

ИНСТАЛАЦИЈА ЗА КАЛИБРАЦИЈУ ПРОТОКОМЕРА ВИСОКЕ ТАЧНОСТИ

Мирослав Бенишек, Дејан Илић, Ђорђе Чантрак, Новица Јанковић

Кључне речи: протокомер, калибрација, висока тачност

КРАТАК САДРЖАЈ

Захтеви за калибрацијом (еталонирањем) високе тачности протокомера постају све израженији. Да би се ово остварило неопходно је према стандардима ISO испунити низ услова: квалитетна инсталација, адекватна методологија калибрације, употреба инструмената високе тачности и задовољавајућа мерна несигурност. Поштујући задате услове у овом раду је приказана направљена инсталација за калибрацију протокомера до $0,050 \text{ m}^3/\text{s}$. Описана је методологија мерења. Извршене су потребне калибрације мерних уређаја. Описана је калибрација протокомера и приказана мерна несигурност.

HIGH ACCURACY INSTALLATION FOR CALIBRATION FLOW METER

Keywords: flow meter, calibration, high accuracy

ABSTRACT

Requirements for high accuracy flow meter calibration are increasing. To achieve this it is necessary to use demands of the standards ISO: quality installation, appropriate calibration methodology, instruments of high accuracy and satisfactory measurement uncertainty. Respecting these conditions in this paper created installations for calibration flow meter to $0,050 \text{ m}^3/\text{s}$. The methodology for the measurement is described. Required calibrations of the measuring devices are performed. The calibration of the flow meter is presented and also the measurement uncertainty is shown.

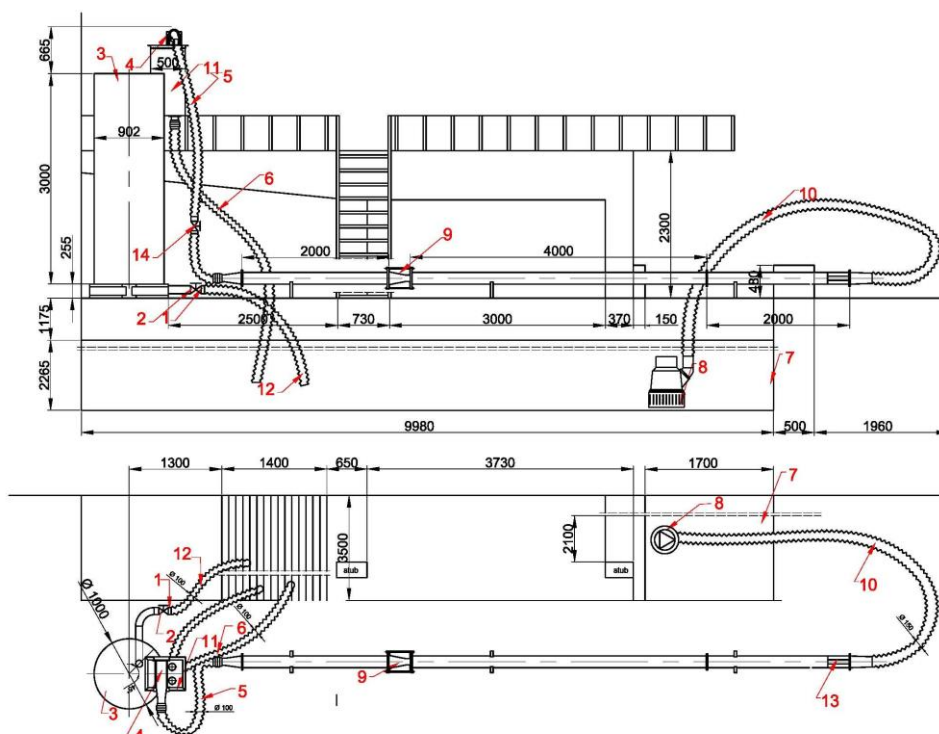
УВОД

Неопходност да се поседује калибрационо постројење, високе тачности, на коме би се вршила калибрација (еталонирање) протокомера различитих пречника, изазвала је жељу да се пројектује и изради једно такво опитно постројење и сачини методологија мерења и одређивања мерне несигурности, које ће испунити захтеве стандарда: ISO 8316 [1], ISO 5168 [2], ISO 9368-1 [3] и IEC 60193 [4]. Пројектована инсталација и освојена методологија користи се за калибрацију протокомера до 50 l/s.

