

DOPRINOS START-STOP EFEKTA MJERNOJ NESIGURNOSTI MJERILA PROTOKA SA RUČNIM PREKIDANJEM

CONTRIBUTION OF START-STOP EFFECT ON UNCERTAINTY MEASUREMENT OF MANUEL ENDING FLOW METER

Nermina Zaimović – Uzunović, prof.dr.sc.
Univerzitet u Zenici

Miroslav Rozić mr.sc.
Zavod za ispitivanje kvalitete doo Mostar

REZIME

Značaj mjerenja protoka i količine tečnosti i plinova u stalnom je porastu kako zbog njihove vrlo široke primjene u skoro svim industrijskim granama, tako i zbog porasta cijena mjerenih fluida odnosno energenata. To su razlozi zbog kojih se postavljaju sve oštriji zahtjevi za mjeriteljska svojstva ovih uređaja i njihove pouzdanosti, naročito kad su u funkciji fiskalnog mjerenja ili mjerenja koje utiče na sigurnost osoba, opreme i okoliša.

Postupci kalibracije mjerila protoka su različiti i svaki obuhvata računanje budžeta mjerne nesigurnosti. Jedan od njih je i doprinos "start-stop" utjecaja na ukupnu mjernu nesigurnost. U radu su prikazani rezultati istraživanja dobiveni provođenjem eksperimenta koji daje odgovor na pitanje koje su najniže vrijednosti start-stop nesigurnosti koje se mogu postići u nekoj laboratoriji za kalibraciju mjerila protoka, u kojima se primjenjuje metoda sa ručnim prekidanjem toka pomoću "on-off" ventila, odnosno brzine otvaranja i zatvaranja ventila.

Ključne riječi: Mjerilo protoka, mjerna nesigurnost mjerila protoka, start-stop utjecaji

ABSTRACT

The importance of measuring the flow and quantity of liquids and gases is steadily increasing due to their very wide range of applications in almost every industry, and because of the price increase of the measured fluid and energy. These are the reasons for which are set increasingly strict requirements for metrological characteristics of these devices and their reliability, especially when you are in the function of the fiscal measurements or measurements that affect the safety of people, equipment and environment. Methods of calibrating the flow meters are different and each comprises calculating measurement uncertainty budget. One of them is a contribution to the "start-stop" impact on the overall measurement uncertainty. The paper presents the study results obtained by conducting the experiment reveals the placement of the low value of the start-stop of uncertainty that can be achieved in the lab for calibration of flow, in which method is used with manual breaking the means of "on-off" valve and the rate of opening and closing the valve.

Keywords: Flow meter, uncertainty measurement of flow meter, start-stop effects

1. UVOD

Mjerenje protoka ostvaruje se uz primjenu različitih principa i tehnologija pri čemu se sva mjerila protoka mogu svrstati kao mjerila stvarno propuštenog volumena, turbinska, elektromagnetska, ultrazvučna mjerila, masena Coriolis-ova i masena termalna, mjerila na principu izmjerene razlike pritisaka, vrtložna i mjerila protoka u otvorenim kanalima. Kalibriranjem mjerila protoka određuju se njihove mjeriteljske karakteristike od kojih zavisi kvalitet rezultata mjerenja u stvarnoj upotrebi mjerila. Kvalitet rezultata kalibriranja postiže se izvođenjem kalibracija u mjernim laboratorijama, koje su akreditovane u skladu sa zahtjevima standarda BAS EN ISO/IEC 17025. Na ovaj način se osigurava ispravno uspostavljanje i održavanje mjeriteljske sljedivosti rezultata kalibracija.

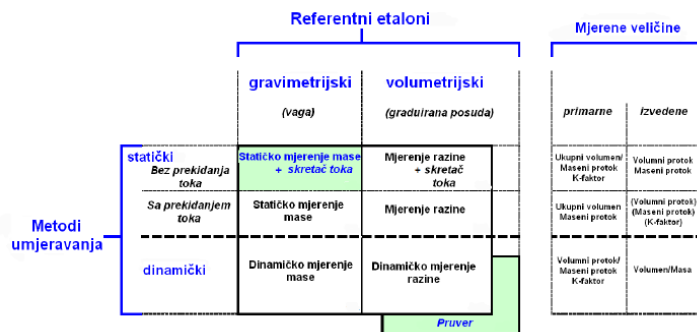
Pri procjeni ukupne mjerne nesigurnosti rezultata, potrebno je uzeti u obzir doprinose svih značajnih ulaznih valičina. Pored karakteristika kalibriranog mjeraca protoka uzimaju se u obzir i karakteristike kalibracione instalacije.

