

Etaloniranje manometara sa Burdonovom cevi

Dragan Lazić, Vitimir Mrvaljević, Mirjana Mladenović, Jasminka Jelisavac

Apstrakt — U ovom radu opisan je postupak etaloniranja manometara sa Burdonovom cevi na radni fluid ulje primenom metode definisane u direktivi DKD-R 6-1 Calibration of pressure gauges. Dat je proračun merne nesigurnosti za određenu klasu manometara koji se koristi u radnom procesu i ispitivanjima koja se sprovode u Tehničkom opitnom centru.

Ključne reči — pritisak; manometer; Burdonova cev; merna mesigurnost.

I. UVOD

Pritisak je posle temperature jedna od najčešće merenih neelektričnih veličina u tehnici i industriji uopšte. Merenje pritiska je od izuzetnog značaja u postrojenjima procesne industrije, jer se na osnovu njega mogu dobiti informacije o stanju materije, materijalnom ili energetskom bilansu, uslovima hemijske reakcije i sigurnosti aparata ili pogona. Pritisci se mere u rasponu od visokih pritiska iznad 10^{10} Pa, pa do ultravakuuma reda veličine 10^{-10} Pa [1].

Jedinica za pritisak koju propisuje SI sistem je Paskal (Pa) i definiše se kao sila od 1 N koja ravnomerno deluje na površinu od 1m^2 . Međutim, kako je ova jedinica veoma mala, u upotrebi je najčešće jedinica bar, koja je dopuštena SI sistemom i iznosi 10^5 Pa. Jedinice kao što su kg/cm^2 , kp/cm^2 i/ili atm, nisu jedinice zakonske metrologije ali se mogu naći na manometrima starije generacije.

Razlikuju se tri kategorije merenja pritiska:

- merenje apsolutnog pritiska kao razlike pritiska u određenoj tački fluida i pritiska apsolutne nule, koji ima vakuum,
- merenje atmosferskog (barometarskog) pritiska,
- merenje diferencijalnog pritiska kao razlike pritisaka u različitim tačkama fluida.

Pritisak se meri u opsegu od (10^{-10} - 10^{10}) Pa. S obzirom na usvojene kategorije pritiska u tehničkoj praksi, pritisak se najčešće meri u četiri oblasti:

- oblast niskog apsolutnog pritiska odnosno tehničkog vakuuma (10^{-10} - 100) Pa,
- oblast barometarskog pritiska,

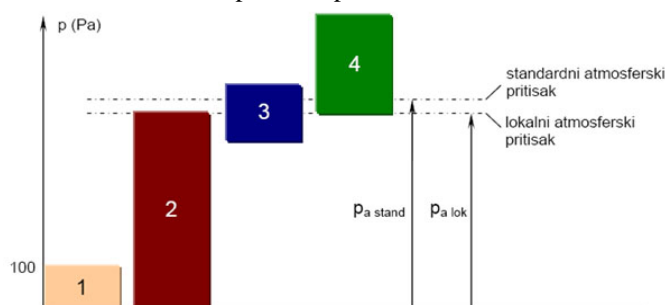
mr Dragan Lazić, dipl. inž., Načelnik ML-03 – Tehnički opitni centar, Sektor za metrologiju - Beograd, Vojvode Stepe 445, 11221 Beograd, Srbija (e-mail: metrologija@toc.rs).

Vitimir Mrvaljević, dipl. inž., vodeći istraživač – Tehnički opitni centar, Sektor za metrologiju -, Beograd, Vojvode Stepe 445, 11221 Beograd, Srbija (e-mail: metrologija@toc.rs).

Mirjana Mladenović, dipl. inž., vodeći istraživač – Tehnički opitni centar, Sektor za metrologiju -, Beograd, Vojvode Stepe 445, 11221 Beograd, Srbija (e-mail: metrologija@toc.rs).

Jasminka Jelisavac, maš. tehn., viši tehnički saradnik – Tehnički opitni centar, Sektor za metrologiju -, Beograd, Vojvode Stepe 445, 11221 Beograd, Srbija (e-mail: metrologija@toc.rs).