У самом раду су дати специфични поступци калибрације запреминског резервоара тежинском методом, одређивања протока запреминском методом као и детаљан опис поступка одређивања грешке мерења. Овај рад је сачињен на основу претходног истраживања приказаног у Извештају [5]. Сви употребљени инструменти су калибрисани и поседују одговарајуће сертификате.

ПРИКАЗ ОПИТНОГ ПОСТОЈЕЊА ЗА МЕРЕЊЕ ПРОТОКА И КАЛИБРАЦИЈУ ПРОТОКОМЕРА

На слици 1.а приказан је изглед дела опитног постројења, а на слици 1.б дата је скица мерне инсталације.



Слика 1. а) Изглед дела опитног постројења – волуметријски резервоар са дивертером на врху б) цртеж опитног постројења за еталонирање протокомера

Вода се помоћу пумпе 8 из резервоара 7 и преко гибљивог црева 10 доводи до исправљача струје 13 и мерне деонице у којој је уграђен протокомер 9 који треба калибрисати. Преко регулационог вентила 14 и флексибилног црева 5 вода се доводи преко млазника до дивертера 4 који воду у разделном резервоару 11 усмерава у волуметријски резервоар 3 или мимо резервоара флексибилним цевоводима 6 се враћа у резервоар 7. Волуметријски резервоар се празни до дна преко одводног цевовода 2, вентила 1 и цевовода 12 и вода се одводи у резервоар 7.

ПОСТУПАК МЕРЕЊА ПРОТОКА И КАЛИБРАЦИЈЕ ПРОТОКОМЕРА ЗАПРЕМИНСКОМ МЕТОДОМ

Одређивање протока и протока масе течности

Према стандарду ISO 8316 [1] вредност масеног протока q_m (проток масе), односно волуметријског (запреминског) протока q_v , пуњења волуметријског резервоара се одређује на основу израза:

$$q_m = \rho \cdot q_v = \rho \cdot \frac{V_1 - V_0}{t} = \rho \cdot \frac{V}{t} \quad (1)$$

где су: V_0 и V_1 - почетна и крајња запремина воде у волуметријском резервоару, V - мерна запремина воде $V = V_1 - V_0$, t - време пуњења мерне запремине воде V волуметријског резервоара, ρ - густина воде у резервоару за температуру воде θ (2.В Анекс В стандарда ISO 8316 [1]).

При пуњењу резервоара од запремине V_0 до запремине V_1 проток q_v мора бити константан ($\partial q_v / \partial t = 0$). Константност протока q_v се постиже: радом погонске пумпе у истој радној тачки ($n, q_v, H - const$) или одржавањем константног пада ако се проток кроз протокомер постиже слободним падом који се остварује преливом у горњем резервоару.

Калибрација волуметријског резервоара

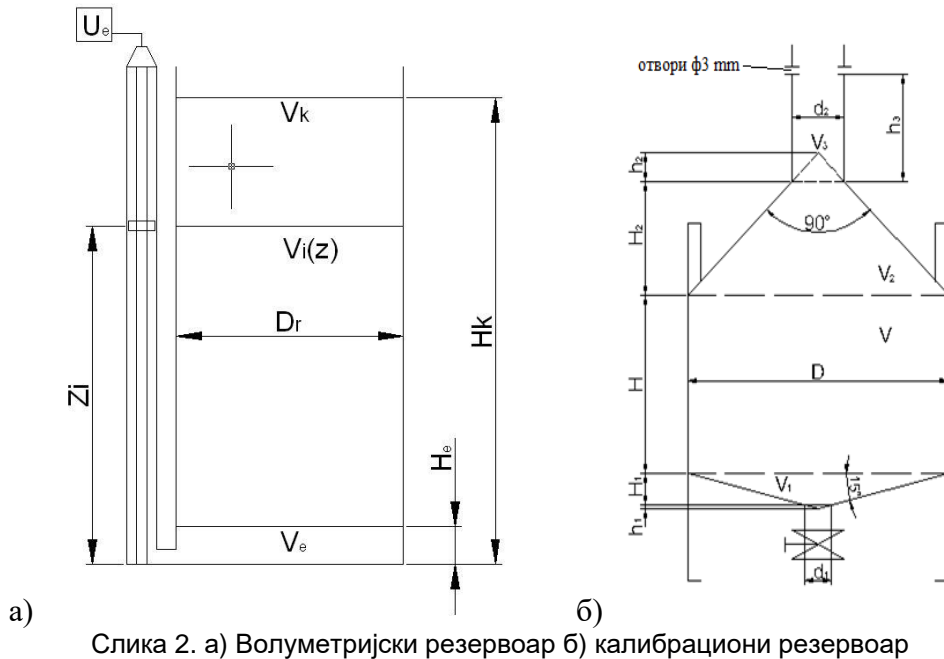
Волуметријски (запремински) резервоар (слика 2.а), који се пуни водом, је суд одређене запремине цилиндричног облика при чему површина $A(z)$ треба да буде идеално константна по висини z . У том случају запремина V би се лако одређивала мерењем висине z на основу израза $V = A \cdot z$ где је $A = const$. Практично је немогуће направити суд, велике запремине, који би имао $A(z) = const$, односно да је $A(z) = f(z)$.