Vrijednost komponente mjerne nesigurnosti, koja je rezultat "start-stop" utjecaja, često je dominantna, u odnosu na ostale komponente. U slučaju primarnih kalibracionih instalacija nalazi se na samom vrhu hijerarhije lanca sljedivosti (NMI). Na nižim nivoima lanca sljedivosti ovaj doprinos se često i neopravdano zanemaruje, ili se vrlo površno procjenjuje.

Značajno je da se kalibriranje izvrši pod uslovima koji su bliski uslovima stvarne upotrebe mjerila protoka. Identične uslove nije moguće postići, ali je zato potrebno primijeniti odgovarajuće kompenzacije nepovoljnih uticaja, koji su posljedica različitih uslova. Izborom mjerila protoka koji je manje osjetljiv na različite uslove, mogu se smanjiti negativni uticaji na pouzdanost i kvalitet rezultata mjerenja.

2. MJERILA PROTOKA I METODE KALIBRACIJE MJERILA PROTOKA

Mjeriteljske karakteristike mjerila protoka određuju se početnim kalibracijama u laboratorijama proizvođača, a u toku upotrebe vrši se njihovo periodično kalibriranje i verificiranje njihovih mjeriteljskih karakteristika u skladu sa nacionalnim propisima i međunarodnim preporukama. U skladu sa JCGM 200:20012 vrše se kalibracije pri čemu se uspostavlja odnos između vrijednosti veličine, koje se realizuju putem etalona i odgovarajućih pokazivanja sa pridruženim mjernim nesigurnostima, a zatim koriste za uspostavljanje relacija pomoću kojih se iz pokazivanja dobiva rezultat mjerenja.



Slika 1. Pregled metoda kalibracije mjerača protoka

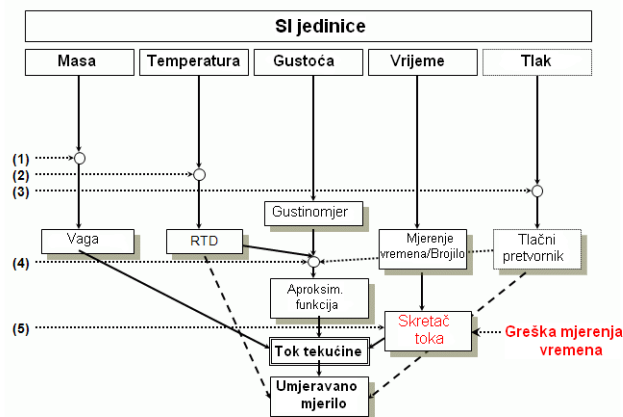
Na slici su prikazane metode kalibracije mjerača protoka. Kod metoda sa prekidanjem toka, standing-start-stop/finish, ciklus kalibracije započinje otvaranjem start-stop ventila, kada se daje signal za početak mjerenja vremena ponjenja spremnika na vagi (ili etalonskoj posudi) i istovremano aktivira početak brojanja impulsa sa mjerila koje se kalibrira i koje ima frekventno impulsni izlaz. Ciklus se završava zatvaranjem start-stop ventila čime se prekida tok radnog fluida i zaustavlja brojanje impulsa i mjerenje vremena. Kod metoda bez prekidanja toka, flying-

start-stop/finish, tok radnog fluida se ne prekida nakon podešavanja željenog protoka, nego se skretačam toka usmjerava u skladišni rezervoar. Ciklus kalibracije počinje u trenutku kada skretač preusmjerava tok u spremnik na vagi (ili etalonskoj posudi), kada se istovremeno aktivira mjerenje vremena trajanja ciklusa i brojanje impulsa koje generira mjerac protoka koji se kalibrira.

Uspostavljanje mjeriteljske sljedivosti u području mjerenja protoka i volumena odlikuje se činjenicom da postoje četiri mjerene veličine (volumen, masa, volumni protok i maseni protok), pri čemu se u lancu sljedivosti volumni i maseni protok mogu međusobno pretvarati uvođenjem gustoće kao mjerene veličine. Instalacija za kalibracije imala je sljedivost do potrebnih etalona za masu, dužinu, gustinu, temperaturu, pritisak i vrijeme, zavisno od primijenjenog aktivnog principa kalibracije, volumetrijskog ili gravimetrijskog. Ovakav pristup je poznat pod nazivom "elemenat po elemenat". Mjeriteljska sljedivost rezultata mjerenja protoka i volumena tekućina u Bosni i Hercegovini se uspostavlja primjenom pristupa "elemenat po elemenat".

