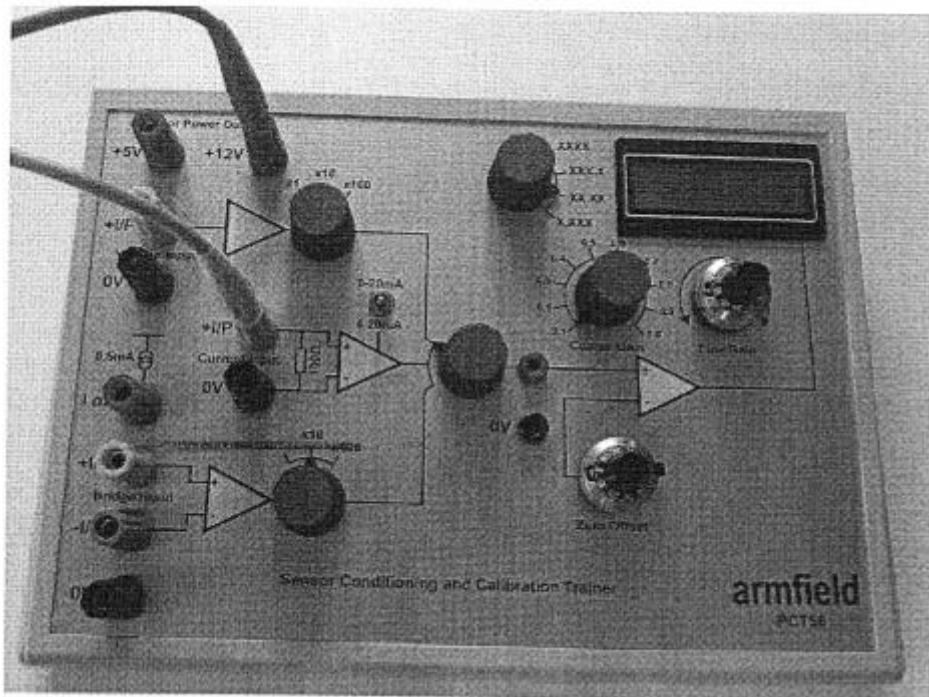
Delo:

Pri vsakem umerjanju je potrebno vrednost višine signala prikazane vrednosti, ko je vrednost merjene količine (tlak glede na laboratorijski tlak) enaka nič, najprej nastaviti na 0 V. To storimo tako, da izenačimo tlak v kalibracijski posodi z laboratorijskim tlakom (tedaj v posodi ni nadtlaka) in potenciometriški vijak za grobo nastavljanje vrednosti (označen na čelni plošči kot »Coarse grain«) prestavimo na položaj 0.7 ter nato potenciometriški vijak za nastavljanje odmika (vijak »Zero Offset«) vrtimo toliko časa, dokler se na LCD zaslonu ne izpiše vrednost 0. Z vrtenjem vijaka za nastavljanje odmika tedaj prenehamo, vijak »Coarse grain« pa prestavimo nazaj v položaj 0.1.

Zračno tlačilko z vstavljenim podaljškom nato pritrdimo na Schraderjev ventil, nameščen na kalibracijski posodi. Odpremo ventil in posodo toliko napolnimo z zrakom, da Bourdonova cev pokaže tlak malo več kot 1 bar. Ventil nato zapremo in odstranimo tlačilko. Tlak v posodi z izpustom odvečnega zraka skozi izpustno pipo znižamo točno na vrednost 1 bar.

Za uskladitev velikosti signala z izpisano vrednostjo na LCD zaslonu je sedaj potrebno nastaviti še primerno ojačitev na operacijskem ojačevalniku. Ko je tlak v kalibracijski posodi točno 1 bar, prestavimo grobi nastavitveni vijak »Coarse grain« na najvišji položaj, pri katerem je na LCD zaslonu izpisana vrednost še nižja od vrednosti 1.00, nato pa vijak za natančno nastavitve vrednosti ojačitve (»Fine Gain«) vrtimo toliko časa, da se na zaslonu izpiše vrednost 1.00. S tem dejanjem je umerjanje merilnega pretvornika končano.