Основни задатак калибрисања волуметријског резервоара је одређивање зависности $A(z) = f_1(z)$ односно зависности $V(z) = f_2(z)$. Поступак калибрисања се састоји у узастопном пуњењу волуметријског резервоара водом из калибрационог резервоара (слика 2.б) константне запремине воде V_e при чему се при сваком пуњењу одређује одговарајућа висина нивоа воде у волуметријском резервоару z_i . Поступак се понавља n – пута, све док се волуметријски резервоар не напуни до максималне корисне запремине резервоара V_k .

Ниво воде у волуметријском резервоару мери се прецизним електронским уређајем за мерење нивоа (BALLUFF BTL5-C0). Мерач нивоа се поставља вертикално уз спољни зид волуметријског резервоара.

Посебна пажња мора се посветити одређивању запремине V_e калибрационог резервоара, што је изискивало прављење једне осмишљене специјалне конструкције калибрационог резервоара која је приказана на слици 2.б. Димензије калибрационог суда се одређују тако да његова запремина V_e повећава, при сваком пуњењу волуметријског резервоара, ниво у волуметријском резервоару за око H_e . Дно калибрационог резервоара је коничног облика како би се сва вода исцедила из резервоара кроз доњи вентил. Врх калибрационог резервоара се продужава у уску цилиндричну цев са бочним отворима $\varnothing 3 \text{ mm}$ кроз које треба да исцури вишак усуте течности. Оваква конструкција омогућава да се при сваком пуњењу калибрациони суд испуни истом запремином

$V_e = const$ којом се пуни волуметријски резервоар приликом калибрације. Прелиминарно одређивање димензија и запремине V_e резервоара је неопходно како би се ускладиле величине са корисном запремином волуметријског резервоара, бројем пуњења n и висином једног пуњења H_e .



Вредност V_e се одређује поступком који се заснива на коришћењу тежинске методе. Помоћу давача силе (VISHAY модел 355 - C4) који је калибрисан помоћу калибрисаних тегова, измери се тежина празног калибрационог резервоара G_r и тежина напуњеног резервоара водом G_u и одреди се тежина воде у калибрационом резервоару :

$$G_e = G_u - G_r \quad (2)$$

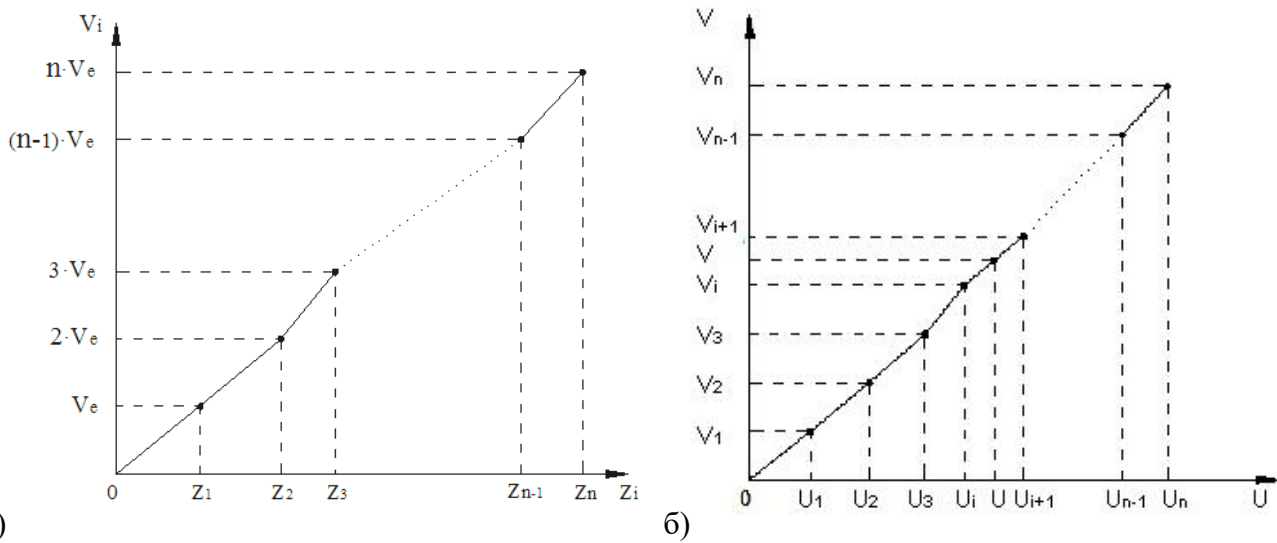
односно запремина воде у калибрационом резервоару је:

$$V_e = \frac{G_e}{\rho_{we} \cdot g} \quad (3)$$

где су: ρ_{we} - густина воде у калибрационом резервоару одређена на основу измерене температуре воде θ_{we} на атмосферском притиску лабораторије (стандард ИЕС 60193 [4]), g - убрзање Земљине теже која се одређује на основу географске ширине ϕ и надморске висине z лабораторије у којој се налази постројење (стандард ИЕС 60193 [4]).

Редоследно, од првог пуњења волуметријског резервоара запремином V_e до нивоа z_1 па до последњег пуњења запремине $n \cdot V_e$ до нивоа приближно $n \cdot z_1$ добија се низ калибрационих тачака на основу којих је могуће направити калибрациони дијаграм волуметријског резервоара који је приказан на слици 3.а.

Приликом еталонирања протокомера волуметријски резервоар не мора бити напуњен до максималне запремине V_k , већ до неке мање запремине V_i . Запремина V_i се одређује из дијаграма калибрације волуметријског резервоара (слика 3.а) који се, ако се мерени ниво z_i мери помоћу давача нивоа односно зависности $z_i = f(U_i)$ где је U_i - електрични напонски излаз, може трансформисати у дијаграм зависности $V_i = f(U_i)$ (слика 3.б).



а) б)
Слика. 3. Калибрациони дијаграм волуметријског резервоара а) зависност запремине резервоара од нивоа воде у резервоару б) зависност запремине резервоара од електричног напонског излаза за температуру воде и температуру зида резервоара

Из дијаграма на слици 3.б, односно одговарајуће калибрационе таблице, када је излазни напонски сигнал U између калибрационих сигнала $(U_i; V_i)$ и $(U_{i+1}; V_{i+1})$ вредност запремине воде у резервоару V се одређује линеарном интерполацијом. Применом овог поступка добија се већа тачност одређивања вредности запремине V него провлачењем криве $V = f(U)$ кроз калибрацијом измерене тачке (U_i, V_i) .

Максималан проток који се може мерити волуметријском методом на постројењу за еталонирање протокомера а које је израђено и приказано у овом раду, за максималну корисну запремину волуметријског резервоара ($V_k = 1,5 m^3$) и минимално дозвољено време пуњења резервоара (према норми ISO 8316 [1]: $t_{d\min} = 30 s$) је $q_{v\max} = 50 l/s$.

Утицај промене температуре при калибрацији волуметријског резервоара и при еталонирању протокомера на одређивања запремине воде у волуметријском резервоару

Калибрација волуметријског резервоара је временски дуготрајни процес и врши се два пута годишње, а посебно при захтеву инвеститора. У случају да се температуре воде θ_w и зида резервоара θ_r приликом еталонирања протокомера разликују од температура воде θ_{we} и зида резервоара θ_{re} при калибрацији волуметријског резервоара, могуће је добити прерачунати дијаграм калибрације волуметријског резервоара. Температуре резервоара θ_{re} и θ_r се мере помоћу калибрисаног контактнoг термометра (Sensor Testo 0600 0394/612), а температура воде θ_{we} и θ_w при еталонирању протокомера одређује се помоћу калибрисаног $P_t 100$ термометра.

