



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

TRANSPORTO INŽINERIJOS FAKULTETAS

AUTOMOBILIŲ TRANSPORTO KATEDRA

Jevgenij Černov

DEGALŲ SĄNAUDŲ SKAITIKLIO KALIBRAVIMO METODIKA

METHODS OF CALIBRATION OF FUEL CONSUMPTION METERS

Baigiamasis magistro darbas

Transporto inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 62403T104

Automobilių transporto inžinerijos specializacija

Transporto technologijos mokslo kryptis

Vilnius, 2009

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

TRANSPORTO INŽINERIJOS FAKULTETAS

AUTOMOBILIŲ TRANSPORTO KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(Parašas)

Saugirdas Pukalskas

(Vardas, pavardė)

(Data)

Jevgenij Černov

DEGALŲ SĄNAUDŲ SKAITIKLIO KALIBRAVIMO METODIKA METHODS OF CALIBRATION OF FUEL CONSUMPTION METERS

Baigiamasis magistro darbas

Transporto inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 62403T104

Automobilių transporto inžinerijos specializacija

Transporto technologijos mokslo kryptis

Vadovas

(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Konsultantas

(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Konsultantas

(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Vilnius, 2009

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
TRANSPORTO INŽINERIJOS FAKULTETAS
AUTOMOBILIŲ TRANSPORTO KATEDRA

Technikos mokslo sritis
Transporto technologijos mokslo kryptis
Transporto inžinerijos studijų kryptis
Transporto inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 62403T104
Automobilių transporto inžinerijos specializacija

TVIRTINU
Katedros vedėjas


(Parašas)
Saugirdas Pukalskas
(Vardas, pavardė)
2009 05 25
(Data)

BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO
UŽDUOTIS

2009-03-24 Nr. 06
Vilnius

Studentui (ei) Jevgenijui Černovui
(Vardas, pavardė)

Baigiamojo darbo tema Degalų srautų skaitiklio kalibravimo metodika

patvirtinta 2007 m. gruodžio mėn. 4 d. dekanų potvarkiu Nr. 318ti.

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 2009 m. gegužės mėn. 22 d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

Darbo tikslas – sudaryti kalibravimo metodiką degalų srautų skaitikliui AIC-1304.

Tikslui pasiekti išspresti šiuos uždavinius:

1. Išanalizuoti įvairių tūrinių skaitiklių kalibravimo metodikas.
2. Naudojantis metodikų sudarymo principais sudaryti kalibravimo metodiką degalų srautų skaitikliui AIC-1304.
3. Metrologiškai patikrinti skaitiklio AIC-1304 tikslumą.
4. Atlikti natūrinius skaitiklio kalibravimo bandymus ir patikrinti sudarytos metodikos tikslumą.
5. Pateikti darbo išvadą.

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai:

Vadovas 
(Parašas) doc. dr. Saugirdas Pukalskas
(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

Užduotį gavau 
(Parašas) Jevgenij Černov
(Vardas, pavardė)
2009 03 24
(Data)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Transporto inžinerijos fakultetas
Automobilių transporto katedra

ISBN ISSN
Egz. sk.
Data-.....-.....

Magistrantūros studijų **Transporto inžinerijos** programos baigiamasis darbas

Pavadinimas **Degalų sąnaudų skaitiklio kalibravimo metodika**

Autorius **Jevgenij Černov**

Vadovas **doc. dr. Saugirdas Pukalskas**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Darbe yra aptariami degalų matavimo tikslumas bei jo svarba, su tuo susijusios problemos ir jų sprendimo būdai. Apžvelgiami dažniausiai naudojami matuoklių kalibravimo būdai. Sudaryta ir patikrinta degalų sąnaudų skaitiklio kalibravimo metodika. Eksperimentiškai nustatyta, kokie yra svarbiausieji veiksniai, lemiantys matavimo paklaidų atsiradimą, bei kokiomis sąlygomis gaunamas didžiausias matavimo tikslumas. Pasiūlytos tikslumo didinimo priemonės.

Prasminiai žodžiai

matavimo tikslumas; kalibravimo būdai; paklaida; debitas; skysčių klampa

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of Transport Engineering
Department of Automobile Transport

ISBN ISSN
Copies No.
Date-.....-.....

Master Degree Studies **Transport Engineering** study programme Master's Thesis

Title **Methods of calibration of fuel consumption meters**

Author **Jevgenij Černov**

Academic supervisor **Assoc Prof Dr Saugirdas Pukalskas**

Thesis language:
Lithuanian

Annotation

In this study you can find the discussion about the precision of fuel measurement and its importance. The main problems and the decision methods.

This review includes the most popular calibration methods. Created and checked the fuel consumption counter calibration methodics. Experimentally established the main factors which cause the measurement errors and by which conditions the best precision is getting. Also offered the precision increasing measures.