Metodi na kojima se temelji mjerenje protoka podložni su dinamičkim uticajima. Vremenska varijacija protoka, kao posljedica nesavršenih operacija reguliranja, predstavlja glavnu uticajnu veličinu za sve ključne elemente modela mjerne nesigurnosti za etalonsku instalaciju i gravimetrijski metod. Varijacije temperature fluida uzrokuju prostorne i vremenske promjene gustoće i viskoziteta tečnosti, kao i vremenske promjene volumena u vanjskoj cijevi između mjeraca protoka i gravimetrijskog etalona.

Dinamički uticaji u gravimetrijskoj metodi kalibracije mjerila protoka obuhvataju: utjecaj vremenske greške skretača toka, sistemski uticaj skretača toka $\Delta T_{\text{greška}}$, uticaji materijala i fluida u spojnoj cijevi, pretvaranje referentne mase u volumen, uticaj nelinearnosti karakteristika protoka i vremensko kašnjenje koje prouzrokuje senzor protoka ili mjerni pretvarači.



Slika 2. Dodatni dinamički uticaji u lancu sljedivosti

Na slici 2. su prikazani i označeni dodatni dinamički uticaji koje je potrebno uzeti u obzir u modelu mjerne nesigurnosti za uspostavu lanca sljedivosti i donose se na: dinamičke uticaje na vagu, kao posljedica mehaničkih vibracija, varijaciju temperature tečnosti koja kruži kao rezultat promjene protoka i nesavršenosti regulacije temperature i pritiska, prostornih i vremenskih promjena temperature vode i uticaja varijacija protoka na grešku mjerenja vremena u vezi sa operacijama skretanja toka. Navedene dinamičke komponente, u lancu sljedivosti rezultata kalibracija mjerila protoka na etalonskim instalacijama, moraju biti određene odgovarajućim eksperimentalnim istraživanjima. Utjecaj (5) potpada pod "start-stop" uticaje na rezultate kalibracija i predmet je eksperimentalnih istraživanja provedenih za dobivanje komponente mjerne nesigurnosti koja je rezultat uticaja start-stop efekta.

3. MODEL MJERNE NESIGURNOSTI ETALONA MJERILA PROTOKA

Rezultat kalibracije mjerila protoka je neka od slijedećih karakteristika mjerila protoka: apsolutna/relativna greška, K-faktor, faktor mjerila

Matematički model je funkcionalna ovisnost izlazne veličine y od ulaznih veličina x_i :

$$y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$$

Na slici 3. prikazani su uticaji na mjernu nesigurnost kao rezultat djelovanja četiri grupe faktora. ΔV_{Meas} predstavlja rezultat mjerenja koji u sebi sadrži apsolutnu grešku, a svaka ulazna veličina doprinosi ukupnoj standardnoj nesigurnosti u vidu proizvoda koeficijenta osjetljivosti i procijenjenih standardnih nesigurnosti, $u_i(y) = c_i \cdot u(x_i)$.

$$\Delta V = V_1 + V_2 - V_3 - V_4$$

ΔV je mjerena zapremina u mjerачu protoka koja zavisi od četiri grupe uticaja

V_1 je vrijednost mjerene razlike volumena očitana na skali kalibrisanog mjerila i funkcija je gustoće, temperature i kompresibilnosti vode, rezolucije mjerачa protoka, profila brzine fluida kroz mjerач protoka, mjerenja vremena skretanja u skretачu toka

V_2 je promjena volumena koja zavisi od promjene temperature u toku ciklusa kalibracije, kompresibilnosti vode, promjene pritiska tokom ciklusa kalibracije i gubitaka fluida iz kalibracione instalacije.

V_3 predstavlja uticaje gravimetrijskog referentnog mjernog sistema i obuhvata masu i gustinu vode, parametre vage isparavanje vode u rezervoaru i kondenzaciju vlage na zidovima rezervoara.