Če je signal iz merilnega pretvornika res usklajen z merjenim tlakom preverimo tako, da skozi izpustno pipo izpustimo iz kalibracijske posode toliko zraka, da tlak pade na vrednost 0,50 bar. Če je merilni pretvornik dobro nastavljen, se mora na LCD zaslonu tedaj izpisati vrednost 0.50.



Slika 3: Mesta vezave kablov in položaji pretikal pri merjenju tlaka s senzorjem, ki posreduje tokovni signal (VIR: Navodila za uporabo PCT56).

Rezultati:

Kot rezultat predstavimo graf odčitka z LCD zaslona (umerjani merilnik) v odvisnosti od tlaka v kalibracijski posodi (tlak odčitani z Bourdonove cevi). Študent naj komentira linearnost izrisane zveze na grafu ter vpliv točnosti Bourdonove cevi na izrisani graf.

POSKUS 3: Umerjanje tlačnega merilnika z uporovnim izhodom

Naloga:

Umeriti merilnik z uporovnim izhodom.

Metoda:

Za merjenje tlaka se pri vaji uporabi merilnik, ki daje na izhodu uporovni signal npr. Ohmmeter. Med umerjanjem merilnika se višina napetosti naknadno kondicioniranega in v napetostni signal pretvorjenega izvornega signala premosorazmerno priredi nadtlaku v kalibracijski posodi in uskladi z želeno tlačno enoto, uspešnost umerjanja pa se na koncu še preveri.

Teoretične osnove:

Merilni senzorji z uporovnim signalom so lahko neposredno primerni za povezavo z merilnim instrumentom, za prikaz ali za beleženje same meritve. Kljub temu je v večini primerov potrebno uporovni izhod iz senzorskega dela merilnika pretvoriti v napetostni signal in ga ojačati, da se ga lahko uporabi. Dodatno je vrednost signala na izhodu iz senzorskega dela merilnika praviloma različna od nič (je zamaknjena oziroma ima odmik; angl. *offset*), ko je vrednost merjene količine nič. Vse te težave je možno odpraviti z uporabo operacijskega ojačevalnika na izhodu senzorskega dela merilnika.

Operacijski ojačevalnik je napetostni ojačevalnik, ki ima diferencialen vhod in enojni izhod. Napetost med električnim potencialom izhodnega signala in ničelnim potencialom (»ozemljitev«) je različna od razlike med električnima potencialoma njegovih vhodnih spenk in faktor ojačenja te razlike potencialov je možno spreminjati; vhodno napetost je možno ojačiti tudi nekaj tisočkrat. Faktor ojačitve ojačevalnika in morebitni odmik od vhodnega signala lahko spreminjamo s spreminjanjem zunanjih komponent povezanih s samim napajalnikom. V primeru PCT56 so te zunanje komponente sestavljene iz spremenljivih uporov in stikal potenciometrov, opremljenih s kalibriranimi lestvicami za spreminjanje izravnave, in so nameščene pod čelno ploščo elektronskega dela modula.

Delo:

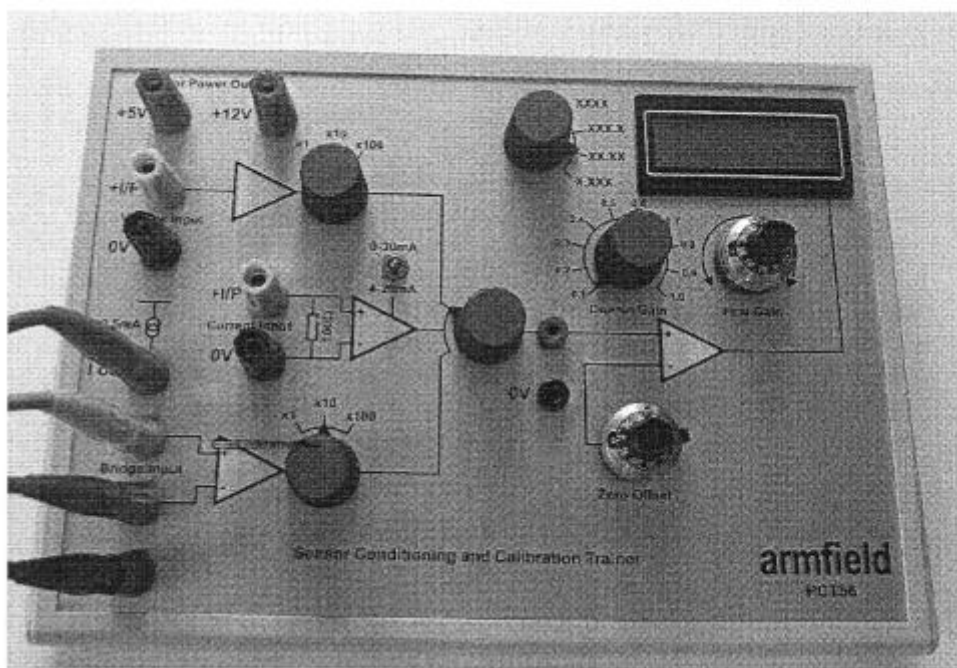
Pri vsakem umerjanju je potrebno vrednost višine signala prikazane vrednosti, ko je vrednost merjene količine (tlak glede na laboratorijski tlak) enaka nič, najprej nastaviti na 0 V. To storimo tako, da izenačimo tlak v kalibracijski posodi z laboratorijskim tlakom (tedaj v posodi ni nadtlaka) in potenciometrijski vijak za grobo nastavljanje vrednosti (označen na čelni plošči kot »Coarse grain«) prestavimo na položaj 0.5 ter nato potenciometrijski vijak za nastavljanje odmika (vijak »Zero Offset«) vrtimo toliko časa, dokler se na LCD zaslonu ne izpiše vrednost 0. Z vrtenjem vijaka za nastavljanje odmika tedaj prenehamo, vijak »Coarse grain« pa prestavimo nazaj v položaj 0.1.

Zračno tlačilko z vstavljenim podaljškom nato pritrdimo na Schraderjev ventil, nameščen na kalibracijski posodi. Odpremo ventil in posodo toliko napolnimo z zrakom, da Bourdonova cev pokaže tlak malo več kot 1 bar. Ventil nato zapremo in odstranimo

tlačilko. Tlak v posodi z izpustom odvečnega zraka skozi izpustno pipo znižamo točno na vrednost 1 bar.

Za uskladitev velikosti signala z izpisano vrednostjo na LCD zaslonu je sedaj potrebno nastaviti še primerno ojačitev na operacijskem ojačevalniku. Ko je tlak v kalibracijski posodi točno 1 bar, prestavimo grobi nastavitveni vijak »Coarse gain« na najvišji položaj, pri katerem je na LCD zaslonu izpisana vrednost še nižja od vrednosti 1.00, nato pa vijak za natančno nastavitve vrednosti ojačitve (»Fine Gain«) vrtimo toliko časa, da se na zaslonu izpiše vrednost 1.00. S tem dejanjem je umerjanje merilnega pretvornika končano.

Če je signal iz merilnega pretvornika res usklajen z merjenim tlakom preverimo tako, da skozi izpustno pipo izpustimo iz kalibracijske posode toliko zraka, da tlak pade na vrednost 0,50 bar. Če je merilni pretvornik dobro nastavljen, se mora na LCD zaslonu tedaj izpisati vrednost 0.50.



Slika 4: Mesta vezave kablov in položaji pretikal pri merjenju tlaka s senzorjem, ki posreduje uporovni signal (VIR: Navodila za uporabo PCT56).

Rezultati:

Kot rezultat predstavimo graf odčitka z LCD zaslonka (umerjani merilnik) v odvisnosti od tlaka v kalibracijski posodi (tlak odčitani z Bourdonove cevi). Študent naj komentira linearnost izrisane zveze na grafu ter vpliv točnosti Bourdonove cevi na izrisani graf.

