

Skystojo kuro srautų matavimo ir sieties užtikrinimo tyrimas

Nerijus Pedišius,

Andrius Bončkus

*Lietuvos energetikos institutas,
Šiluminių įrengimų tyrimo ir
bandymų laboratorija, Breslaujos g. 3,
LT-44403 Kaunas
El. paštas: nerijus@mail.lei.lt*

Šiuolaikinės modernios matavimo sistemos su kameriniais ir kitų tipų skaitikliais užtikrina įvairių skysčių, naudojamų gamyboje, transporte ir šildymui, apskaitą. Netikslus šių skysčių matavimas gali sukelti ženklus finansinius nuostolius, todėl būtina užtikrinti pastovų šių matavimo sistemų kalibravimą, naudojant etalonus bei susiejant pastaruosius su kitų šalių etalonais. Skystojo kuro tūrio ir debito vienetų atkūrimo ir perdavimo įrenginys užtikrina darbinį tūrio ir debito etalonų – kamerinių skaitiklių kalibravimą su neapibrėžtimi, ne didesne nei $\pm 0,11\%$ esant debitams iki $150 \text{ m}^3/\text{h}$. Šią neapibrėžtį galima sumažinti iki $\pm 0,08\%$, atlikus papildomus sąlygojančių veiksnių tyrimus.

Raktažodžiai: Srautų matavimai, skystasis kuras, tūris, debitas, klampa, matavimų sietis, neapibrėžtis, saikiklis, kamerinis skaitiklis

1. ĮVADAS

Tekančio skystojo kuro matavimai užima gana svarbią vietą Lietuvos ūkyje ir glaudžiai siejasi su šiuolaikinių iškastinio kuro taupymo ir aplinkosaugos problemų sprendimu. Kuro apskaitos tikslumui reikalavimai nuolat griežtėja. Siekiant užtikrinti reikiamą apskaitos sistemų tikslumą, būtina sukurti etaloninius įrenginius ir atlikti tyrimus pagrindiniams veiksniams, galintiems turėti įtakos darbinį matavimo priemonių tikslumui, nustatyti. Kuro apskaita degalinėse ir jos priemonių patikra praktiškai yra išspręsta ir čia didelių problemų nekyla, nebent reikia gerinti patikroms naudojamos įrangos techninį lygį. Etalonais šioje srityje naudojami saikikliai – tūrio etalonai, kalibruojami svėrimo ar tūrinio metodais, kurie garantuoja reikiamą matavimo neapibrėžtį ir nenutrūkstamą matavimų sietį.

Daugiau sunkumų kyla vykdant apskaitą įvairaus tipo skaitikliais, kurie įrengiami benzinvežiuose, aptarnaujančiuose oro uostus, degalines ir kitus vartotojus, bei kuro išdavimo ir paskirstymo terminaluose, kuro bazėse, geležinkelio stotyse ir kituose objektuose. Ateityje prie tokių vartotojų gali būti priskirtos katilinės, tiekiančios šilumą pastatams šildyti ir buitiniam karštam vandeniui ruošti. Galima tvirtinti, kad šiuo metu mobiliose transporto priemonėse eksploatuojama iki 130, stacionariose vietose – iki 140 skaitiklių.

Svarbiausius sunkumus lemia tokie veiksniai:

- vis didėjantys matuojamieji debitai, kurie jau dabar siekia $120\text{--}140 \text{ m}^3/\text{h}$ ir toliau gali padidėti iki $200 \text{ m}^3/\text{h}$;
- reikiamas didelis tikslumas. Tarptautiniai dokumentai [1, 2] reikalauja, kad skaitiklių paklaidos neviršytų $\pm 0,30\%$, matavimo sistemų – $\pm 0,50\%$;
- stipri matavimo tikslumo priklausomybė nuo klamos, kuri skysčiams smarkiai priklauso nuo jų temperatūros, bei neišvengiamai patenkančio į skystį oro ar dujų kiekio;

- brangiai kainuojanti įranga, nes be stacionaraus įrenginio tūrio ir debito reikšmėms atkurti taip pat reikalingi mobilūs įrenginiai darbinėms priemonėms kalibruoti darbo vietoje. Įranga turi garantuoti ne tik didelį tikslumą, bet ir tinkamą darbą ir priešgaisrinės saugos lygį.

Būtina atkreipti dėmesį į tai, kad skystojo kuro kiekių matavimai priklauso sričiai, kuri apibendrintai apibrėžiama kaip skysčių (ne vandens) sritimi. Kuo didesnė skysčio klampa, tuo stipresnė jo klamos priklausomybė nuo temperatūros ir tuo daugiau reikia turėti duomenų apie skysčio rūšies įtaką matavimo tikslumui. Todėl sprendžiant skystojo kuro kiekio matavimo problemas, kartu sprendžiami uždaviniai, susiję apskritai su įvairių klampių skysčių tėkmės matavimais.

2. TŪRIO IR DEBITO REIKŠMIŲ ATKŪRIMAS IR PERDAVIMAS

Pagal nusistovėjusią praktiką taikomi du metodai tūrio ir debito reikšmėms atkurti, pagrįsti pratekėjusio skysčio tūrio arba masės matavimais.