Keywords

precision of fuel measurement; calibration methods;

Turiny

Ivadas	8
1. Kalibravimo įrenginiai pramoninių skysčių skaitikliams	9
1.1. Kalibravimo įrenginys benzininiam, dyzeliniam ir žibaliniam skaitikliams.....	9
1.2. Tūriniai turbostūmokliniai kalibravimo įrenginiai.....	11
1.3. Tūrinis kalibravimo įrenginys (saikiklis+skaitiklis).....	13
1.4. Svėrimo kalibravimo įrenginys.....	14
1.5. Kalibravimo įrenginys dyzeliniams skaitikliams PPU-1.....	16
1.6. Vandens skaitiklio kalibravimas.....	17
2. Tūrio ir debito reikšmių atkūrimas ir perdavimas	18
2.1. Tūrio reikšmių atkūrimo ir perdavimo neapibrėžčių analizė.....	20
2.1.1. Tūrio reikšmių atkūrimo neapibrėžtys.....	20
2.1.2. Tūrio reikšmių perdavimo neapibrėžtys.....	21
2.2. Tarptautinio lyginimo rezultatai.....	26
3. Tekančių skysčių klampos įtakos tūrio ir debito matavimui tyrimas	27
3.1. Klampos poveikio mechanizmo analizė.....	27
4. Apibendrinimas	35
5. Eksperimentiniai tyrimai	37
1 Bandydas.....	37
2 Bandydas.....	48
Išvados	57
Literatūros sąrašas	58

Paveikslų sąrašas

1 pav. Kalibravimo įrenginio bendroji schema.....	10
2 pav. Turinio turbostūmoklinio kalibravimo įrenginio bendroji schema.....	12

3 pav. Etaloninio įrenginio bendroji schema.....	14
4 pav. Dviejų kamerų svėrimo rezervuaras.....	15
5 pav. Kalibravimo įrenginys dyzeliniams skaitikliams PPU-1.....	16
6 pav. Vandens skaitiklio kalibravimas sveriant pratekėjusį vandenį.....	17
7 pav. Būdingas etaloninio saikiklio pildymo režimas kalibruojant kamerinį skaitiklį.....	19
8 pav. Debito kitimo pobūdis saikiklio pildymą valdant automatinio programuojamu vožtuvu 1, 2, ir 3.....	23
9 pav. Kamerinio skaitiklio paklaidų kitimas dėl debito reikšmės.....	23
10 pav. Suminės neapibrėžties sando, susijusio su saikiklio pildymo režimu, reikšmės.....	24
11 pav. Skysčio tankio priklausomybė nuo laiko, per kurį dalis oro pasišalina iš stovinčio skysčio.....	25
12 pav. Kamerinio matuoklio su slankiomis mentėmis schema.....	28
13 pav. Eksperimentinio tyrimo įrangos schema.....	31
14 pav. Kamerinio skaitiklio tikslumas matuojant dyzeliną	32
15 pav. Kamerinio skaitiklio tikslumas matuojant žibalą	33
16 pav. Kamerinio skaitiklio paklaidų kreivė matuojant benzina A-95.....	33
17 pav. Eksperimentinių rezultatų apibendrinimas.....	34
18 pav. Degalų sąnaudų skaitiklio AIC – 1304 sudedamosios dalys.....	38
19 pav. Degalų sąnaudų skaitiklio AIC – 1304 tikslumografikas.....	39
20 pav. Etaloninis saikiklis M1P-10 L; Nr. 144.....	39
21 pav. Degalų sąnaudų skaitiklio kalibravimo įrangos schema.....	40
22 pav. Saikiklio kaklelis su stebėjimo langu.....	40
23 pav. Skaitiklio paklaidos kitimo priklausomybės dėl debito reikšmės.....	48
24 pav. Etaloninis saikiklis M1P-2 L; Nr. 11.....	49
25 pav. Degalų sąnaudų skaitiklio kalibravimo įranga.....	50
26 pav. Skaitiklio paklaidos kitimo priklausomybės dėl debito reikšmės naudojant dyzeliną.....	53
27 pav. Skaitiklio paklaidos kitimo priklausomybės dėl debito reikšmės naudojant dyzeliną, kai elektroninio rodmenų registravimo įrenginio impulsų skaičius lygus 1979 impulsų vienam litrui.....	53
28 pav. Skaitiklio paklaidos kitimo priklausomybės dėl debito reikšmės naudojant žibalą.....	54

29 pav. Skaitiklio paklaidos kitimo priklausomybės dėl debito reikšmės naudojant žibalą, kai elektroninio rodmenų registravimo įrenginio impulsų skaičius lygus 1979 impulsų vienam litrui.....	57
30 pav. Skaitiklio paklaidos kitimo priklausomybės dėl debito reikšmės naudojant benzina.....	56
31 pav. Skaitiklio paklaidos kitimo priklausomybės dėl debito reikšmės naudojant benzina, kai elektroninio rodmenų registravimo įrenginio impulsų skaičius lygus 1963 impulsų vienam litrui.....	56