4. REZULTATI IN RAZPRAVA:

Pri predmetu Meritve in osnove regulacije procesov, smo spoznali metode za merjenje tlaka, zato bi uporabo modula PCT56 lahko vključili v samo vajo in pri tem izpis kondicioniranih signalov s piezoelektričnih merilnikov, ki jih vsebuje modul PCT56, umerili z živosrebrnim U-manometrom, ki naj bi bil bolj točen in hkrati omogoča tudi bolj natančno odčitavanje kot pa modulu priložena Bourdonova cev.

VAJA: MERJENJE TLAKA

1. Naloga:

Umeri enega od piezoelektričnih merilnikov, membranski manometer, Bourdonovo cev in uporovni listič na živosrebrni U-manometer.

2. Osnove vaje

Tlak je mehanska količina, ki določa stanje snovi. Poznamo veliko različnih merilnikov tlaka, ki nam omogočajo merjenje mnogih fizikalnih in tehnoloških količin kot so npr. nivo, pretok ter seveda tudi sam tlak. Namen merilnikov tlaka je izmeriti in posredovati naprej informacijo, kolikšen je tlak na merilnem mestu. Ta informacija je lahko bodisi neposredna (vidna) informacija o izmerjenem tlaku ali pa je posredovana naprej v obliki, ki jo je šele potrebno pretvoriti v neposredno vidno informacijo [3].

Razpon vrednosti tlakov, s katerimi se srečujemo v laboratorijih in pri tehnoloških postopkih je izjemno velik in sega od skoraj popolnega vakuumu do tlaka več tisoč barov. Če hočemo natančno in točno meriti tlak v tako širokem razponu, moramo uporabiti različne merilnike tlakov, katerih delovanje sloni na zelo različnih principih, in so prilagojeni merilnemu območju tlaka, ki ga želimo meriti [3].

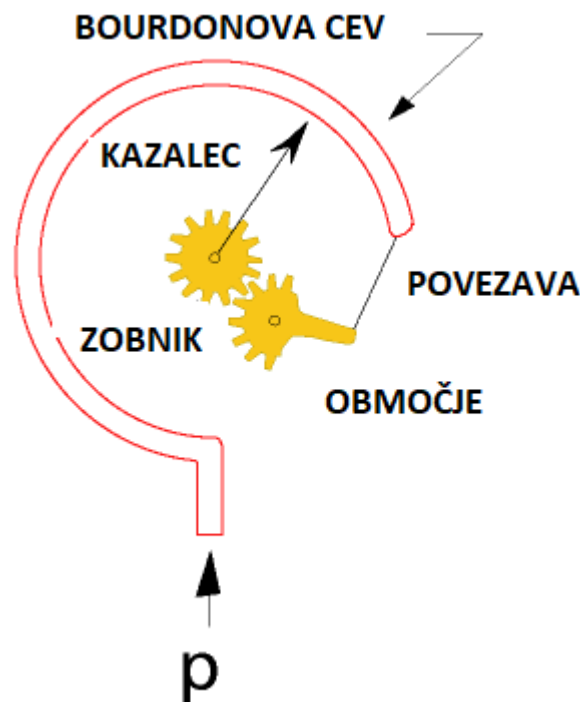
Ena od najbolj osnovnih delitev merilnikov tlaka je delitev na posredne merilnike tlaka (meri se količina, ki se s tlakom spreminja) in na neposredne merilnike tlaka (U-manometer, Slika 5, in prožnostni manometri).



Slika 5: Tekočinski U-manometer.