Tūrio matavimas, surenkant per tam tikrą laiką pratekėjusį skystį etaloningėje talpykloje – saikiklyje, plačiausiai taikomas metodas skysčiams, kurių dinaminė klampa ne didesnė kaip $20 \text{ mPa} \cdot \text{s}$. Šis metodas taikomas ne tik stacionariuose įrenginiuose, bet ir darbinį skaitiklių kalibravimui ar patikrai jų eksploatavimo vietoje. Būdingų pastarųjų matavimų pavyzdžiu gali būti skystojo kuro skaitiklių patikra degalinėse naudojant įvairios talpos saikiklius. Tai nusistovėjęs ir visuotinai pripažintas praktinis metodas. Negalima atmesti šioje srityje galimybės taikyti svėrimo metodą, kuris tobulėjant svėrimo priemonėms vis labiau taikomas ne tik didelės klamos skysčiams. Tačiau visais atvejais susiduriama su tam tikromis problemomis, kurios išskyla perduodant atkuriamas tūrio ar debito reikšmes darbiniam

etalonams ar matuokliams, kuriais dažniausiai būna kameriniai skaitikliai (toliau – skaitiklis). Jos pirmiausia iškyla dėl naudojamo etaloninio įrenginio veikimo režimo.

Galima naudoti įrangą, kai etaloninio saikiklio ar sveriamos talpyklos pildymas atliekamas skysčiui cirkuliuojant įrenginyje ir per skaitiklį esant pasirinktai pastoviai debito reikšmei. Tačiau šiuo atveju reikalinga gana sudėtinga įranga, turinti srauto kreiptuvą [3], kuris tekantį skystį reikiamu momentu nukreipia į saikiklį ir jam prisipildžius vėl nukreipia skystį atgal į cirkuliacinį kontūrą. Be to, tokią įrangą sunku pritaikyti mobiliame įrenginyje ir beveik visuomet praktikoje skystojo kuro skaitikliai veikia „start–stop“ režimu, t. y. kuro srautas perleidžiamas per skaitiklį atidarant uždaromąją sklendę ir stabdomas ją uždarant.

Taigi nagrinėjant pastarąjį atvejį susiduriame su tuo, kad sklendės atidarymo ir uždarymo metu kamerinis skaitiklis veikia atitinkamai kintant debitui nuo nulio iki tam tikros pasirinktos reikšmės, ir atvirkščiai. Būtent šiose stadijose skaitiklių paklaida ženkliai priklauso nuo debito reikšmės, nes mažėjant debitui didėja skysčio, pratekančio per tarpą tarp skaitiklio korpuso ir jo darbinio elemento, kiekis ir skaitiklio nėra matuojamas.

Taigi labai svarbu įvertinti šių skaitiklio paklaidos pokyčių įtaką pertekancio skysčio kiekio matavimo tikslumui. Tai galima atlikti įtraukus pataisas, jei yra žinomi debito ir skaitiklio paklaidos kitimo sklendės atidarymo ir uždarymo stadijose (1 pav.) dėsningumai arba parinkus sklendės atidarymo (AE) ir uždarymo (FD) trukmės santykį su bendrąja matavimo ciklo (AD) trukme taip, kad pataisa būtų nežymi ir ją būtų galima įvertinti padidinant priimtines ribose matavimo neapibrėžtį.

Pastarasis metodas yra priimtinesnis, nes debito ir paklaidų kitimo dėsningumus AB ir CD stadijose sunku tiksliai įvertinti. Esami duomenys [4, 5] rodo, kad rekomenduojama riboti sklendės atidarymo trukmes, kurios siekiant išvengti hidraulinių smūgių turi būti ne mažesnės kaip

$$\tau = 0,15 q_v \text{ arba } \tau = 0,1 \sum \tau_i \quad (1)$$

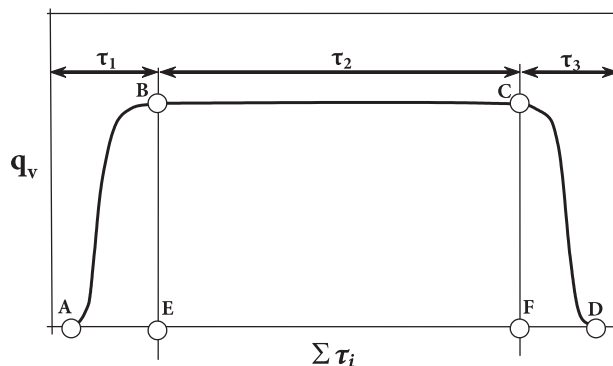
čia $\tau = \tau_1 + \tau_3$ – laikas, per kurį debitas padidinamas nuo 0 iki pasirinktos reikšmės ir vėl sumažinamas iki 0 s; q_v – tūrio debitas m^3/h ; $\sum \tau_i = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3$ – visa matavimo ciklo – saikiklio pildymo trukmė.

1 lentelė. Pamatinių saikiklių metrologinės charakteristikos

Vardinis tūris dm^3	100	200
Tipas	M1p-100-01	M1p-200-01
Nr., metai	10, 2000 m.	6, 2000 m.
Gamintojo nustatytas tūris dm^3	100,0059 (20°C)	200,00388 (20°C)
Kaklo skersmuo mm	68	81
Kalibruotas tūris dm^3	100,0136 (20°C)	199,9961 (20°C)
Išplėstinė neapibrėžtis %	$\pm 0,0066$	$\pm 0,0061$

2 lentelė. Įrenginio saikiklių charakteristikos

Vardinis tūris dm^3	500	2000	5000
Gamyklinis Nr., metai	01, 1983	00553, 2003	02, 1983
Kalibruotas tūris dm^3	500,0617 (20°C)	1999,9670 (15°C)	4999,0917 (20°C)
Kaklo skersmuo mm	285	183	1014
Išplėstinė neapibrėžtis dm^3 arba %	$\pm 0,199$ $\pm 0,040$	$\pm 0,700$ $\pm 0,035$	$\pm 2,230$ $\pm 0,050$