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Pamatinių saikiklių metrologinės charakteristikos.....	20
2 lentelė. Įrenginio saikiklių charakteristikos.....	20
3 lentelė. Kamerinio skaitiklio kalibravimo 0,5 ir 5 m ³ talpos etaloniniais saikikliais suminės neapibrėžties sandų reikšmės.....	26
4 lentelė. Darbinio matuoklio leidžiamosios paklaidos, kai tikrinama skyčių-pakaitalu.....	31
5 lentelė. Naftos produktų savybės.....	32
6 lentelė. Degalų sąnaudų skaitiklio AIC – 1304 techniniai duomenys.....	37
7 lentelė. Etaloninio saikiklio M1P-10 L; Nr. 144. techniniai duomenys.....	40
8 lentelė. Bandymo planas.....	42
9 lentelė. Bandymo rezultatai.....	44
10 lentelė. Bandymo rezultatai.....	45
11 lentelė. Bandymo rezultatai.....	46
12 lentelė. Bandymo rezultatai.....	47
13 lentelė. Etaloninio saikiklio M1P-2 L; Nr. 11. techniniai duomenys.....	49
14 lentelė. Bandymo rezultatai.....	52
15 lentelė. Bandymo rezultatai.....	54
16 lentelė. Bandymo rezultatai.....	55

Ivadas

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 darbinių matavimo priemonių tikslumui, nustatyti. Degalų apskaita degalinėse ir jos priemonių patikra praktiškai yra išspręsta, ir čia didelių problemų nekylo, nebent reikia gerinti patikroms naudojamos įrangos techninį lygį. Kaip etalonai šioje srityje naudojami saikikliai – tūrio etalonai, kalibruojami svėrimo ar tūriniu 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 degalų 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.

Didžiausius sunkumus lemia tokie veiksniai:

- stipri matavimo tikslumo priklausomybė nuo klampos, kuri skysčiuose 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 vietose. Įranga turi garantuoti ne tik didelį tikslumą, bet ir tinkamą darbo ir priešgaisrinės saugos lygį [9].

Būtina atkreipti dėmesį į tai, kad skystojo kuro kiekių matavimai priklauso sričiai, kuri apibendrintai apibūdinama kaip skysčių (ne vandens) sritis. 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 skystųjų degalų kiekio matavimo problemas, kartu sprendžiami uždaviniai susiję apskritai su įvairių klampių skysčių tėkmės matavimais [7].

1. Kalibravimo įrenginiai pramoninių skysčių skaitikliams

Kalibravimo įrenginys pramoninių skysčių skaitikliams labai skiriasi nuo įrenginių, kuriais kalibruojami vandens skaitikliai. Jų konstrukcija priklauso nuo tikrinamų skysčių savybių (klampos, tankio, spalvos, garų savybių ir t. t.), taip pat nuo tikslumo lygio, kuris reikalaujamas iš tikrinamų skaitiklių.

Pramoninių skysčių skaitiklius galima tikrinti keliais būdais: svėrimo, tūriniu ir palyginimo metodais, kuomet skystis yra prapilamas pro etaloninį skaitiklį.

Tūriniuose kalibravimo įrenginiuose naudojami etaloniniai saikikliai. Priklausomai nuo skysčio savybių, naudojamu patikrai, naudojamos kelios saikiklių modifikacijos. Tikrinant mažai garuojančius skysčius, naudojami saikikliai su atvirais kakleliais, o, tikrinant lengvai garuojančius arba agresyviuosius skysčius, naudojami uždari saikikliai.

Kalibravimo įrenginiuose, dirbančiuose svėrimo principu, svarstyklių platformoje, priklausomai nuo naudojamo patikrai skysčio, naudojamas įrengimas yra atidarytas arba uždarytas indas, o kai kuriais atvejais - etaloninis saikiklis.

Kalibravimo įrenginio parametrai, sudėtis ir reikalaujamas tikslumas priklauso nuo kalibravimo įrenginio darbo sąlygų ir jo rūšies. Kalibravimo įrenginiai gali būti stacionarūs ir pernešami. Stacionarūs yra naudojami skaitiklių gamybos ir remonto vietose, o kiti - eksploatacijos vietoje.