Израз (4) даје везу нивоа течности z_e у волуметријском резервоару при калибрацији протокомера и нивоа z исте запремине течности која би испунила волуметријски резервоар при калибрацији волуметријског резервоара:

$$z = z_e \cdot 1 + \beta_w \cdot (\theta_w - \theta_{we}) / [1 + \alpha_r \cdot (\theta_r - \theta_{re})]^2 \quad (4)$$

где су: α - коефицијент линеарног топлотног ширења материјала резервоара и β_w - коефицијент запреминског топлотног ширења воде.

Прерачунавање запремине течности се врши коришћењем обрасца који даје везу између V и V_e :

$$V = V_e \cdot [1 + \beta_w \cdot (\theta_w - \theta_{we})] \quad (5)$$

Како је $z_e = f(U_e)$ то је и $z = f(U)$, следи из (4):

$$f(U) = f(U_e) \cdot [1 + \beta_w \cdot (\theta_w - \theta_{we})] / [1 + \alpha_r (\theta_r - \theta_{re})]^2 \quad (6)$$

Односно како је $f(U) / f(U_e) = U / U_e$ то је:

$$U = U_e \cdot [1 + \beta_w \cdot (\theta_w - \theta_{we})] / [1 + \alpha_r (\theta_r - \theta_{re})]^2 \quad (7)$$

Поступак прерачунавања калибрационе криве волуметријског резервоара, која је одређена за температуру θ_e , на нову калибрациону (прерачунату) криву за температуру θ еталонирања протокомера се заснива на изразима (9), (10) и (12).

Тако се добија прерачунати дијаграм калибрације волуметријског резервоара. На основу измереног сигнала U одређују се вредности запремине V коришћењем прерачунатог дијаграма калибрације волуметријског резервоара. Ако се вредност U налази у интервалу (U_i, U_{i+1}) тада се вредност V налази у интервалу (V_i, V_{i+1}) и вредност V се одређује линеарном интерполацијом.

За одређивање запреминског протока q_v и протока масе q_m на основу израза (1) и (2) неопходно је одредити две запремине, почетну V_0 и крајњу V_1 као и време t пуњења запремине $V_1 - V_0$ водом.

Време пуњења резервоара t мери помоћу прецизног хронометра (фотоћелија МДС-20НЛ8/П и фотодиода, повезане са уређајем МПИ 04).

Почетни тренутак мерења времена се одређује положајем скретача млаза (дивертера) када се он налази у средини правоугаоне млазнице кроз који се вода доводи у запремински резервоар или мимо њега. За вратило скретача млаза је причвршћен покретни екран подешен тако да његова ивица прати ивицу скретача млаза. Екран везан за вратило дивертера се помера и омогућава светлосном снопу диоде да осветли фотоћелију (МДС-20НЛ8/П) при чему се укључује хронометар и у том моменту се мери почетни напон U_0 на основу кога се већ описаним поступком одређује вредност запремине V_0 . Након пуњења волуметријског резервоара до запремине V_1 , одређене мерењем напона U_1 , тренутно се скреће скретач млаза у положај када се вода одводи у одливни резервоар и тада се прекида светлосни зрак и одређује време t пуњења волуметријског резервоара. Покретање скретача млаза се остварује пнеуматским серво механизмом.

УКУПНА ГРЕШКА МЕРЕЊА ПРОТОКА

Одређивање укупне релативне грешке мерења протока запреминском методом

При мерењу неке физичке величине јављају се систематске и случајне величине, тако да је укупна релативна грешка f_q мерења протока:

$$f_q^2 = (f_q)_s^2 + (f_q)_r^2 \quad (8)$$

где су: $(f_q)_s$ - систематска грешка мерења протока, $(f_q)_r$ - случајна грешка мерења протока.

Систематске грешке зависе од карактеристика мерне опреме, инсталације, мерних услова и методологије мерења и не могу се смањити понављањем мерења. Случајне грешке су проузроковане бројним независним и непознатим узроцима који су везани за методу, инструмент и експеримент. Ове грешке се не могу отклонити већ само обрадити на основу закона њихове расподеле. Случајне грешке се одређују вишекратним понављањем мерења једне те исте мерне величине.