- oblast malih diferencijalnih pritisaka u odnosu na atmosferski, potpritiska $p-p_a < 0$ i natpritiska $p-p_a > 0$ u opsegu (0 - 2500) Pa,
 - oblast visokog relativnog pritiska (natpritiska) (0 - 10^{10}) Pa.
- Oblasti definisanih pritisaka prikazane su na Sl. 1.



Sl. 1. Oblasti tehničkog merenja pritiska.

- vakuum je stanje u kome je pritisak nula, a isti naziv se koristi za merenje niskih pritisaka manjih od 100 Pa.
- apsolutni pritisak je pritisak koji se izmeri u odnosu na pritisak jednak nuli.
- relativni pritisak je pritisak meren s obzirom na pritisak okoline.
- nadpritisak je pritisak viši od pritiska okoline.
- podpritisak je pritisak niži od pritiska okoline.

Najčešće korišćeni merni elementi za merenje apsolutnog i diferencijalnog pritiska (razlike pritisaka) se zasnivaju na sledećim principima:

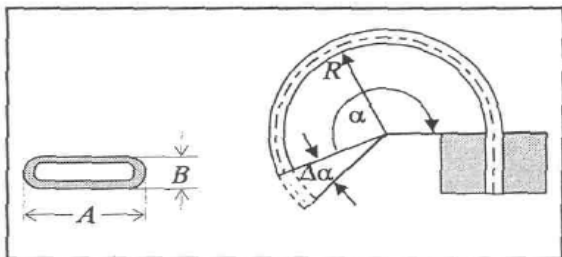
- potiskivanje manometarskih tečnosti,
- deformacija elastičnih elemenata,
- piezoelektrični efekat,
- magnetno striktivni efekat,
- promena električnog otpora,
- kompresioni efekat,
- konvekcionni efekat,
- gasno – kinetički efekat,
- jonizacioni efekat.

Elastični merni element (manometarska ili burdonova cev, membrana, aneroid, kapsula) je merni element manometra čija se elastična deformacija, koja je posledica merenog pritiska, koristi za neposredno očitavanje pritiska. Tip, oblik i materijal od kojeg se izrađuje elastični merni element, zavise od opsega merenja nadpritiska, zahtevane tačnosti, osetljivosti, vrste radnog fluida i ambijenta na mestu rada [2].

II. BURDONOV MANOMETAR

Burdonov manometar se zasniva na pojavi da se savijena cev, sa eliptičnim ili sličnim poprečnim presekom, različitim od kružnog, elastično deformiše pod uticajem pritisaka unutar cevi i to tako da se smanjuje poluprečnik luka pod kojim je

cev savijena. Na Sl. 2 je prikazana Burdonova cev ovalnog poprečnog preseka.



Sl. 2. Princip rada Burdonovog manometra

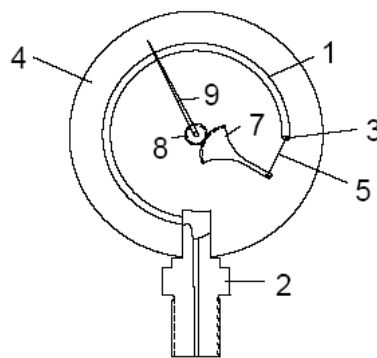
Desni kraj cevi je fiksiran, a levi zatvoren i slobodan. Ako je cev u normalnom položaju tada gradi ugao α . Osetljivost Burdonove cevi raste sa povećanjem ugla savijanja α , s tim u vezi grade se cevi helikoidnog, spiralnog ili uvijenog oblika. Osetljivost se takođe povećava sa smanjenjem debljine cevi, povećanjem spoljašnosti poprečnog preseka, smanjenjem radijusa krivine i smanjenjem modula elastičnosti. Pod naprezanjem zbog unutrašnjeg pritiska slobodan kraj vrši složeno kretanje: tangencijalno i radijalno udaljavajući se od centra. Tako se smanjuje dužina luka jer se ugao smanjuje za $\Delta\alpha$.

Burdonove cevi imaju izvestan histerezis pri cikličnim promenama pritiska, koji iznosi 0,25-0,5% od maksimalnog pritiska. Izrađuju se najčešće od elastičnih i hemijski otpornih metala, a može biti i od plastike ili kvarca. Pri promeni razlike pritisaka između unutrašnjosti i spoljašnjosti Burdonove cevi, dolazi do njene deformacije i pomeranja njenog slobodnog kraja. Opseg merenja Burdonovih manometara je od (-0,6 - 7000) bar [3].