1 pav. Būdingas etaloninio saikiklio pildymo režimas kalibruojant kamerinį saikiklį

Toliau analizuojamos skysčio tūrio ir debito vienetų atkūrimo ir perdavimo neapibrėžtys, kai etalonine matavimo priemone naudojami etaloniniai saikikliai ir atkuriamos reikšmės perduodamos kameriniams skaitikliams taikant „start–stop“ režimą (1 pav.), siekiant nustatyti priimtinas matavimo ciklo atskirų stadijų trukmes ir su tuo susijusį tūrio ir debito reikšmių perdavimo neapibrėžties sandą, kuris ženkliai nedidintų suminę neapibrėžtį.

3. TŪRIO REIKŠMIŲ ATKŪRIMO IR PERDAVIMO NEAPIBRĖŽČIŲ ANALIZĖ

Tūrio reikšmių atkūrimo neapibrėžtys. Taikant tūrio reikšmių atkūrimo metodą etaloniniame įrenginyje, kurio detalus aprašymas pateiktas 4 skyriuje, pamatiniais tūrio etalonais naudojami 100 ir 200 dm^3 saikikliai (1 lentelė).

1 lentelėje nurodyti saikikliai buvo kalibruojami svėrimo metodu, taikant neapibrėžties vertinimą pagal [7].

Etaloniniame įrenginyje (5 pav.), skirtame atkurti ir perduoti kuro tūrio reikšmes darbiniais etalonams – kameriniams kuro skaitikliams, įrengtų 500, 2000 ir 5000 dm^3 talpos saikiklių metrologinės charakteristikos pateiktos 2 lentelėje.

Šie saikikliai buvo kalibruojami tūriniu būdu:

- 500 dm^3 talpos saikiklis kalibruojamas naudojant 100 dm^3 talpos 1 atskyrio saikiklį Nr. 10;
- 2000 dm^3 talpos saikiklis Nr. 00553 buvo kalibruotas firmos ISOIL akredituotoje METEOR laboratorijoje, garantuojančioje sietį su Italijos nacionaliniais etalonais;

• 5000 dm³ talpos saikiklis kalibruojamas naudojant 200 dm³ talpos 1 atskirio saikiklį Nr. 6.

Skaičiuojant išplėstinę neapibrėžtį aprėpties daugiklis įvertintas, esant normaliajam skirstiniui, pasiklovimo lygmeniui 95% ir efektyviajam laisvės laipsnių skaičiui 53, 82 ir 85, atitinkamai kalibruojant 0,5, 2,0 ir 5,0 m³ talpos saikiklius.

Tūrio reikšmių perdavimo neapibrėžtys. Perduodant saikikliais atkurtas reikšmes, kameriniais skaitikliais matuojamasis tūris išreiškiamas lygtimi:

$$V_{sk} = V_{et} + \Delta V_{et} + \Delta V_t + \Delta V_o + \Delta V_p + \Delta V_{at}; \quad (2)$$

čia V_{et} – etaloniniu saikikliu išmatuotas tūris; ΔV_{et} – etaloninio saikiklio pataisa, susijusi su lygio atskaita ir jo stabilumu; ΔV_t – pataisa dėl etaloninio saikiklio ir kalibruojamojo skaitiklio bei skysčio temperatūros plėtimosi; ΔV_o – pataisa dėl skysčio tankio pokyčių orui patekus į skystį; ΔV_p – pataisa dėl debito kitimo pradinėje ir galutinėje saikiklio pildymo stadijose taikant „start–stop“ metodą; ΔV_{at} – pataisa dėl skaitiklio rodmenų atskaitos.

Skaitiklio tūrio matavimo suminę standartinę neapibrėžtį galima išreikšti lygtimi:

$$u_{sk} = (C_1^2 u_{et}^2 + C_2^2 u_{\Delta V_{et}}^2 + \sum C_{3i}^2 u_{\Delta V_{ti}}^2 + C_4^2 u_{\Delta V_o}^2 + C_5^2 u_{\Delta V_p}^2 + C_6^2 u_{\Delta V_{at}}^2 + C_7^2 u_{eksp}^2)^{0,5}; \quad (3)$$

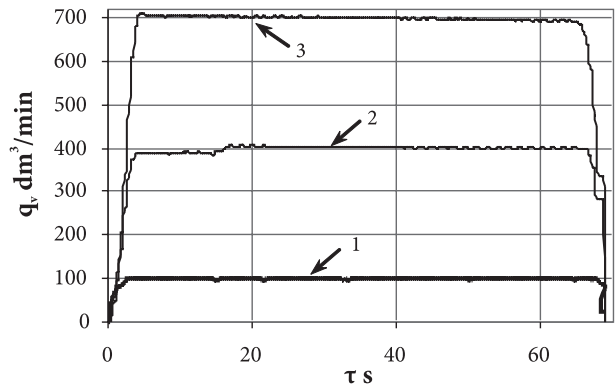
čia u_{et} – etaloninio saikiklio neapibrėžtis, įvertinant ir jo stabilumą; $u_{\Delta V_{et}}$ – saikiklio lygio atskaitos neapibrėžtis; $\sum u_{\Delta V_{ti}}$ – saikiklio ir skaitiklio temperatūros plėtimosi koeficientų, skysčio tankio ir jo temperatūros įvertinimo neapibrėžčių suma; $u_{\Delta V_o}$ – skysčio tankio pokyčio dėl oro įvertinimo neapibrėžtis; $u_{\Delta V_p}$ – neapibrėžties sandas, įvertinantis kalibruojamojo skaitiklio pereinamąjį veikimo režimą pradinėje ir galutinėje saikiklio pildymo stadijose; $u_{\Delta V_{at}}$ – skaitiklio rodmenų atskaitos neapibrėžtis; u_{eksp} – eksperimentinis standartinis matavimų vidurkio nuokrypis (A tipo neapibrėžties sandas).