(Slika povzeta po: <https://www.globaltestsupply.com/product/meriam-10aa25wm-15-u-type-manometer>)

Bourdonova cev je vrsta manometrov, ki jo je razvil E. Bourdon leta 1849. Uporabljajo se lahko v širokem razponu tlaka. S tovrstnimi manometri lahko merimo tlake, ki so le malo večji od vakuuma pa do tlakov velikostnega razreda tisoč barov. Bourdonova cev je sestavljena iz votle cevi v obliki črke C. En konec te cevi je zaprt in prosto visi v zraku, drugi konec Bourdonove cevi pa je odprt in povezan s cevjo, znotraj katere je medij, katerega tlak merimo. Bourdonova cev ima eliptičen preseki. Ob povečanem pritisku medija cev poskuša pridobiti krožni presek, posledično se pojavi mehanski stres in cev teži k temu, da bi se izravnala. Tako se prosti konec cevi premakne navzgor. Na prosti konec je pritrjen odklonski kazalčni mehanizem, ki kaže odčitek tlaka. Čeprav so cevi najpogosteje v obliki črke C, pa so v uporabi tudi drugačne oblike cevi, kot so spiralne ali zvite cevi. Slaba stran Bourdonove cevi je njena histereza. Izraža se tako, da lahko instrument pri dani vrednosti tlaka pokaže dve vrednosti: eno pri naraščanju in drugo pri padanju tlaka. Vzroki zato so slabe elastične lastnosti kovinskih materialov ter nelinearnost pri mehanskem prenosu na kazalčni instrument [6,7].

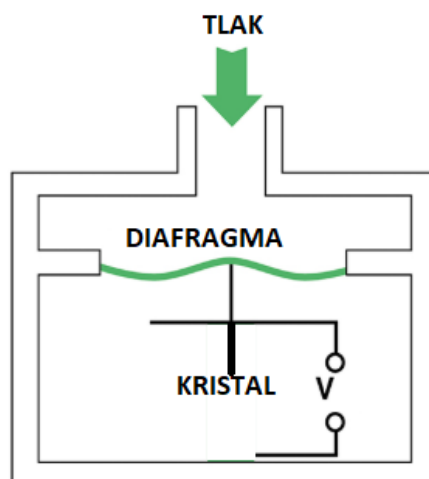


Slika 6: Bourdonova cev.

(Slika povzeta po: <https://instrumentationtools.com/bourdon-tube-pressure-gauge-working-principle-animation/>)

Piezelektričnost je pojav, pri katerem se v materialu pod vplivom pritiskanja sile (kot posledice povečanega tlaka) na dani material pozitivni in negativni električni naboj v tem materialu neenakomerno porazdelita. Zaradi neenakomerne porazdelitve naboja se v materialu (piezelektričnem elementu) tako pojavi električna napetost, to lastnost pa piezelektrični senzorji tlaka izkoriščajo za merjenje tlaka. Piezelektrični merilniki so zelo robustni in se pogosto uporabljajo v industrijskih obratih [8].

Ko sila deluje na piezelektrični material, se v takem kristalu električni naboj loči, kar je mogoče izmeriti kot električno napetost, ki je sorazmerna s tlakom. Obstaja tudi inverzni piezelektrični učinek, ko na material pritismo električno napetost, to pa povzroči spremembo oblike materiala. Dana statična sila povzroči ustrezno električno nabitje znotraj senzorja, vendar pa električni naboj zaradi nepopolne električne izolacije sčasoma usiha. Piezelektrični senzorji običajno tako niso primerni za daljše statične meritve tlaka. Izhodni signal se ob stalnem tlaku postopoma spusti na vrednost nič. So pa piezelektrični merilniki občutljivi na dinamične spremembe tlaka z različnimi frekvencami sprememb in velikosti pritiskov. To pomeni, da so dobri za merjenje majhnih sprememb tlaka in to tudi v okolju z zelo visokim tlakom [8].