Систематске и случајне грешке посредног мерења величине $q = f(x_1, x_2, x_3, \dots)$ се одређују на основу израза:

$$e_q = \left[\left(\frac{\partial q}{\partial x_1} \right)^2 \cdot e_{x_1}^2 + \left(\frac{\partial q}{\partial x_2} \right)^2 \cdot e_{x_2}^2 + \left(\frac{\partial q}{\partial x_3} \right)^2 \cdot e_{x_3}^2 + \dots \right]^{0.5} \quad (9)$$

где су: $e_q, e_{x_1}, e_{x_2}, e_{x_3}, \dots$ - средње грешке мерења величина q, x_1, x_2, x_3, \dots

Релативна систематска грешка мерења протока запреминском методом

Средња систематска грешка $(e_q)_s$ мерења протока запреминском методом је:

$$(e_q)_s = \left[\left(\frac{\partial q}{\partial V_1} \right)^2 \cdot (e_{V_1})_s^2 + \left(\frac{\partial q}{\partial V_0} \right)^2 \cdot (e_{V_0})_s^2 + \left(\frac{\partial q}{\partial t} \right)^2 \cdot (e_t)_s^2 \right]^{0.5} \quad (10)$$

где су: $(e_{V_1})_s$ - укупна средња систематска грешка мерења запремине V_1 , $(e_{V_0})_s$ - укупна средња систематска грешка мерења запремине V_0 , $(e_t)_s$ - укупна средња систематска грешка мерења времена пуњења резервоара запремином $V = V_1 - V_0$.

Тако је релативна систематска грешка мерења запреминског протока волуметријском методом из (10):

$$(f_q)_s = \left[\frac{1}{(1 - V_0/V_1)^2} \cdot (f_{V_1})_s^2 + \frac{1}{(V_1/V_0 - 1)^2} \cdot (f_{V_0})_s^2 + (f_t)_s^2 \right]^{0.5} \quad (11)$$

где су: $(f_{V_1})_s$ - релативна систематска грешка мерења запремине V_1 у волуметријском резервоару, $(f_{V_0})_s$ - релативна систематска грешка мерења запремине V_0 у волуметријском резервоару, $(f_t)_s$ - релативна систематска грешка мерења времена пуњења волуметријског резервоара запремином $V = V_1 - V_0$.

На основу стандарда ISO 8316 [1] систематске грешке које зависе од волуметријског резервоара могу се сврстати у три групе: а) грешке које настају приликом калибрације волуметријског резервоара $(e_{V_c})_s$, б) грешка која настаје приликом промене мерне температуре у односу на температуру при калибрацији волуметријског резервоара $(e_{V_\theta})_s$, в) грешка која настаје при коришћењу фитоване криве кроз калибрационе тачке $(e_{V_u})_s$.

Тако је укупна релативна систематска грешка $(f_V)_s$ мерења запремине V :

$$(f_V)_s = \left[(f_{V_c})_s^2 + (f_{V_\theta})_s^2 + (f_{V_u})_s^2 \right]^{0.5} \quad (12)$$

Систематска укупна грешка $(e_{V_c})_s$ калибрације волуметријског резервоара мерења величине V_0 је:

$$(e_{V_{0c}})_s = \left[V_0^2 \cdot \frac{(e_{G_e})_s^2}{G_e^2} + V_0^2 \cdot \frac{(e_{\rho_{we}})_s^2}{\rho_{wes}^2} \right]^{0.5} \quad (13)$$

Израз за релативну систематску грешку $(f_{V_{0c}})_s$ мерења величине V_0 је:

$$(f_{V_{0c}})_s = (f_{V_{1c}})_s = \left[(f_{G_e})_s^2 + (f_{\rho_{we}})_s^2 \right]^{0.5} \quad (14)$$

где је: $(f_{\rho_{we}})_s$ - релативна грешка мерења густине воде а $(f_{G_e})_s$ се рачуна преко израза:

$$(f_{Ge})_s = \left[\frac{G_u^2}{(G_u - G_r)^2} \cdot (f_{Gu})_s^2 + \frac{G_r^2}{(G_u - G_r)^2} \cdot (f_{Gr})_s^2 \right]^{0,5} \quad (15)$$

Израз за релативну систематску грешку $(f_{V_{1c}})_s$ се на аналоган начин одређује као и за $(f_{V_{0c}})_s$ али за мерења величине V_1 .