Kaip buvo aptarta 2 skyriuje, vienas svarbiausių neapibrėžties sandų perduodant tūrio reikšmes kameriniams skaitikliams yra pataisos dėl debito kitimo pradinėje ir galutinėje saikiklio pildymo stadijose neapibrėžtis. Todėl priėmus, kad skaitiklio paklaida pagrindinėje saikiklio pildymo stadijoje artima nuliui, skaitikliu išmatuotą tūrį galima išreikšti formule:

$$V_{sk} = q_1 \tau_1 (1 \pm \delta_1) + q_2 \tau_2 + q_3 \tau_3 (1 \pm \delta_2); \quad (4)$$

čia q_1 ir q_3 – atitinkamai vidutinės debito reikšmės pradinėje ir galutinėje saikiklio pildymo stadijoje; q_2 – pasirinktas kalibravimo debitas (q_{max}), kuriuo pildomas pagrindinis saikiklio tūris; τ_1 , τ_2 ir τ_3 – atitinkamais debitais saikiklio pildymo trukmės; δ_1 ir δ_2 – etaloninio skaitiklio vidutinės paklaidos pradinėje ir galutinėje saikiklio pildymo stadijose.

Atlikti tyrimai parodė, kad įrenginyje sumontuotas automatini programuojamas vožtuvas, skirtas saikiklio pildymui valdyti, užtikrina be hidraulinių smūgių beveik tiesišką debito didėjimą ir mažėjimą atitinkamai AB ir CD stadijose ir pagrindinėje BC stadijoje pastovus debitas atitinka pasirinktą reikšmę. Be to, debito kitimo dėsningumai yra panašūs, nors AB stadijoje labiau pasireiškia trinties jėgų poveikis skaitiklio darbo rato su-



2 pav. Debito kitimo pobūdis saikiklio pildymą valdant automatiiniu programuojamu vožtuvu: 1, 2 ir 3 – atitinkamai 100, 400 ir 700 dm³/min

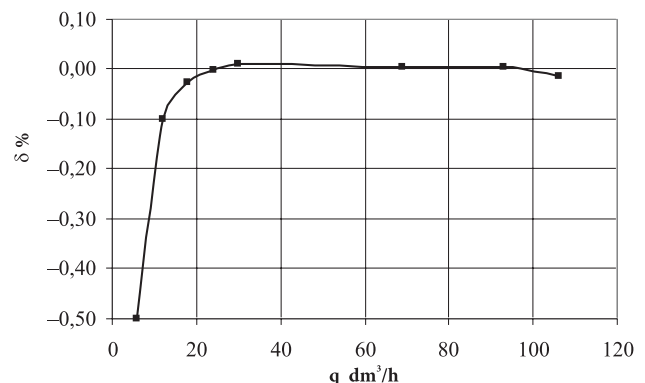
kimuisi, tuo tarpu CD stadijoje – srauto inercijos jėgų poveikis. Taigi realus debito kitimas (2 pav.) yra analogiškas 1 pav. parodytam ir analizei pasirinktam dėsningumui.

Kaip matyti iš 3 pav. pateiktų skaitiklio paklaidų įvertinimo ir palyginimo rezultatų, debitui sumažėjus iki skaitikliui būdingos mažiausios leidžiamosios matavimo ribos, kuri sudaro apie 0,1 q_v , paklaida toliau debitui mažėjant smarkiai kinta link neigiamų reikšmių, t. y. skaitikliu išmatuojamas tūris yra mažesnis nei matuojamas etaloniniu saikikliu. Nors nėra visiškos analogijos, bet galima daryti išvadą, kad skaitiklio paklaidos AB ir CD stadijose kis taip pat, kaip tai parodyta 3 paveiksle.

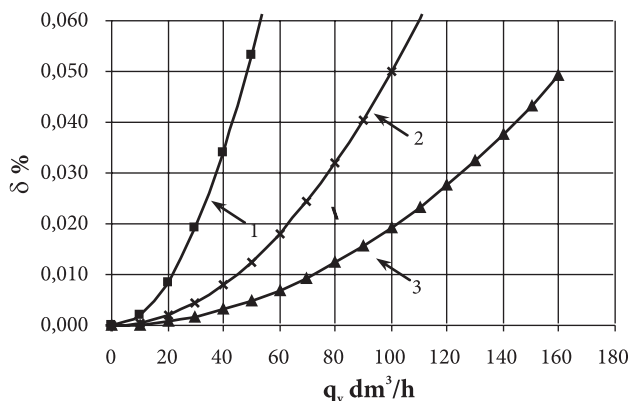
Taigi atliekant skaitinę reikiamos saikiklio talpos vertinimą, kad jį pildant „start–stop“ metodu pradinė AB ir galutinė CD stadijos neturėtų reikšmingos įtakos skaitiklio kalibravimo neapibrėžčiai arba sudarytų reikšmę, ne didesnę nei iš anksto pasirinkta reikšmė, buvo priimtos tokios prielaidos:

- pradinėje ir galutinėje pildymo stadijose debitas ir skaitiklio paklaida kinta tiesiškai;
- šių stadijų trukmę apibrėžia (1) formulė;
- vidutinė skaitiklio paklaida šiose stadijose sudaro – 0,50%;
- vidutinė debito reikšmė sudaro 0,5 pasirinktos kalibravimo debito reikšmės.