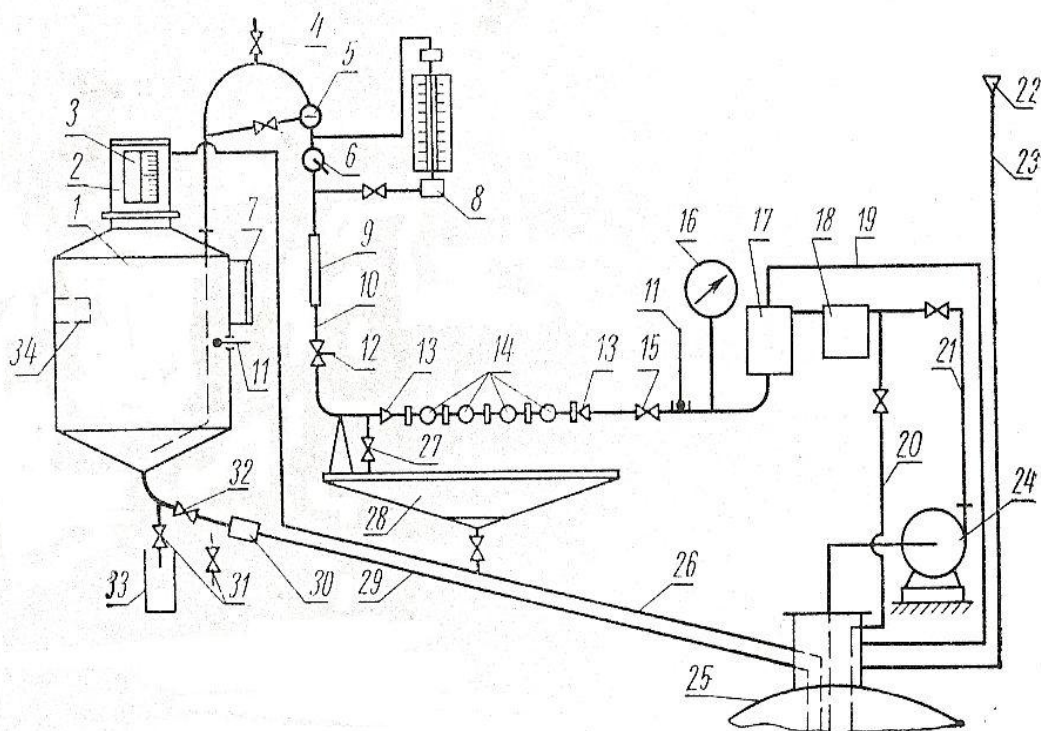
1.1. Kalibravimo įrenginys benzininiams, dyzeliniams ir žibaliniam skaitikliams

1 paveiksle pavaizduotas kalibravimo įrenginys dyzeliniams ir žibaliniam skaitikliams.

Dirbant įrenginiui, skystis iš nupylimo rezervuaro (saugyklos) (25) pumpuojamas siurbliu (24), vamzdžiu (21), per filtrą (18), dujų atskirtuvą (17) prie tikrinamų skaitiklių, įtaisytų ant bandymo stalo (28). Vėliau skystis vamzdžiu (10) yra nukreipiamas į saikiklį (1), jo tūris yra išmatuojamas skale (3). Po matavimo skystis yra perpilamas į rezervuarą.

Kalibravimo įrenginiuose naudojami etaloniniai saikikliai yra 2 klasės. Bet jeigu saikiklių tūris viršija 200 dm^3 , galima naudoti 1 klasės saikiklius. Abiejų tipų saikiklių forma

užtikrina mažiausią rodmenų paklaidą, nes rodmenys yra pateikiami tik pagal saikiklių skalę, kuri yra įtaisyta saikiklio kaklelyje, o tai pati siauriausia saikiklio vieta. Matavimai yra atliekami užpildant saikiklį iki skalės ribos, kai tūrio reikšmė artima saikiklio nominalinei reikšmei. Didelę įtaką rodmenų tikslumui turi kaklelio tūris ir skerspjūvio plotas.



1 pav. Kalibravimo įrenginio bendroji schema: 1 – etaloninis saikiklis; 2 – kaklelis; 3 – stebėjimo langas su skale; 4 – orą tiekiantis čiaupas; 5 – stebėjimo akis; 6 – išodinimo čiaupas; 7 – stiklinis stebėjimo vamzdelis; 8 – sunaudojimo rodytuvas; 9 – stebėjimo vamzdelis – dujų rodytuvas; 10 – nuvedamasis vamzdynas; 11 – termometras; 12 – reguliuojantis čiaupas; 13 – pereinamasis atvamzdis; 14 – skysčių skaitikliai; 15 – paleidžiamasis čiaupas; 16 – manometras; 17 – dujų atskirtuvas; 18 – filtras; 19 – dujų nuvedamasis vamzdelis; 20 – nukraunamasis vamzdynas; 21 – teikiamasis (pašildymo) vamzdynas; 22 – ugnies saugiklis; 23 – vamzdynas, sujungiantis nupylimo rezervuarą su atmosfera; 24 – siurblys; 25 – nupylimo rezervuaras (saugykla); 26 – perpylimo vamzdynas; 27 – nukraunamasis čiaupas; 28 – stalas su dugnine skaitikliams įtaisyti; 29 – nupylimo vamzdynas; 30 – kontrolinis stebėjimo langas; 31 – kontroliniai čiaupai; 32 – nupylimo įrenginys; 33 – pernešamas indas (kibiras); 34 – tūrio kompensatorius

Saikiklis kalibravimo įrenginiui parenkamas pagal tokius reikalavimus: jo tūris turi būti ne mažesnis nei tūris, kurį parodys skaitiklis po penkių jo didžiosios rodyklės apsisukimų (rodikliniams skaitikliams), jo tūris neturi būti mažesnis nei tūris, pratekantis per tikrinamą skaitiklį per 1,5 min., esant didžiausiam debitui (taip yra pašalinama nenustačiusio režimo laiko įtaka matavimo pradžioje ir pabaigoje).