Najčešće se koriste Burdonovi manometri sa mehaničkim prenosom promene ugla savijanja cevi pomoću zupčaste poluge i zupčanika. Tačnost merenja ovakvog instrumenta je 2-5%, a histerezis oko 0,5%.

Kvarcne Burdonove cevi sa opto-električnim prenosom signala imaju znatno veću tačnost do 0,2%, a histerezis je zanemarljiv. Burdonov manometar se koristi gotovo isključivo kao pretvarač pri merenju temperature manometarskim termometrima. U slučaju mehaničkog izlaznog signala, Burdonov manometar ima relativno loše dinamičke karakteristike, tako da se preporučuje samo za merenje pritisaka koji se sporo menjaju.

Na Sl. 3 je prikazan normalni Burdonov manometar sa cevi C – tipa. U njemu se deformacije uveličavaju i prenose mehaničkim putem, sistemom poluga. Burdonova cev (1) se svojim krajem (2) vezuje za vod pod pritiskom. Pokretanje slobodnog kraja (3) prenosi se preko spoljne opruge (5) na segmentni zupčanik (7) koji se obrće u ravni crteža oko ose normalne na nju. Segmentni zupčanik naleže na zupčanik koji je pričvršćen za osu obrtanja (8), kazaljke (9). Segmentni zupčanik igra ulogu raznokrake poluge. Mehanizam je takav da malo pokretanje kraja Burdonove cevi dovodi do uočljivog kretanja same kazaljke, koja svojim položajem prema skali određuje mereni pritisak.



Sl. 3. Normalni Burdonov manometar sa cevi C - tipa

Na skali može da postoji i graničnik koji se nalazi u nuli i ne dozvoljava da kazaljka ode u negativnom smeru, mehanizam za podešavanje nule (nultog položaja) i kočnica pokaznog mehanizma (koja se koristi pri transportu). Takođe, metalno kućište manometra može da bude ispunjeno nekom neagresivnom tečnošću (glicerin ili neka sintetička ulja) koja sprečava oštećenja pokaznog mehanizma pri naglim i brzim promenama pritiska.

III. KARAKTERISTIKE MANOMETARA SA BURDONOVOM CEVI

U standardu SRPS EN 837-1:2015 [3] definisan je oblik, veličina, priključak za određenu klasu i merni opseg za svaki tip manometra sa Burdonovom cevi. Metrološke karakteristike manometra određene su fizičkim osobinama elastičnog mernog elementa.

U zavisnosti od kvaliteta izrade pretvaračkog elastičnog elementa zavisice i klasa tačnosti manometra. Manometri se izrađuju u sledećim klasama tačnosti: 0,1; 0,2; 0,25; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 1; 1,6; 2; 2,5; i 4, koje označavaju grešku merenja izraženu ili u % od kraja skale (što se u najvećem broju slučajeva ne označava na skali, a ako je označeno onda je oznaka % fs – full scale) ili u % od očitane (izmerene) vrednosti (kada na skali piše % of reading).

Klase 0,1 do 0,6 manometara primarno se koriste za precizna merenja u laboratorijama i radionicama. Klase 1 i 1,6 manometara koriste se za merenje pritiska na mašinama i u proizvodnim pogonima. Klase manometara 2,5 i 4 koriste se u nadzorne svhe bez posebnih zahteva tačnosti.

Greška prikazana na skali manometra odnosi se na temperaturu referentnu temperaturu ambijenta pod kojom su definisane metrološke karakteristike (pod uslovima od +20°C). Različite temperature imaju uticaj na tačnost merenja. Prema standardu, odstupanje pokazivanja uticaja temperaturom dozvoljeno je do sledećih vrednosti u odnosu na punu vrednost skale. Varijacije indikacijom izazvanih efektima temperatura ne sme prekoračiti procenat vrednosti date:

$$0,04 \cdot (t_2 - t_1) \% \text{ od opsega} \quad (1)$$

gde je:

t_1 – referentna temperatura u °C,

t_2 – ambijentalna temperatura u °C.