Релативна систематска грешка $(f_{V_0})_s$ која настаје приликом промене мерне температуре у односу на температуру при калибрацији волуметријског резервоара:

$$(f_{V_0})_s = \left[\frac{\beta_w^2 \cdot \Delta\theta_w^2}{(1 + \beta_w \cdot \Delta\theta_w)^2} \cdot (f_{\Delta\theta_w})_s^2 + (f_{Ve})_s^2 \right]^{0,5} \quad (16)$$

Односно може се узети да је:

$$(f_{V_{10}})_s = (f_{V_{00}})_s \quad (17)$$

Релативна систематска грешка $(f_{V_U})_s$ која настаје при коришћењу фитоване криве $V = a \cdot U + b$ кроз две калибрационе тачке (U_i, V_i) и (U_{i+1}, V_{i+1}) при мерењу запремине V_0 је:

$$(f_{V_U})_s = \left[\left(\frac{a_0 \cdot U_0}{a_0 \cdot U_0 + b_0} \right)^2 \cdot (f_{U_0})_s^2 \right]^{0,5} \quad (17)$$

Сличним поступком се може извести вредност систематске релативне грешке $(f_{V_U})_s$ при мерењу запремине V_1 , тако да је укупна релативна систематска грешка:

$$(f_{V_U})_s = \left[(f_{V_{1U}})_s^2 + (f_{V_{2U}})_s^2 = \frac{(a_1 \cdot U_1)^2}{(V_1 - V_0)^2} \cdot (f_{U_1})_s^2 + \frac{(a_0 \cdot U_0)^2}{(V_1 - V_0)^2} \cdot (f_{U_0})_s^2 \right]^{0,5} \quad (18)$$

Релативна систематска грешка $(f_t)_s$ времена пуњења волуметријског резервоара настаје из два узрока: грешке мерења времена хронометром $(f_{th})_s$ и грешке у мерењу времена због хода преграде дивертера (скретача млаза) кроз струјно поље млаза $(f_{td})_s$ тј.:

$$(f_t)_s^2 = (f_{th})_s^2 + (f_{td})_s^2 \quad (19)$$

Мерење времена савременим хронометрима је врло прецизно тако да је релативна систематска грешка $(f_{th})_s = 0,01\%$.

Релативна систематска грешка дивертера $(f_{td})_s$ се одређује методама датим у стандарду ISO 8316.

Израз за одређивање релативне систематске грешке мерења протока $(f_q)_s$ на основу (11), (14), (15), (16), (18) и (19) је:

$$(f_q)_s = \left\{ \begin{array}{l} \left[\frac{V_1^2 + V_0^2}{(V_1 - V_0)^2} \cdot \left[\frac{G_u^2}{(G_u - G_r)^2} \cdot (f_{Gu})_s^2 + \frac{G_r^2}{(G_u - G_r)^2} \cdot (f_{Gr})_s^2 + (f_{pwe})_s^2 + \frac{\beta_w^2 \cdot \Delta\theta_w^2}{(1 + \beta_w \cdot \Delta\theta_w)^2} \cdot (f_{\Delta\theta_w})_s^2 \right] \right]^{0,5} \\ + (f_{Ve})_s^2 + \frac{(a_1 \cdot U_1)^2}{(V_1 - V_0)^2} \cdot (f_{U_1})_s^2 + \frac{(a_0 \cdot U_0)^2}{(V_1 - V_0)^2} \cdot (f_{U_0})_s^2 + (f_{th})_s^2 + (f_{td})_s^2 \end{array} \right\} \quad (20)$$

Случајна грешка вишекратног директног мерења физичке величине једнаке тежине

Понављање мерења једне мерне величине x_i у коме учествују исти мерни инструменти, иста метода и исти експериментатор, наиме да се мерење обавља при истим условима, назива се мерење једнаке тежине.