Etaloninis 2 klasės saikiklis susideda iš korpuso, kaklelio ir nuleidimo vamzdžio. Korpusas – cilindras, kuris yra apribotas iš abiejų pusių konusais. Konusų sienelės su horizontalią plokštumą sudaro ne mažiau kaip 30 laipsnių kampą. Esant tokiai saikiklio konstrukcijai, pildant jį, iš ertmės yra visiškai pašalinamas oras, o kai vyksta išpilymas – skystis.

Prieš patikrą saikiklis turi būti tuščias. Pagal kalibravimo reikalavimus saikiklis yra pildomas iki skalės žymių.

Benzino, žibalo ir kitų naftos gaminių tūriai keičiant temperatūrą, kinta, todėl kalibruojant reikia tiksliai išmatuoti skysčio temperatūrą saikiklyje ir darbinio skysčio temperatūrą. Tam tikslui yra įstatomi termometrai. Pagal šių termometrų rodmenis nustatoma skaitiklio rodmenų pataisa. Dirbant kalibravimo įrenginiui, visas skysčio kiekis išmatuotas tikrinamu skaitikliu, turi būti tiekiamas į saikiklį.

Taisyklingai suprojektavus ir pagaminus bei kokybiškai atlikus kalibravimą, tūriniu kalibravimų įrenginių suminė paklaida neviršija $\pm 0,1$ %. Šitas tikslumas daugiausiai priklauso tik nuo naudojamo saikiklio tikslumo.

Tikslumo didinimas yra limituojamas paklaidomis, kurios atsiranda dėl skysčio klampumo (darbinis skystis pasilieka ant saikiklio sienelių). Todėl šiuose kalibravimo įrenginiuose nerekomenduojama naudoti skysčių, kurių klampumas yra didesnis nei 20 mPa·s.

Po skysčio pašalinimo iš saikiklio nustatomas laikas, kad nuo saikiklio sienelių nutėkėtų skysčio likučiai. Benzinui arba žibalui šis periodas yra apie 1 min., o kai darbinis skystis yra klampesnis, tai iki 3 min.

1.2. Tūriniai turbostūmokliniai kalibravimo įrenginiai

Tokiais įrenginiais galima kalibruoti skaitiklius, kurių debitai yra nuo 30 iki 2000 m³/h.

Įrenginys susideda: kilpos (2), pagamintos iš plieninio besiūlio vamzdžio, kurio vidinis paviršius padengtas specialia patvaria danga;

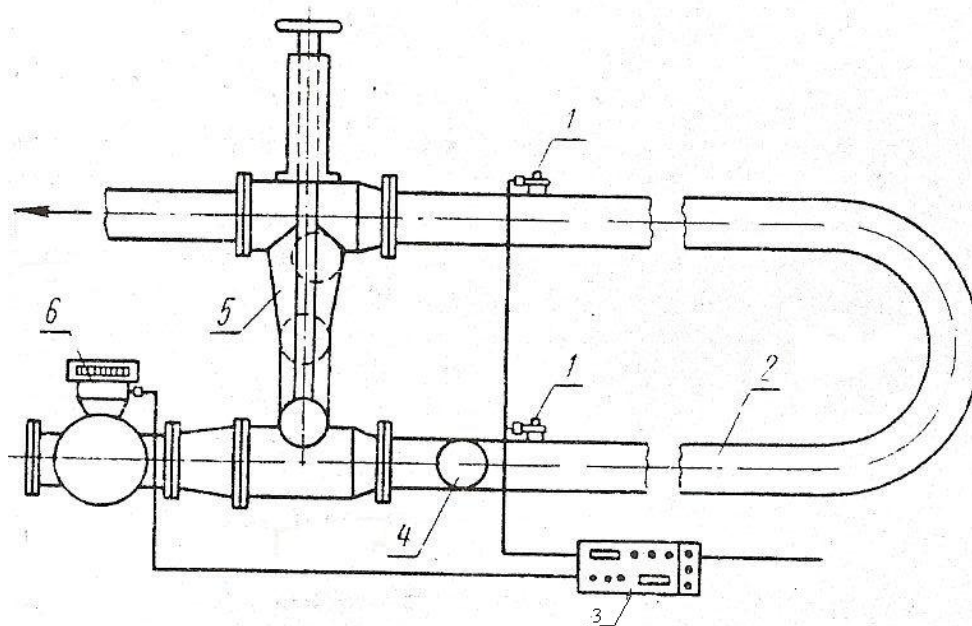
ritulinio stūmoklio (4), kuris išstumia skystį iš kilpos;