U Tabeli 1 dat je pregled maksimalnih dozvoljenih grešaka u procentima na opsegu manometara u zavisnosti od klase tačnosti na temperaturi od 20°C.

Viskoznost punjene tečnosti u manometru će se povećavati sa smanjenjem temperature, a to znatno utiče na brzinu odziva i prikaz merne vrednosti.

TABELA 1
MAKSIMALNO DOZVOLJENE GREŠKE U ZAVISNOSTI OD KLASA TAČNOSTI
MANOMETRA

Klasa tačnosti	Maksimalna dozvoljena greška u %
0,1	0,1 %
0,25	0,25 %
0,6	0,6 %
1	1 %
1,6	1,6 %
2,5	2,5 %
4	4 %

Metrološke karakteristike merila određene su fizičkim osobinama elastičnog mernog elementa. Otuda je i metod etaloniranja ovih merila univerzalan, s tim što se postupci etaloniranja u pojedinim slučajevima razlikuju zbog nemogućnosti izbora etalona koji bi mogao pokriti sve opsege pritiska sa zadovoljavajućom tačnosti uz korišćenje odgovarajućeg fluida. Karakteristike elastičnog mernog elementa koje određuju kvalitet mernog sredstva su: histerezis, nelinearnost, osetljivost, početni i krajnji položaj, stabilnost.

Histerezis je razlika vrednosti otklona referentne tačke elastičnog mernog elementa za istu vrednost pritiska, pri smanjenju i povećanju delujućeg pritiska.

Nelinearnost elastične karakteristike predstavlja odstupanje realne elastične karakteristike mernog elementa pri povećanju delujućeg pritiska od konvencionalne linearne prave.

Osetljivost se definiše kao količnik porasta otklona otklona referentne tačke elastičnog elementa sa porastom delujućeg pritiska.

Početni položaj referentne tačke elastičnog elementa pritiska koji je za odgovarajuće merilo izabran za nulu.

Krajnji položaj je položaj referentne tačke elastičnog elementa pri pritisku koji je jednak nominalnom maksimalnom pritisku iz linearnog opsega elastičnog elementa.

Stabilnost elastične karakteristike je sposobnost elastičnog elementa da sačuva konstantnost otklona referentne tačke pri ponovljenim tretiranjem istim vrednostima pritiska.

Tačnost manometra određuje granice grešaka unutar kojih se nalazi svako pojedinačno pokazivanje merenog pritiska očitano u normalnim i nazivnim uslovima za dato merno sredstvo.

Ponovljivost je razlika između pokazivanja merila pri uzastopnim merenjima iste vrednosti pritiska do koje se dolazi povećanjem ili smanjenjem merenog pritiska. Ponovljivost ne sadrži odsupanja pokazivanja usled histerezisa.

IV. OPŠTE PREPORUKE DIREKTIVE DKD-R 6-1

Direktiva DKD-R 6-1 propisuje smernice koje sadrže opis tehničkih procesa saglasnih standardu SRPS ISO/IEC 17025:2006 koje primenjuju akreditovane laboratorije za etaloniranje. Primenom ovih smernica, obezbeđeno je da merila koji se etaloniraju se tretiraju jednako u raznim laboratorijama za etaloniranje i da je kontinuitet i uporedivost rezultata rada akreditovanih laboratorija poboljšan.

Ovo uputstvo služi da se utvrde minimalni zahtevi za postupak etaloniranja i procenu merne nesigurnosti pri etaloniranju merila pritiska. To se odnosi na Bourdonova merila pritiska, merila pritiska sa električnim izlazom i transmiere pritiska sa električnim izlazom.

U zavisnosti od tehničkih mogućnosti laboratorije, kao i od željene procene merne nesigurnosti, direktiva prepoznaje tri sekvence pri etaloniranja merila i propisuje korake koji se primenjuju u svakoj od sekvenci. Postupci etaloniranja merila pritiska dati su u Tabeli 2.