V_4 predstavlja gustou fluida u uključuje mjerenje gustoće i temperature te uzorkovanje radnog fluida

Za svaku metodu kalibracije postoji međunarodni standard za procjenu mjerne nesigurnosti za akreditovane laboratorije koje moraju ispuniti zahtjeve tog standarda na vlastitoj kalibracionoj instalaciji.

4. EKSPERIMENTALNO ODREĐIVANJE NESIGURNOSTI START-STOP EFEKTA

Eksperimentalno određivanje nesigurnosti usljed start –stop efekta definirano je standardom ISO 9368-1:1990 (E). Korištena oprema je kuglasta slavina sa prekidačima graničnih položaja, slika 3, elektronsko mjerilo vremena, slika 4, pojačalo prekidača graničnih položaja,



Osnovne karakteristike:

- slavina nazivnog otvora 40 mm (11)
- tip prekidača DC 12/4600
- EEx ia IIC T6
- $I_{\text{max}} = 100 \text{ mA}$, $U_{\text{max}} = 13,5 \text{ V}$
- $L_{\text{eq}} \leq 0,1 \text{ mH}$, $C_{\text{eq}} \leq 0,1 \text{ nF}$
- histereza 1 mm
- proizvođač: ELCON INSTRUMENTS, Italy

Odabir i ugradnju prekidača izvršila firma SCAN, Zagreb, Republika Hrvatska.



Karakteristike:

- Codix 523
- proizvođač: Fritz Kubler GmbH
Njemačka
- tip: 6.523.012.3A0
- (10 – 30) VDC, 55 mA
- E 128604 CE
- serijski br. 1104502985

Slika 3. Kuglasta slavina sa prekidačima

Slika 4. Elektronsko mjerilo vremena



Funkcija: izolacijska dvokanalna barijera za primjenu u samosigurnoj protueksplozijskoj izvedbi

Karakteristike:

- napajanje: 115 V AC
- digitalni ulaz
- reledni kontaktni izlaz
- detekcija linijske greške (LED)
- reverzibilni način rada
- frekvencija prekidanja $\leq 10 \text{ Hz}$
- sukladnost sa direktivama

04/108/EC | 2006/95/EC, ...



Slika 5. Pojačalo prekidača graničnih položaja

Slika 6. Turbinsko mjerilo protoka PRF

Eksperimentalno određivanje doprinosa mjernoj nesigurnosti usljed start-stop efekta je tipičan primjer uticaja koji su iz grupe B uticaja na mjernu nesigurnost (nestatističkog karaktera). Bazirano na drugim literaturnim i iskustvenim podacima to je razlika u periodu otvaranja i zatvaranja on-off ventila na početku i kraju ciklusa kalibracije mjerača protoka.

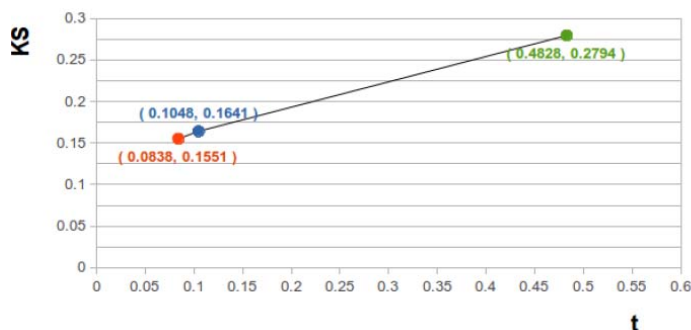
5. ANALIZA REZULTATA

Izvršeno je pet nizova mjerenja vremena otvaranja i zatvaranja kuglaste slavine. Mjerenja su vršena u seriji po 30 za svakih od pet slučajeva (A,B,C,D,E) sa kombinacijom dva operatera, sa brzim i normalnim otvaranjem i zatvaranjem slavine, sa maksimalnim i minimalnim krakom punog zahvata ručice.