elektrinio-mechaninio detektoriaus – jungiklio (1). Vienas iš jų įjungia o kitas išjungia elektroninį skaičiavimo įrenginį tuo metu, kai ritulinis stūmoklis praeina pro jį;

vožtuvo-manipulatoriaus (5), per kurį į „kilpą“ įvedamas ritulinis vožtuvas. Vožtuvo užrakinamasis įtaisas yra antras ritulinis vožtuvas, kuris neleidžia skysčiui iš vieno galo nutekėti į kitą kilpos galą;

fotoelektrinio impulso jutiklio (6), kuris keičia kalibruojamo skaitiklio velenėlio sūkius, proporcingu impulsų skaičiui;

elektros rodmenų registravimo įrenginys (3), kuris registruoja fotoelektrinio jutiklio impulsų sumą per laiką, kurį ritulinis stūmoklis nueina kelią nuo vieno iki kito jungiklio.



2 pav. Turinio turbostūmoklinio kalibravimo įrenginio bendroji schema: 1 – detektorius–jungiklis; 2 – „kilpa“; 3 – elektros rodmenų registravimo įrenginys; 4 – ritulinio stūmoklis; 5 – vožtuvas-manipulatorius; 6 – kalibruojamas skaitiklis.

Tūrinio turbostūmoklinio kalibravimo įrenginio darbas vyksta taip: per vožtuvą (5) į kilpą yra įvedami du rituliniai skirstytuvai (4). Vienas iš jų veikia kaip užrakinamasis vožtuvo mechanizmas, kitas kaip ritulinis vožtuvas, kuris dėl darbinio skysčio spaudimo juda per „kilpą“. Pereinant rituliniam stūmokliui pro pirmą jungiklį (1), įsijungia elektroninis skaičiavimo įrenginys (3), kai stūmoklis pereina pro antrą detektoriu, skaičiavimo įrenginys 3 išsijungia. Praėjus kalibravimo ruožą nuo vieno jungiklio iki kito, ritulinis stūmoklis krenta į vožtuvą-manipuliatorių, išstumia į srautą ritulį-vožtuvą ir užima pastarojo vietą. Ir taip ciklas kartojasi.

Kai kalibruojamas pats tūrinys turbostūmoklinys kalibravimo įrenginys, pagrindinį kalibravimą praeina „kilpos“ tūris. Jis kalibruojamas etaloniniais saikikliais arba etaloninėmis svarstyklėmis.

Tūriniai turbostūmokliniai kalibravimo įrenginiai turi daug privalumų prieš kitus įrenginius:

- aukštas automatizacijos lygis;
- galimybė tikrinti skaitiklius realiose eksploataavimo sąlygose;
- padidintas tikslumas;
- paprasta konstrukcija ir galimybė kalibruoti įvairių tipų skaitiklius įvairiems skysčiams.

1.3. Tūrinis kalibravimo įrenginys (saikiklis+skaitiklis)

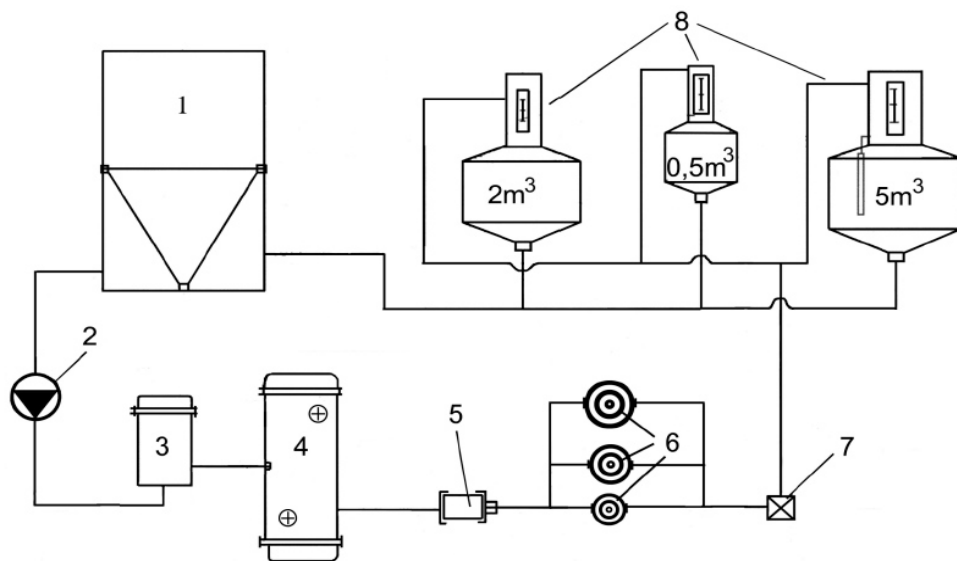
Šis metodas taikomas ne tik stacionariuose įrenginiuose, bet ir darbinių skaitiklių kalibravimui ar patikrai jų eksploataavimo vietoje. Būdingas pastarojo matavimo pavyzdys gali būti degalų skaitiklių patikra degalinėse naudojant įvairios talpos saikiklius.