TABELA 2
SEKVENCE PRI ETALONIRANJU MERILA PRITISKA

Sekvenca etaloniranja	Željena merina nesigurnost u % od opsega	Minimum broja merenja	Broj opterećenja	Promena opterećenja + Vreme zadržavanja u mernoi tački	Vreme zadržavanja na maksimumu merenja	Broj serija merenja	
						porast	opadanje
A	< 0,1	9	3	> 30	2	2	2
B	0,1 ... 0,6	9	2	> 30	2	2	1
C	> 0,6	5	1	> 30	2	1	1

Svaka laboratorija pri definisanju svojih procedura primenjuje definisane merne sekvence i etaloniranje sprovodi u koracima definisanim u Tabeli 2. Grafičko pojašnjenje sekvenci pri etaloniranju merila pritiska dato je na Sl.4.

U toku etaloniranja vodi se zapisnik o merenju koji se vodi u formi definisanoj od strane laboratorije. Definisana forma zapisnika pored navedene sekvence etaloniranja, podataka o mernoj opremi, uslovima etaloniranja sadrži i Tabelu 3.

Na osnovu definisanih sekvenci, pri etaloniranju kod merila pritiska određuje se histerezis, ponovljivost, reproduktivnost i greška nule.

Nula greške merenja f_0 proverava se pre svakog započetog ciklusa merenja u porastu i u opadanju pritiska. Očitavanje vrednosti pritiska vrši se kada je merilo potpuno rasterećeno. U slučaju merila pritiska za nadpritisak, čiji je osnovni merni opseg različit od atmosferskog pritiska (npr -1 bar do 9 bar), drift mora da se odredi za nulte tačke. Određivanje nulte

tačke, se izostavlja u slučaju mjerila apsolutnog pritiska, gde nulta tačka nije uključena u opsegu etaloniranja, npr. barometri.

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

Merene vrednosti x su vrednosti u nultim tačkama za serije merenja od M_1 do M_6

Ponovljivost merenja b' znači međusobnu bliskost rezultata uzastopnih merenja iste veličine u istim uslovima merenja. Ponovljivost uz nepromenjenu montažu određuje se iz razlike vrednosti izmerenih u odgovarajućem nizu merenja korigovane za vrednost nultog merenja (indeks j je merena vrednost pritiska, dok $j=0$ je vrednost pritiska na nuli)

$$b'_{rastuci,j} = |(x_{3,j} - x_{3,0}) - (x_{1,j} - x_{1,0})| \quad (3)$$

$$b'_{opadajuci,j} = |(x_{4,j} - x_{4,0}) - (x_{2,j} - x_{2,0})| \quad (4)$$

$$b'_{srednja\ vrednost,j} = \max\{b'_{rastuci,j}, b'_{opadajuci,j}\} \quad (5)$$

Reproduktivnost merenja b je bliskost slaganja rezultata merenja iste merene veličine, u slučaju kada se pojedinačna merenja vrše u promenjenim uslovima. U ovom slučaju manometer se skida sa etalona i vrši se treći niz merenja (M_5 i M_6)

$$b_{rastuci,j} = |(x_{5,j} - x_{5,0}) - (x_{1,j} - x_{1,0})| \quad (6)$$

$$b_{opadajuci,j} = |(x_{6,j} - x_{6,0}) - (x_{2,j} - x_{2,0})| \quad (7)$$

$$b_{srednja\ vrednost,j} = \max\{b_{rastuci,j}, b_{opadajuci,j}\} \quad (8)$$

Histerezis h se određuje između odgovarajućih pokazivanja –izlaznih vrednosti merenja pri rastućem i opadajućem pritisku.

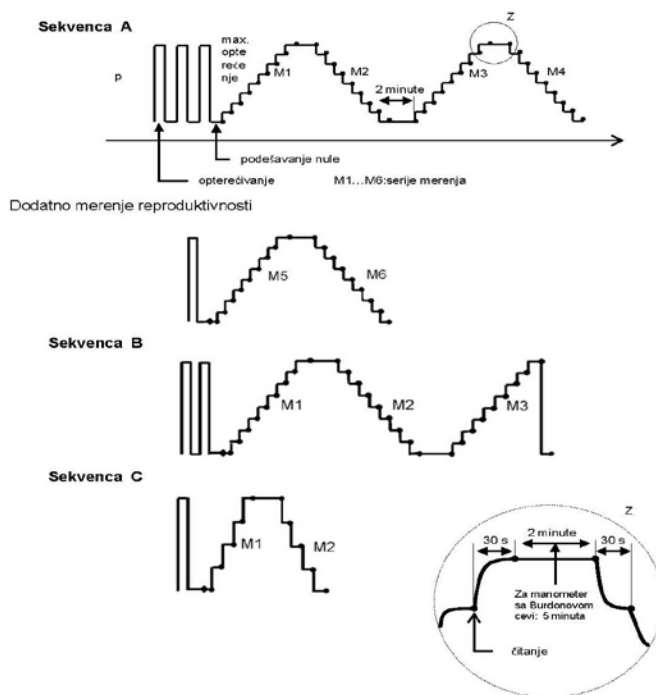
$$h_{sr.vr,j} = \frac{1}{n} \left\{ |(x_{2,j} - x_{1,0}) - (x_{1,j} - x_{1,0})| + |(x_{4,j} - x_{3,0}) - (x_{3,j} - x_{3,0})| + |(x_{6,j} - x_{5,0}) - (x_{5,j} - x_{5,0})| \right\} \quad (9)$$