4 pav. pavaizduoti skaitmeninės analizės duomenys, rodantys kalibruojamojo skaitiklio suminės neapibrėžties sando kitiimą priklausomai nuo debito vertės ir etaloninio saikiklio talpos, kuri tiesiogiai siejasi su saikiklio pildymo trukme. Kadangi buvo priimta nemažai prielaidų, šios paklaidų reikšmės, nors turi sisteminį pobūdį, bet nėra toliau naudojamos matavimo rezultatams pataisyti, o laikomos papildomu neapibrėžties šaltiniu ir



3 pav. Kamerinio skaitiklio paklaidų kitimas dėl debito reikšmės



4 pav. Suminės neapibrėžties sandų, susijusio su saikliklo pildymo režimu, reikšmės: 1, 2 ir 3 – atitinkamai saikiklių talpa 0,5, 2,0 ir 5,0 m³

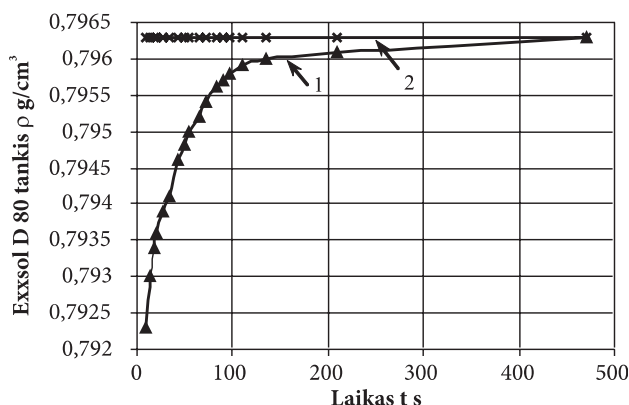
vertinamos (3) lygtyje skaičiuojant suminę standartinę neapibrėžtį.

Iš skaičiavimo rezultatų matyti, kad šio sandų indėlis į tūrio matavimo neapibrėžtį gali siekti $\pm 0,05\%$ esant etaloninių saikiklių talpai 0,5, 2 ir 5 m³ ir atitinkamai debitų reikšmėms apytikriai 50, 100 ir 160 m³/h. Neapibrėžčių vertės mažinant debitą sumažėja 2 kartus esant srautams atitinkamai 30, 60 ir 100 m³/h.

Šiuos rezultatus galima aproksimuoti formule:

$$\Delta = 10^{-5} \cdot 1,03 V_s^{-1,045} q^2 \% \quad (5)$$

čia V_s – saikliklio tūris m³; q – skystčio debitas m³/h.



5 pav. Skystčio tankio priklausomybė nuo laiko, per kurį dalis oro pasišalina iš stovinčio skystčio: 1 – suplankus skystį inde; 2 – cirkuliuojančio skystčio tankis prieš kalibruojamąjį skaitiklį esant $q = 42 \text{ m}^3/\text{h}$

Praktika taip pat rodo, kad beveik visuomet veikiant įrenginiui į skystį patenka oras. Oro burbuliukų atsiradimą skystyje lemia kavitacijos reiškiniai siurblyje, esant didelėms jo apsakoms, sistemos nesandarumai, mažas slėgis įrenginio vamzdyne, stiprus maišymasis skystčiui ištekant į surinkimo baką arba įtekant į saikiklį.

5 pav. parodyta skystčio tankio, matuojamo etaloniniu tankio-klampos matuokliu SVM 3000, priklausomybė nuo laiko, per kurį dalis oro pasišalina iš stovinčio skystčio, kuris prieš atliekant matavimą smarkiai suplankamas inde. Tai atitinka didžiausią oro kiekį, kuris gali būti cirkuliuojančiame skystyje ir kuris dėl to gali iki 0,5% padidinti skystčio, pertekančio per kalibruojamąjį skaitiklį, tūrį.

3 lentelė. Kameranio skaitiklio kalibravimo 0,5 ir 5 m³ talpos etaloniniais saikikliais suminės neapibrėžties sandų reikšmės