Taikant tūrio reikšmių atkūrimo metodą etaloniniame įrenginyje, kurio naudojami 100 ir 200 dm³ saikikliai.

3 pav. parodyta etaloninio įrenginio, kuriame techniškai realizuotas tūrinis matavimo metodas pagal techninės užduoties valstybės etalonui 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.

Darbiniu skysčiu naudojamas Exxsol D80, kuris yra naftos perdirbimo produktas, iš kurio pašalinti lengvieji angliavandeniliai. Esant 20 °C temperatūrai, Exxsol D80 tankis $\rho = 794,4$ kg/m³ ir dinaminė klampa $\mu = 1,693$ mPa·s.



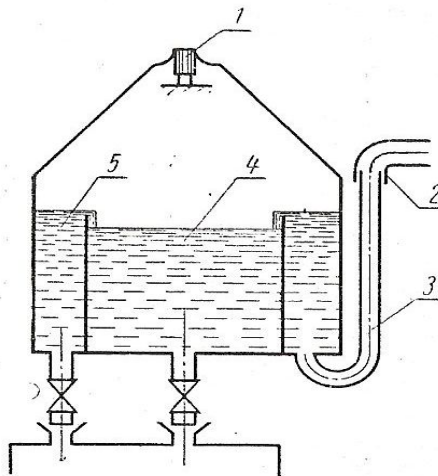
3 pav. Etaloninio įrenginio bendroji schema: 1 – skysčio Exxsol D80 10 m³ talpos rezervuaras; 2 – siurblys; 3 – skysčio filtras; 4 – oro arba dujų atskirtuvas; 5 – kalibruojamasis skaitiklis; 6 – darbiniai etalonai – kameriniai skaitikliai; 7 – programuojamas saikiklių užpildymą valdantis vožtuvas; 8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

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.

1.4. Svėrimo kalibravimo įrenginys

Svėrimo įrenginiai skiriasi nuo tūrinių įrenginių tuo, kad skysčio kiekio matavimui juose yra vietoj saikiklių naudojamos svarstyklės. Svarstyklėse įrengtas indas, kuris yra užpildomas bandymo metu darbinio skysčiu. Šito rezervuaro tūris yra parenkamas pagal tą patį principą kaip ir saikiklio tūris tūriniuose įrenginiuose. Jei naudojamas darbinis skystis yra lengvai garuojantis, tada bandymo metu rezervuaras turi būti uždaromas dangčiu.

Rezervuaras, kurio konstrukcija yra geriausia tokiam bandymui, yra parodytas (4 pav.).



4 pav. Dviejų kamerų svėrimo rezervuaras: 1 – svarstyklės; 2 – lizdinis sujungimas; 3 – vamzdynas; 4 – vidinė kamera; 5 – išorinė kamera.

Rezervuaras – indas, susidedantis iš dviejų kamerų. Darbinis skystis yra teikiamas į išorinę kamerą (5), iš ten jos sienelėmis suteka į vidinę kamerą (4). Skystis suteka ramia plėveline srove, dėl to yra išvengiama oro prisotinimo skystyje, putojimo ir skysčio išsiliejimo. Tai pat didelis 5 kameros sienelių ilgis, leidžia tiekti darbinį skystį per vamzdį (3) vienodu spaudimu.

Indas yra sveriamas du kartus, prieš užpildant jį skystiu ir po užpildymo. Tai leidžia išvengti skysčio prilipimo prie indo sienelių, nes tai gali daryti įtaką svėrimo įrenginių tikslumui. Todėl svėrimo kalibravimo įrenginiuose naudojami įvairaus klampumo skysčiai.

Skaitiklių kalibravimas svėrimo kalibravimo įrenginiuose yra sudėtingesnis nei tūriniuose įrenginiuose, ir reikalauja tikslų darbinio skysčio tankio ir temperatūros matavimų tam, kad būtų galima perskaičiuoti išmatuotas svarstyklėmis mases į pratekėjusį per skaitiklį skysčio tūrį.

Taisyklingai suprojektavus, pagaminus ir kokybiškai atlikus kalibravimą, svėrimo kalibravimų įrenginių suminė paklaida neviršys $\pm 0,05$ %. Sveriant pripildytą darbinio skysčio rezervuarą, reikia naudoti etalonines hidraulinės svarstykles. Matuojant darbinio skysčio tankį naudojamas 1 klasės etaloninis densimetras, kuriuo paklaida neviršija $\pm 0,02$ %. Kad būtų galima išmatuoti darbinio skysčio temperatūrą svėrimo rezervuare ir vamzdyje prieš skaitiklį naudojami termometrai su darbiniu tikslumu $0,1$ °C.