gde je n broj merenih ciklusa.

TABELA 3

TABELA MERENIH VREDNOSTI ZA SVAKU OD SEKVENCI KOJA SE POPUNJAVA PRI ETALONIRANJU MERILA

Pritisak na etalonu	Merena vrednost pritiska na merilu koje se etalonira P_{ind}					
	Kalibraciona sekvenca A				Dodatno merenje reproduktivnosti	
$P_{stand.}$	Kalibraciona sekvenca B					
	Kalibraciona sekvenca C					
	M1 (porast)	M2 (opadanje)	M3 (porast)	M4 (opadanje)	M5 (porast)	M6 (opadanje)
bar, Pascal..	bar, Pascal,					
min.	min.	min.	min.	min.	min.	min.
↓	↓	↑	↓	↑	↓	↑
max.	max.	max.	max.	max.	max.	max.



Sl. 4. Grafički prikaz kalibracionih sekvenci

V. OPIS AKTIVNOSTI PRILIKOM ETALONIRANJA MANOMETRA

Za etaloniranje manometra koristi se merna oprema data u Tabeli 4. Merna oprema koja se koristi za etaloniranje mora biti etalonirana u skladu sa šemom sledivosti merenja u ML-03. Pre početka etaloniranja potrebno opremu temperirati minimalno dva sata. Mikroklimatski referentni uslovi laboratorije se nalaze u opsegu $(22 \pm 2)^\circ\text{C}$ i $(60 \pm 15) \% \text{RV}$. [4]

TABELA 4
MERNA OPREMA KOJA SE KORISTI U PROCESU ETALONIRANJA MANOMETRA

Naziv merne opreme	Merni opseg	Dozvoljena greška
Klipni manometar sa tegovima (KMT)	(0 do 1200) bar	$\pm 0,05 \%$
Termohigrometar TESTO 175H1	(2 do 98) %RH (-10 do + 70) °C	$\pm 2 \%$ $\pm 0,4 \%$
Digitalni barometer Bell&Holl	(800 do 1100) mbar	$\pm 0,025 \%$
Pomoćna merna oprema	Metalne cevi i adapteri za povezivanje	

Provera svih metroloških karakteristika definisanih u [4] vrši se povezivanjem merne opreme kao na Sl 4. manometer se direktno povezuje na priključak klipnog manometara sa tegovima (KMT). Na KMT se stavljaju tegovi čija je vrednost (masa) tolika da se na skali manometra očitavaju "okrugle" vrednosti pritiska u svakoj mernoj tački. Ovaj postupak se ponavlja kako pri povećavanju tako i pri smanjivanju pritiska.



Sl. 5. Blok-šema za etaloniranje manometra

Manometar se pre početka etaloniranja, nakon provere funkcionalne ispravnosti, podešava na sledeći način:

- na KMT-u se podesi da pritisak bude toliki (opterećivanjem klipa odgovarajućom masom tegova) da priključeni manometar pokaže pritisak jednak maksimalnom pritisku i na tom pritisku se ostavi da bude 10 do 15 minuta;
- nakon toga se kompletna instalacija rastereti (pritisak se smanji na nulu) i posmatra se da li se kazaljka vratila na nulu ili nije, da li je udarila u graničnik (ako na skali postoji graničnik) ili je otišla ispod nultog položaja (ako manometar nema graničnik na skali);
- ako manometar ima mehanizam za podešavanje, izvrši podešavanje na nulu (podešavanje se vrši uz odobrenje korisnika i dokumentovanje rezultata pre i nakon podešavanja);
- posle toga se prethodni postupci ponavljaju sve dok se, nakon podizanja i spuštanja pritiska, manometar ne vrati u nulu bez podešavanja.