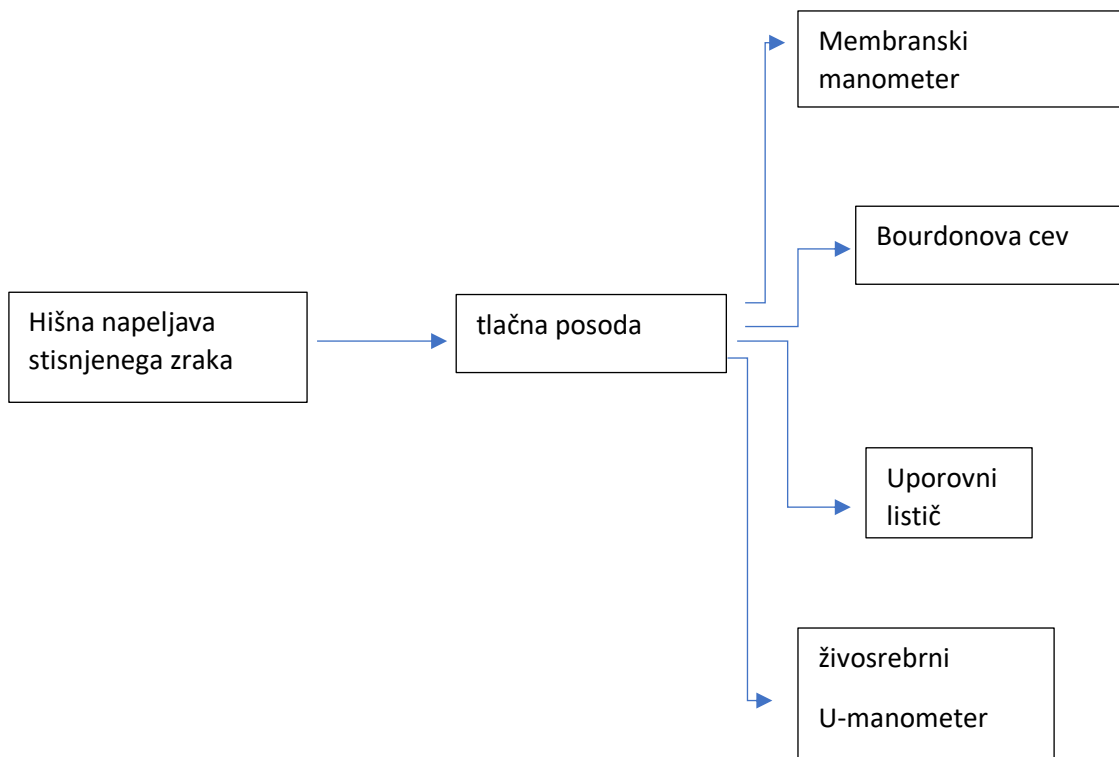
Slika 7: Eden od principov delovanja piezelektričnih merilnikov tlaka. Delovanje sile na membrano se prenese na kristal, posledično pa se znotraj kristala inducira električna napetost, ki je sorazmerna z na membrano delujočim tlakom.

(Slika povzeta po: <https://www.avnet.com/wps/portal/abacus/solutions/technologies/sensors/pressure-sensors/core-technologies/piezoelectric/>)

Točnost manometrov, katerih delovanje sloni na deformaciji elastičnega elementa, je potrebno občasno preverjati. To naredimo tako, da primerjamo izmerjene vrednosti tlaka na testiranem merilniku tlaka z izmerjenimi vrednostmi z referenčnega merilnika, ki kaže točne (ali vsaj predvidoma točne) vrednosti [8].

3. APARATURA

- Hišna napeljava stisnjenega zraka
- Reducirni ventil
- Igelni ventil
- Živosrebrni U-manometer
- Membranski manometer
- Uporovni listič z voltmetrom
- Modul PCT56

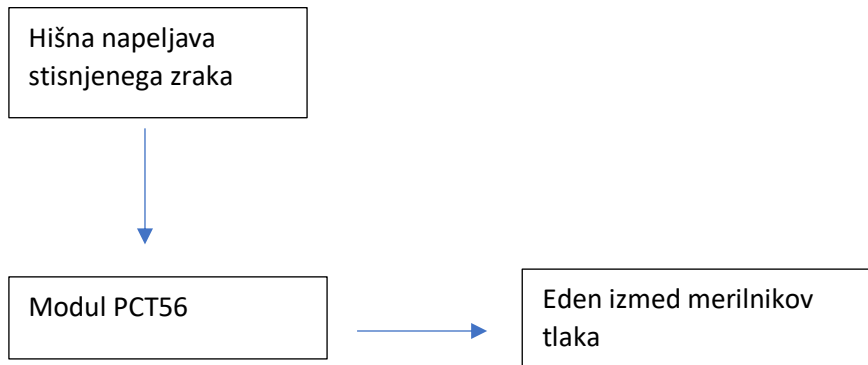


4. POTEK DELA

Kot vir tlaka uporabimo zrak iz napeljave v laboratoriju. Ker je tlak v ceveh previsok, ga z reducirnim ventilom znižamo na vrednost približno 1,2 bar. Tlak v samem sistemu pa nato s pomočjo igelnega ventila zvišujemo od 0 do 1 bara v korakih po 0,05 bara in potem znižujemo po enakih korakih.