Dydis X_i	Įvertis x_i	Standartinė neapibrėžtis $u(x_i)$	Skirstinys	Įtakos koef.	Suminės neapibrėžties sandų reikšmės $u_r(Y_r) \text{ dm}^3$	Laisvės laipsnių skaičius
Etaloninio saikliklio tūris	0,5 m ³	0,10 dm ³	Normalusis	1	0,100	50
	5,0 m ³	1,25 dm ³			1,250	
Etaloninio saikliklio stabilumas	0,5 m ³	0,05 dm ³	Normalusis	1	0,050	50
	5,0 m ³	0,65 dm ³			0,650	
Skystčio lygio atskaita saikiklyje ¹	2 mm	0,052 dm ³	Trikampis	1	0,052	∞
	3 mm	0,992 dm ³			0,992	
Skaitiklio rodmenų atskaita	1,0 impulsas arba 0,04 dm ³	0,023 dm ³	Tolydusis	$1 \sqrt{2}$	0,032	∞
Temperatūra saikiklyje ir saikiklyje	$\approx 20^\circ\text{C}$	0,1 $^\circ\text{C}$	Tolydusis	0,034 ir 0,34 dm ³ °C ⁻¹	0,0034 0,034	∞
Saikliklio ir skaitiklio tūrinis plėtimosi koeficientas	0,000048°C ⁻¹	0,0000048°C ⁻¹	Normalusis	3535 ir 35350 dm ³ °C ⁻¹	0,017 0,170	50
Skystčio Exxsol D80 tankis	796 kg/m ³	0,0120 kg/m ³	Normalusis	0,5 ir 5 dm ³ /(kg/m ³)	0,006 0,060	50
Debito nepastovumas pildant saikiklį	0,05%	0,145 dm ³	Tolydusis	1	0,145	∞
		1,450 dm ³			1,450	
Tūrio pokytis dėl oro skystyje	0,025%	0,125 dm ³	Tolydusis	1	0,125	∞
		1,250 dm ³			1,250	
Eksperimentinis standartinis nuokrypis (5 matavimai)	(0,02%) 0,10 dm ³ 1,0 dm ³	0,045 dm ³	Normalusis	1	0,045	4
		0,45 dm ³			0,450	
Tūris (15 $^\circ\text{C}$)	500 dm ³ 5000 dm ³				0,236	79
					2,669	78

Kaip matyti 5 pav., oras gana greitai pasišalina iš atviro indo. Tai reiškia, kad pildant saikiklį turime analogišką reiškinį ir norint pataisyti matavimo rezultatą turi būti matuojamas cirkuliuojančio skysčio tankis prieš kalibruojamąjį skaitiklį ir pripylus saikiklį bei po to išlaukus ne mažiau kaip 5 min. Tačiau skysčio, paimto iš įrenginio cirkuliacijos kontūro, tankio matavimai parodė, kad skysčio tūrio padidėjimas nėra didelis ir neviršija 0,02%.

Apibendrintieji suminės standartinės neapibrėžties skaičiavimo rezultatai pateikti 3 lentelėje.

Visuose skaičiavimuose įvertinta, kad po 2 kartus daromos MP atskaitos arba matuojami analogiški dydžiai. Norminė temperatūra 15°C.

Išplėstinė neapibrėžtis kalibruojant kamerinius skaitiklius:

- esant debitams iki 50 m³/h ir naudojant 0,5 m³ talpos saikiklį – $\pm 0,472$ dm³ arba $\pm 0,094\%$;
- esant debitams iki 160 m³/h ir naudojant 5,0 m³ talpos saikiklį – $\pm 5,338$ dm³ arba $\pm 0,11\%$.

4. TECHNINIS ETALONINIO ĮRENGINIO REALIZAVIMAS

Pagrindinės įrenginio charakteristikos. 6 pav. parodyta etaloninio įrenginio, kuriame techniškai realizuotas tūrinis matavimo metodas pagal techninės užduoties valstybės etalonui [7] sąlygas naudojant etaloninius 0,5, 2,0 ir 5,0 m³ talpos saikiklius, bendroji schema. Įrenginio etaloniniai saikikliai gali būti kalibruojami pamatiniais saikikliais, kurių neapibrėžtis neviršija $\pm 0,01\%$, arba svarstyklėmis.

Įrenginio darbiniai etalonai – 2 kameriniai Smith Meter firmos skaitikliai, kurių vieno matavimo ribos 4,5–45, kito – 13,5–135 m³/h; 1 kamerinis (sraigtinis) skaitiklis PPO25 – 1,6 SU, kurio matavimo ribos 1,0–7,0 m³/h.

Darbinio skysčiu naudojamas Exxsol D80, kuris yra naftos perdirbimo produktas, iš kurio pašalinti lengvieji angliavande-

niliai. Esant 20°C temperatūrai, Exxsol D80 tankis $\rho = 794,4$ kg/m³ ir dinaminė klampa $\mu = 1,693$ mPa · s.

Įrenginiui veikiant, Exxsol D80 skystis iš rezervuaro (1), siurbliu (2) per filtrą (3) ir oro (dujų) atskirtuvą (4) tiekiamas į matavimo ruožą, kuriame įrengiama, jei reikia, kalibruojamasis skaitiklis (5) ir nuosekliai jam reikiamo vardinio pralaidumo darbinis etalonas (6) bei programuojamas vožtuvas (7). Kalibruojant darbinius etalonus ir, jei siekiama didesnio tikslumo, darbinius kuro skaitiklius, pertekėjusiam skysčio tūriui matuoti pildomi etaloniniai saikikliai (8) taikant „stovintį start–stop“ režimą. Darbiniai skaitikliai paprastai kalibruojami darbiniais etalonais (6) ir skystis po vožtuvo (7) grąžinamas į rezervuarą (1). Pastaruoju atveju gali būti taikomas „bėgantis start–stop“ režimas.