NAPOMENA: Ako podešavanje nije moguće, a manometar nije u nultom položaju, obavestiti korisnika merne opreme i prekinuti sa etaloniranjem.

Po završetku etaloniranja treba raskinuti sve veze između manometra i upotrebljene merne opreme. U toku rada pridržavati se svih mera bezbednosti rada u laboratoriji, zaštititi na radu i zaštititi životne sredine.

VI. PRORAČUN MERNE NESIGURNOSTI

Pri proračunu merne nesigurnosti manometara zbog malog broja vrednosti merenih veličina (<10 merenja) neanalizira se uticaj merne nesigurnosti Tip A. U proračun ulaze podaci iz uverenja o etaloniranju, ambijentalni uslovi uticaj histerezisa, ponovljivosti emrenja, rezolucije merila uticajne veličine koje pripadaju mernoj nesigurnosti Tip B.

Model koji je korišćen pri proračunu merne nesigurnosti, ujedno je i model koji se koristi pri određivanju greške pokazivanja izmerene vrednosti pri porastu i opadanju pritiska.

$$\Delta p = p_{merila} - p_{etalona} + \delta p_{devijac.nule} + \delta p_{ponovljivost} + \delta p_{histerezis} + \delta p_{\Delta x} + \delta p_{rezolucija} \quad (10)$$

Δp – devijacija pritiska (bar)

p_{merila} – vrednost pritiska prikazana na merilu (bar)

$p_{etalona}$ – vrednost pritiska prikazana na etalonu (bar). Raspodela normalna, koeficijent osetljivosti -1, merna nesigurnost se uzima iz deklaracije proizvođača, vrednost deli se sa $\sqrt{3}$. Doprinos nesigurnosti je: $u(p_{etalona})$

$\delta p_{devijac.nule}$ – devijacija merenog pritiska na nuli (bar). Raspodela je pravougaona, koeficijent osetljivosti 1, standardna nesigurnost deli se sa $\sqrt{3}$. Doprinos nesigurnosti je: $u(\delta p_{devijac.nule})$

$\delta p_{histerezis}$ – devijacija zbog histerezisa pritiska (bar). Raspodela je pravougaona, koeficijent osetljivosti 1,

standardna nesigurnost deli se sa $\sqrt{3}$. Doprinos nesigurnosti je: $u(\delta p_{histerezis})$

$\delta p_{ponovljivost}$ – devijacija zbog ponovljivosti pritiska (bar). Raspodela je pravougaona, koeficijent osetljivosti 1, standardna nesigurnost deli se sa $\sqrt{3}$. Doprinos nesigurnosti je: $u(\delta p_{ponovljivost})$

$\delta p_{rezolucija}$ – devijacija zbog rezolucije merila (bar). Raspodela je pravougaona, koeficijent osetljivosti 1, standardna nesigurnost deli se sa $2\sqrt{3}$. Ako je vrednost najmanjeg podeoka manometra 5 bar za analogni manometar se uzima da je 1/5 vrednosti podeoka. Doprinos nesigurnosti je: $u(\delta p_{rezolucija})$

$\delta p_{\Delta x}$ – razlika pritiska referentnog nivoa etalona i merila (bar/m). Raspodela je pravougaona, koeficijent osetljivosti 1, standardna nesigurnost deli se sa $\sqrt{3}$. Doprinos nesigurnosti je: $u(\delta p_{\Delta x})$

Kako su sve uticajne veličine dobijaju ponovljenim merenjem tj. kao srednja vrednost u penjanju i opadanju pritiska, treba napomenuti da pri proračunu merne nesigurnosti sve vrednosti se dele sa 2.