Tabela 1. Rezultati mjerenja vremena on-off slavine

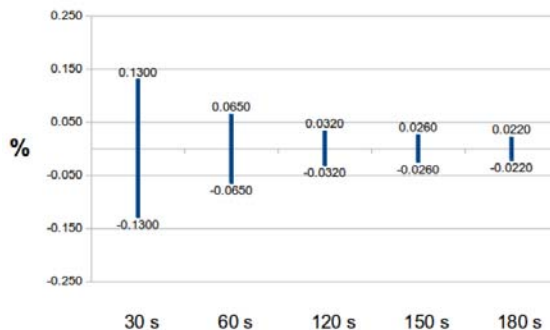
Slučajevi	\bar{t}_1 [s]	\bar{t}_2 [s]	$\bar{t} = \frac{(\bar{t}_1 + \bar{t}_2)}{2}$ [s]	$ \Delta t = \bar{t}_1 - \bar{t}_2 $ [s]	$ \Delta t _p$ [s]	$KS = \frac{ \Delta t _p}{\bar{t}}$	KS[%]
A	0,1047	0,1049	0,1048	0,0135	0,0172	0,1641	16,41
B	0,0843	0,0833	0,0838	0,0082	0,0130	0,1551	15,51
C	0,4774	0,4882	0,4828	0,1049	0,1349	0,2794	27,94
D	0,1097	0,1381	0,1239	0,0195	0,0470	0,3793	37,93
E	0,5108	0,5202	0,5155	0,1937	0,2413	0,4680	46,80

Izvršeno je ukupno 300 mjerenja od položaja potpune zatvorenosti, do potpune otvorenosti slavine, registruju se vremena t_1 i t_2 , srednje vrijednosti mjerenja \bar{t}_1 i \bar{t}_2 za sve serije mjerenja, srednja vrijednost, standardno odstupanje, razlika izmjerenih vrijednosti, koeficijent smanjenja KS. Isti je pokazan na slici 7. i mijenja se linearno.



Slika 7. Dijagram koeficijenta smanjenja za slučaj A, B i D.

Za svaki niz mjerenja mogu se odrediti procijenjene nesigurnosti, a potom KS, koji predstavlja koeficijent kojim treba pomnožiti srednju vrijednost vremena zatvaranja kuglaste slavine da se dobije vrijednost procijenjene nesigurnosti. Standardna nesigurnost obuhvata nesigurnost mjerenja t_1 i t_2 , histerezis i nesigurnost rezolucije propisane standardom. Procjena nesigurnosti za pravougaonu raspodjelu i protok za turbinski mjerač protoka uključuje konkretne podatke mjerača koji se kalibrira. Procjena kombinovane standardne nesigurnosti u_c (Δ_{ss}) start stop efekata se pretvara u nesigurnost mjerenja volumena. Da bi se smanjile prenisko procijenjene vrijednosti mjerne nesigurnosti uključeni su i nesimetrični dinamički uticaji koji su procijenjeni za turbinski mjerač protoka pa je apsolutna kombinovana mjerna nesigurnost od start stop efekata data za jednu seriju mjerenja.



Slika 8. Grafički prikaz ukupne mjerne nesigurnosti za slučaj normalnog otvaranja/zatvaranja maksimalnog kraka ručice

6. ZAKLJUČAK

Standardna mjerna nesigurnost start-stop uticaja kao dio mjerne nesigurnosti akreditovanih laboratorija ,mora da ima odgovarajuće vrijednosti. U radu je je prikazano istraživanje provedeno u kalibracionom laboratoriju sa ciljem određivanja mjerne nesigurnosti usljed start-stop efekta mjerača protoka i potvrđeno da akreditovana laboratorija sa brzim ručnim prekidanjem toka može postići vrijednosti standardne mjerne nesigurnosti start-stop uticaja od 0,0022% do 0,0135% za ugao otvaranja/zatvaranja od 90 stepeni i vrijeme punjenja od 30 do 180 sekundi, a za manje uglove i niže vrijednosti. Dobivene vrijednosti su istog reda veličine kao i one dobivene u NMI, sto je potvrđeno međulaboratorijskim poređenjem.

6. LITERATURA

- [1] JCGM 100:2008 (GUM with minor corrections) Evaluation on Measurement Data, Guidelines to the Expression of Uncertainty in Measurement, 1995/2008.
- [2] EA - 4/02 Expression of the Uncertainty of Measurements in Calibration, 1999.
- [3] EN/ISO/IEC 17025-2000, General requirements for the competence of testing and calibration laboratories
- [4] Institut za akreditiranje Bosne i Hercegovine, OD 07-03. Pravila za prihvatljivu sljedivost mjerenja, Izdanje 4, 2013.
- [5] ILAC P10:01/2013, ILAC Policy on Traceability of Measurement, 2013.
- [6] Rozić,M.:Analiza i procjena start-stop utjecaja na rezultate umjeravanja mjerila pritiska,magistarski rada Mašinski fakultet, Zenica, 2013.