Merske podatke zapišemo v tabele in prikažemo na diagramih.

- Odvisnost odčitka na opazovanem manometru od pravega tlaka
- Odvisnost padca napetosti na uporovnem manometru
- Odvisnost razlike med tlakom, ki ga kaže testirani manometer in pravim tlakom (korekcijski diagrami)



Umerite enega izmed merilnikov tlaka s pomočjo modula PCT56 in njegove vrednosti primerjajte s pravimi vrednostmi, ki jih je prikazal živosrebrni U-manometer pri prvem delu vaje.

5. ZAKLJUČEK:

V diplomskem delu sem opisal didaktični modul PCT56 proizvajalca Armfield za učenje umerjanja merilnikov tlaka. Moja naloga je bila proučiti ta modul in raziskati njegovo pedagoško vrednost za učenje umerjanja merilnikov in kondicioniranja izhodnega signala iz merilnikov. Proizvajalec modula je učnemu pripomočku priložil tudi navodila, po katerih se lahko izvede laboratorijsko vajo, kot si jo je zamislil proizvajalec. Pregled priloženih navodil za vajo proizvajalca je pokazal, da taka izvedba vaje ne prikaže dobro fizikalnih osnov za kondicioniranje izhodnih signalov iz merilnikov, temveč je to izvedeno le kot rutinski postopek brez podrobnega opisa ozadja dela.

Zamišljeno je bilo, da bi v sklopu diplomskega dela z merilniki neposredno meril izhodne vrednosti signalov iz merilnikov in skušal vajo nadgraditi tako, da bi bilo skozi izvedbo vaje možno pridobiti vpogled tudi v dejansko spreminjanje signalov med postopkom umerjanja, saj pri postopku, predlaganem s strani proizvajalca, na zaslonu lahko spremljamo le končen signal, ki je že kondicioniran in številčno preračunan v tlačne enote, ne merimo pa vmesnih signalov. Tega dela diplomske naloge zaradi omejitve dostopa v laboratorij vsled izbruha epidemije koronavirusne bolezni nisem mogel opraviti. Namesto tega sem opisal laboratorijsko vajo, pri kateri bi modul PCT56 vključili v obstoječo laboratorijsko vajo Merjenje tlaka pri predmetu Meritve in osnove regulacije procesov na Fakulteti za kemijo in kemijsko tehnologijo v Ljubljani.

6.LITERATURA:

- [1] :<https://www.surecontrols.com/why-calibration-of-your-measuring-instruments-is-important/> (pridobljeno 5. 7 2020).
- [2] : https://www.youtube.com/watch?v=n_IZCIA25aI (pridobljeno 5. 7 2020).
- [3] M. Tomšič: Meritve in regulacije procesov (gradivo za predavanja). Ljubljana: Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo 2019.
- [4] J.Cerar: Meritve in regulacije procesov (gradivo za predavanja). Ljubljana: Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo 2020.
- [5] PCT56, Armfield Teaching & Research Equipment. 2015. (Navodila za uporabo modula)
- [6] :<https://www.youtube.com/watch?v=JnPSeEW-EeA> (pridobljeno 3. 7 2020).
- [7] :<https://instrumentationtools.com/bourdon-tube-pressure-gauge-working-principle-animation/> (pridobljeno 4. 7 2020).
- [8] :<https://www.avnet.com/wps/portal/abacus/solutions/technologies/sensors/pressure-sensors/core-technologies/piezoelectric/> (pridobljeno 5. 7 2020).