5. TARPTAUTINIO LYGINIMO REZULTATAI

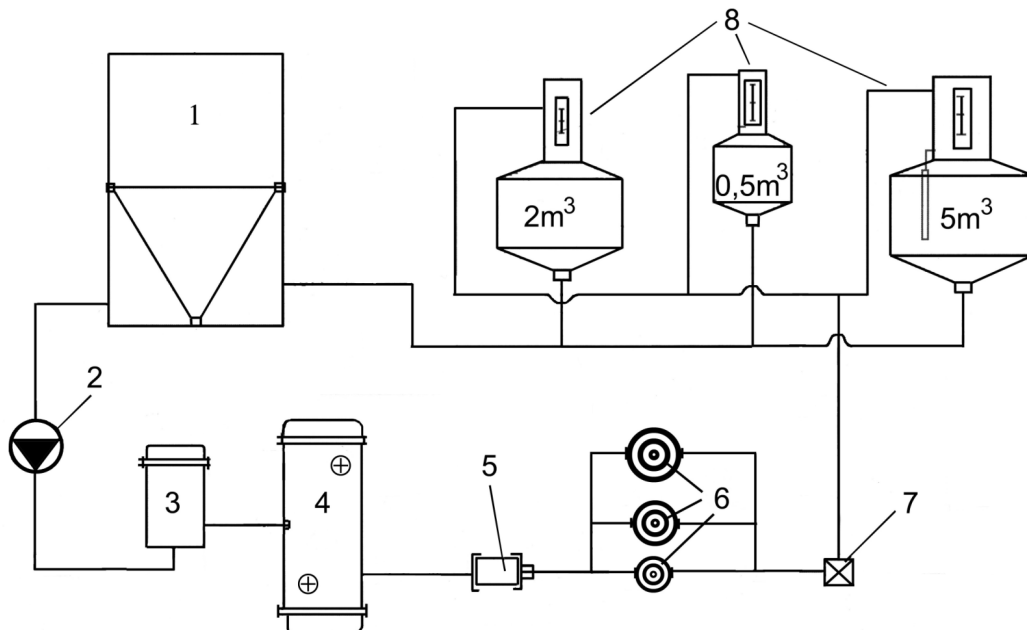
Toliau pateikiami lyginimo su Švedijos matavimų ir bandymų instituto (SP) skysčių matavimo laboratorija, atsakinga už valstybės etalonus ir nuolat organizuojančia tarptautinius lyginimus.

Dvišalio lyginimo objektu buvo pasirinktas kamerinis Smith firmos, ST 75 modelio skaitiklis Nr. 18B1-109620. Šio skaitiklio mažiausias debitas 4,5 m³/h, didžiausias – 45 m³/h, gamintojo deklaruota vardinė impulso reikšmė 25 imp./dm³ [8]. Lyginimo kriterijumi buvo pasirinktas normalizuotas nuokrypis, išreikšiamas formule:

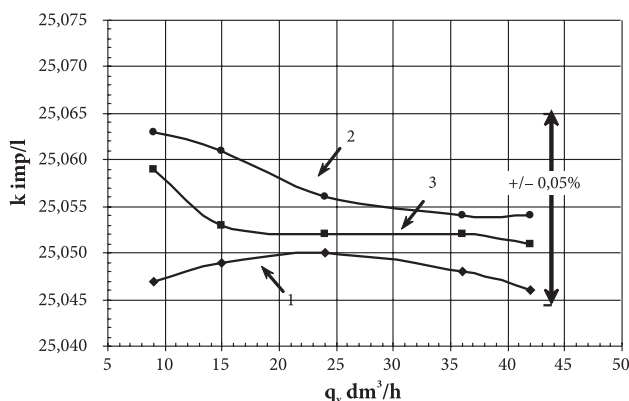
$$E_n = (x_{lab} - x_e) / (U_{lab}^2 + U_e^2)^{0,5}; \quad (6)$$

čia x – matavimo rezultatas, U – išplėstinė neapibrėžtis.

Kaip matyti iš 7 pav. pateiktų rezultatų, kalibravimo kreivės yra labai artimos. Tačiau logiška ir taip pat buvo laukta, kad SP kalibravimo kreivė gali būti kiek žemiau dėl naudojamo skysčio mažesnės klamos, kuri sukelia didesnius vidinius skysčio pertekėjimus tarp skaitiklio korpuso ir jo darbo rato. Kaip rodo prak-



6 pav. Etaloninio įrenginio bendroji schema: 1 – skysčio Exxsol D80 10 m³ talpos rezervuaras; 2 – siurblys; 3 – skysčio filtras; 4 – oro arba dujų atskirtuvas; 5 – kalibruojamasis skaitiklis; 6 – darbiniai etalonai – kameriniai skaitikliai; 7 – programuojamas saikiklių užpildymą valdantis vožtuvas; 8 – etaloniniai 0,5, 2,0 ir 5,0 m³ talpos saikikliai



7 pav. Lyginimo su SP rezultatai: 1 – SP laboratorijos matavimo rezultatai (skystis Exxsol D80, $\rho = 794,4 \text{ kg/m}^3$, $\mu = 1,693 \text{ mPa} \cdot \text{s}$); 2, 3 – mūsų rezultatai atitinkamai taikant pradžioje svėrimo ir vėliau tūrinį metodą

tinė patirtis, šie pertekėjimai padidėja esant mažoms ir didelėms debito reikšmėms. Normalizuotas nuokrypis visais atvejais kinta nuo 0,3 iki 0,03, t. y. jis yra daug mažesnis nei 1. Didesnės nuokrypio reikšmės gaunamos esant mažiems debitams, kai pradeda reikštis didesnė klamos įtaka. Tai rodo gerą rezultatų sutapimą su SP, kuris turi didelį patyrimą skysčių matavimo srityje ir yra patvirtinęs savo rezultatų sietį su kitų Europos metrologijos institutų teikiamomis reikšmėmis.

6. IŠVADOS

1. Skystojo kuro tūrio matavimo įrenginio etaloniniais saikikliais neapibrėžtis nuo 0,5 iki 5,0 m³ neviršija $\pm 0,05\%$.