Pri proračunu merne nesigurnosti korišćen je manometar sa elastičnim mernim elementom Burdonovom cevi na radni flid ulje opsega merenja od 0 bar do 160 bar, klase tačnosti 1,6 i vrednosti najmanjeg podeoka 5 bara. Etalon korišćen pri radu je klipni manometar Budenberg, tačnosti 0,05% mernog opsega od 0 bar do 1200 bar.

Uslovi etaloniranja:

- ulje gustine 900 kg/m³
- metoda etaloniranja DKD-R 6-1 sekvenca C
- položaj pri etaloniranju: vertikalno
- razlika u visini nivoa etalona i merila: $\Delta h = 0 \text{ m} \pm 0,010 \text{ m}$
- temperatura ambijenta: 21 °C,
- barometarski pritiska: 995 mbar
- gravitaciono ubrzanje: 9,805576 m/s²

U Tabeli 5 dati su rezultati meranja pri etaloniranju manometra sa proračunatom mernom nesigurnosti za sekvencu C.

TABELA 5
REZULTATI MERENJA PRI ETALONIRANJU MANOMERTA

P	Pokzivanje merila		srednja vrednost M (M1+M2)/2	Devijacija $p_{etalona} - M$	Histere M2 - M1	Proš nesigu U
	M1	M2				
p_{etal}	opter	raste	$p_{merenja, sr}$	Δp	δp_{histr}	U
bar	bar	bar	bar	bar	bar	bar
0	0	0	0	0	0	1,16
50	48	48	48	2	0	1,16
100	98	98	98	2	0	1,16
150	149	149	149	1	0	1,16
160	159	159	159	1	0	1,16

TABELA 6
BUDŽET MERNE NESIGURNOSTI

Uticajne vrednosti	Procena	Standardna nesigurnost	Raspodela verovatnoće	Koeficijent raspodele verovatnoće	Koeficijent osetljivosti	Doprinos nesigrnosti
	X_i	$u(X_i)$			C_i	$U(y)$
$p_{merila, sr}$	159 bar				1	
$p_{etalona}$	160 bar	0,08	pravougaona	1,732	-1	-0,046
$\delta p_{\Delta x}$	0 m	0,01	pravougaona	1,732	0,09	0,001
$\delta p_{nul.dev}$	0 bar	0	pravougaona	1,732	1	0,000
δp_{ponov}	0 bar	0	pravougaona	1,732	1	0,000
δp_{histr}	0 bar	0	pravougaona	1,732	1	0,000
δp_{rezol}	0 bar	1	pravougaona	1,732	1	0,577
Δp	-1 bar					1,158

Iz budžeta merne nesigurnosti vidi se kada je histerezis i ponovljivost nulte vrednosti, dominantna vrednost je rezolucija etaloniranog manometra.

VII. ZAKLJUČAK

U radu je opisan postupak etaloniranja manometra na radni fluid ulje sa proračunom merne nesigurnosti koji se primenjuje u ML-03. Postupak etaloniranja manometara i proračun merne nesigurnosti zasnovan je na primeni direktive DKD-R 6-1 koju primenjuju akreditovane metrološke laboratorije. Prikazan je postupak proračuna merne nesigurnosti i dat je opis etaloniranja manometara pri izboru raznihi sekvenci definisanih u direktivi. Kako se direktiva ne odnosi samo na manometre s Burdonovom cevi, sledeći korak je izrada procedure i proračun merne nesigurnosti za manometre sa električnim izlazom.

LITERATURA

- [1] Dr Dragan Stanković, Fizičko tehnička merenja senzor, Beograd 1997.
- [2] WIKA Handbook, "Pressure & Temperature Measurement," U:S. Edition, 2008, godina.
- [3] Merila pritiska sa Burdon cevi, SRPS EN 837-1:2015
- [4] D.Lazić, "Uputstvo za etaloniranje manometara", C43.037, TOC, 2017.
- [5] Guidline DKD-R 6-1 *Calibration of pressure gauges, version 03/2014, revision 2.*

ABSTRACT

In this article is described a process of calibration of gauges with Burdonovom pipe working fluid to an oil by the method defined in Directive DKD-R 6-1 Calibration of pressure gauges. Given a budget of measurement uncertainty for a particular class of gauges used in the work process and tests carried out in the Technical Testing Center.

Title in English

Dragan Lazić, Vitomir Mrvaljević, Mirjana Mladenović, Jasminka Jelisavac