Коришћењем поступка датог у ISO 5168 [1] и [6] за одређивање случајне грешке виšekратног мерења величина $n = 10$, са очекиваном вероватноћом $P = 95\%$, а за случај конкретног мерења: $\bar{V}_1 = 1590 \text{ dm}^3$, $\bar{V}_0 = 127,39 \text{ dm}^3$, $\Delta G_e = 624,12 \text{ N}$, $G_r = 96,22 \text{ N}$, $G_u = 720,34 \text{ N} = G_r + \Delta G_e$, $\beta_w = 0,00038$ (за $\theta_w = 20^\circ \text{C}$), $\Delta\theta_w = 5^\circ \text{C}$, $a_1 \cdot U_1 = \bar{V}_1$, и $a_0 \cdot U_0 = \bar{V}_0$, добијена је случајна грешка мерења протока $(f_q)_r = 0,09\%$. За случај конкретног мерења вредности релативних систематских грешки су: $(f_{G_u})_s = 0,015\%$, $(f_{G_r})_s = 0,015\%$, $(f_{\Delta\theta_w})_s = 0,5\%$, $(f_{V_e})_s = 0,053\%$, $(f_{p_{we}})_s = 0,005\%$, $(f_{U_1})_s = 0,02\%$, $(f_{U_0})_s = 0,02\%$, $(f_{th})_s = 0,0025\%$, и $(f_{td})_s = 0,06\%$. Стога, на основу израза (20) релативна систематска грешка мерења протока $(f_q)_s = 0,085\%$.

Укупна релативна грешка мерења протока f_q је:

$$f_q = \left[(f_q)_s^2 + (f_q)_r^2 \right]^{0.5} = \left[(0,085)^2 + (0,09)^2 \right]^{0.5} = 0,124\% \quad (21)$$

ЗАКЉУЧАК

На основу материјала приказаног у овом раду остварени су следећи резултати:

- развијен је поступак мерења протока запреминском методом на опитној инсталацији која је пројектована и урађена у лабораторији.
- развијен је и детаљно описан оригинални поступак калибрације запреминског резервоара помоћу калибрационог резервоара (суда) чија се корисна запремина одређује тежинским поступком. Ланчана калибрациона карактеристика запреминског резервоара се састоји од низа спојених правих линија из којих се интерполационим поступком одређује права величина запремине воде у запреминском резервоару. На тај начин постиже се већа тачност мерења.
- дат је поступак корекције запремине воде у резервоару због разлике температуре при калибрацији запреминског резервоара и температуре при мерењу протока запреминском методом.
- детаљно је приказан поступак одређивања мерне несигурности одређивањем систематске грешке, случајне грешке и укупне грешке мерења. Датим примером једног мерења је приказано да је укупна грешка мерења протока на једном оваквом софистицираном постројењу мала и да припада врло високој класи тачности.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] International standard ISO 8316-Measurment of flow in closed conduits-Method by collection of the liquid in a volumetric tank, First edition 1987-10-01.
- [2] International standard ISO 5168 – Measurements of fluid flow – Procedures for the evaluation of uncertainties, second edition 2005-06-15.
- [3] International standard ISO 9368 – 1 – Measurements of fluid flow in closed conduits by the weighing metod – Procedures for checking instalations, First edition 1990 – 12 – 01.
- [4] IEC 60193 – 1999 – 11, Hydraulic turbines, storage pumps and pump – turbines – Model acceptonce tests.
- [5] Проф. др Мирослав Бенишек, асист. Дејан Илић, истр. сарад. Новица Јанковић, Горан Микић дипл. инж. маш.: "Пројектни задатак: Експерименталне инсталације и опрема за испитивање хидрауличких машина и опреме у лабораторији и на терену." Извештај урађен за ЕПС, Машински факултет Универзитета у Београду, Извештај бр. 06-03-11/2011.
- [6] Проф. др. Мирослав Бенишек, проф. др. Милош Недељковић, асист. мр. Радомир Килибарда, асист. пр. Дарко Герасимовић: „Техника мерења, Збирка задатака из струјно техничких мерења“, Машински факултет Универзитета у Београду, 1996, год.

др. Мирослав Бенишек, ред. проф. у пензији
Универзитет у Београду Машински факултет
Краљице Марије 16
11120 Београд
тел. 011-3302226
е-mail: mбенisek@mas.bg.ac.rs

Доц. др. Дејан Илић
Универзитет у Београду Машински факултет
Краљице Марије 16
11120 Београд
тел. 011-3302363
е-mail: dilic@mas.bg.ac.rs

Доц. др. Ђорђе Чантрак
Универзитет у Београду Машински факултет
Краљице Марије 16
11120 Београд
тел. 011-3302363
е-mail: djcantrak@mas.bg.ac.rs

истраживач сарадник Новица Јанковић, дипл. инж. маш.
Универзитет у Београду Машински факултет
Краљице Марије 16
11120 Београд
тел. 011-3302363
е-mail: njankovic@mas.bg.ac.rs