2. Skaičiavimais nustatytas skysčio debito ir saikiklio tūrio reikšmių ryšys, kuris leidžia valdyti „stovintį start–stop“ režimo daromą įtaką skaitiklio kalibravimo suminei neapibrėžčiai taip, kad ji neviršytų 0,025–0,050%.

3. Nustatyta, kad įrenginys užtikrina darbinių tūrio ir debito etalonų – kamerinių skaitiklių kalibravimą su neapibrėžtimi, ne didesne nei $\pm 0,11\%$, esant debitams iki 150 m³/h. Tyrimai rodo, kad neapibrėžtį galima sumažinti iki $\pm 0,08\%$, atlikus skysčio temperatūros sistemos reguliavimo ir oro šalinimo įrangos papildomus tyrimus.

4. Tarptautiniais lyginimais patvirtintas įrenginio teikiamų skystojo kuro reikšmių artumas kitų Europos šalių etaloninių įrenginių teikiamoms reikšmėms, leidžiantis garantuoti tarptautinę matavimų sietį.

5. Klamos įtakos vertinti keičiant skystojo kuro rūšį naudojami skaitiklių gamintojų siūlomi perskaičiavimai reikalauja tyrimais pagrįstą patvirtinimą. Šiuos tyrimus būtina tęsti siekiant išplėsti jų rezultatus kitiems skysčiams, kurių klampa smarkiai kinta.

6. Atkuriamos vertės nenutrūksta susietos su Lietuvos valstybės masės ir tūrio etalonais ir pripažintos EURAMET organizacijos, vienijančios Europos šalių metrologines institucijas. Įrenginio techninės metrologinės charakteristikos atitinka valstybės etalonui išskeltus reikalavimus ir dabartinius Lietuvos ūkio poreikius.

Literatūra

- OIML R 117:1995. Measuring systems for liquids other than water. P. 17–21.
- OIML DR 117-1:9 February 2007. Measuring systems for liquids other than water – Part 1: Metrological and technical requirements. P. 22–25.
- Bončkus A., Zygmantas G., Pedišius A. Įrenginio vandens tūrio ir srauto vienetams atkurti prototipo bandymai // Matavimai. Kaunas: Technologija, 2005. Nr. 2(34). P. 14–20.
- ISO 4064-3:2005. Measurement of water flow in fully charged closed conduits – Meters for cold potable water and hot water – Part 3: Test methods and equipment. P. 21.
- Kalibravimo instrukcija 5 (EA-5). Bendrosios tekančių skysčių, išskyrus vandenį, matavimo prietaisų kalibravimo taisyklės. 1989 m. leidinys su 1990 m. pakeitimais. PTB, Vokietija. 1991. P. 27.
- Matavimo neapibrėžties išraiška kalibravime. EA leidinys. EA-4/02. 1999. P. 79.
- Techninė užduotis naftos ir naftos produktų tūrio ir debito vienetų valstybės etalono kompleksui sukurti (vietoje techninės užduoties, patvirtintos 1997 m.), patvirtinta Valstybinės metrologijos tarnybos direktoriaus 2003 m. sausio 24 d. Kaunas–Vilnius, 2002. P. 11.
- Stolt K., Pedišius N. Bilateral intercomparison between Lithuanian Energy Institute (LEI) and Swedish National Testing and Research Institute (SP) in the field of kerosene. SP Report 2004:45. Measurement Technology. Boras 2004. P.10.

Nerijus Pedišius, Andrius Bončkus

INVESTIGATION OF LIQUID FUEL FLOW MEASUREMENT AND TRACEABILITY ASSURANCE

Summary

Nowadays, modern measuring systems with positive displacement and other type meters ensure accounting of various liquids in industry, transport and heat supply sectors. Inaccurate consumption measurements of those liquids may cause significant financial losses, therefore, it is necessary to make permanent calibration of measuring systems using reference standards and to ensure the traceability of measurement results. The facility for reproduction and transfer of liquid fuel volume and flow rate units ensures calibration of the working volume and flow rate standards – positive displacement meters with the uncertainty not higher than $\pm 0,11\%$ at the flow rate up to 150 m³/h. After an additional investigation of different influences, the uncertainty could be reduced to $\pm 0,08\%$.

Key words: flow measurement, liquid fuel, volume, flow rate, viscosity, measurement traceability, uncertainty, metering tank, positive displacement meter

Нериюс Пядишюс, Андриус Бончкус

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕРЕНИЯ ПОТОКОВ ЖИДКОГО ТОПЛИВА И ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОСЛЕЖИВАЕМОСТИ

Резюме

Современные системы измерения с камерными счетчиками и счетчиками других типов должны обеспечить учет различных жидкостей, используемых в производстве, транспорте и системах отопления. Неточность в измерениях этих жидкостей может вызвать значительные финансовые потери, для устранения которых необходимо обеспечить постоянную калибровку этих измеритель-

ных систем, используя эталоны и прослеживаемость результатов измерений. Установка для воспроизводства и передачи единиц объема и расхода жидкого топлива обеспечивает калибровку рабочих эталонов объема и расхода – камерных счетчиков с неопределенностью не более чем $\pm 0,11\%$ для расходов до $150 \text{ м}^3/\text{ч}$. После дополнительных исследований разных влияющих факторов эту неопределенность можно уменьшить до $\pm 0,08\%$.

Ключевые слова: измерение потоков, жидкое топливо, объем, расход, вязкость, прослеживаемость измерений, неопределенность, мерник, камерный счетчик