1.5. Kalibravimo įrenginys dyzeliniams skaitikliams PPU-1

Pagrindiniai techniniai duomenys:

Naudojimas:

Įrenginys skirtas skaitiklių kalibravimui, kai vykdomas jų techninis aptarnavimas. Juo galima kalibruoti skaitiklius, kurių debitas yra nuo 2 iki 80 l/h. Jis yra mobilus, sveria tik 5 kg.

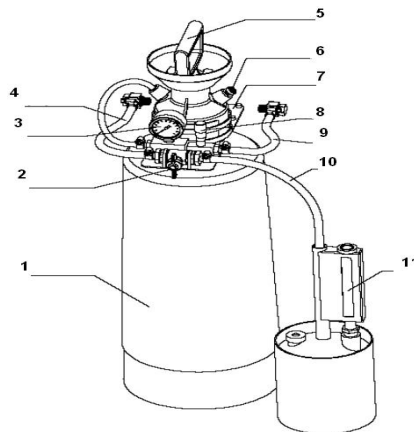
Pakankamai tikslus. Jo santykinės paklaidos reikšmė neviršija $\pm 0,3\%$.

Ekspluatacinės sąlygos:

Darbinio skysčio temperatūra turi būti nuo $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$ iki $25\text{ }^{\circ}\text{C}$; aplinkos, kurioje yra atliekamas bandymas, temperatūra yra nuo $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$ iki $25\text{ }^{\circ}\text{C}$;

Įrenginys susideda iš 10 l darbinio indo (bako); 2 l tūrio saikiklio; manometro; siurblio; čiaupo 1 ir 2; slėgio sumažinimo vožtuvo.

Įrenginio siurblys yra rankinis. Jis pumpuoja skystį iš bako per manometrą bei kalibruojamą skaitiklį į etaloninį saikiklį. Manometras ir čiaupai skirti sudaryti reikalingą bandymo slėgį ir debitą.



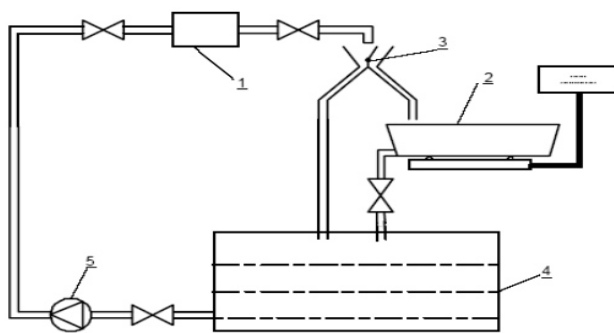
5 pav. Kalibravimo įrenginys dyzeliniams skaitikliams PPU-1: 1 – bakas; 2 – čiaupas 1; 3 – manometras; 4 – nuvedamasis vamzdynas; 5 – siurblio rankenėlė; 6 – slėgio sumažinimo vožtuvas; 7 – čiaupas 2; 8 – darbo stalis; 9 – teikiamasis vamzdynas; 10 – nupilimo vamzdynas; 11 – etaloninis 2 l. saikiklis

1.6. Vandens skaitiklio kalibravimas

Norint įvertinti skaitiklio matavimo tikslumą, jį reikia kalibruoti, ir jei yra nustatyti tam tikri reikalavimai, būtina įvertinti atitiktį šiems reikalavimams.

Paprasčiausiai vandens skaitiklio kalibravimą galima atlikti lyginant jo rodmenis su nuosekliai įrengto kalibravimo įrenginio vamzdyne etaloninio skaitiklio rodmenimis. Tokiu atveju esant sandariam vamzdynui per abu skaitiklius prateka tiek pat vandens ir kalibravimo procedūra gana supaprastėja. Šio metodo pagrindinis trukumas – sunkumas parinkti etaloninį skaitiklį, kuris būtų pakankamai stabilus ilga laiką. Dažniausiai jį reikia pakartotinai kalibruoti taikant tūrinį arba svėrimo metodą. Todėl etaloniniai skaitikliai paprastai naudojami kaip papildoma etaloninė matavimo priemonė greta įrangos, realizuojančios tūrinį ar svėrimo metodus, kalibravimui ar patikrai paspartinti.

Tūrinis matavimo metodas pagrįstas vandens tūrio matavimu naudojant tūrio etaloną – saikiklį. Techniškai matavimas realizuojamas įrenginyje, kurio schema analogiška 6 paveiksle parodytai įrenginio su svarstyklėmis schemai. Skirtumas yra tik tai, kad bako vietoje ant svarstyklių (2) įrengiamas saikiklis arba keli saikikliai, kai norima matuoti didesnėse vandens srauto kitimo ribose. Šio metodo trukumas yra tai, kad saikikliu matuojamas tam tikras ribotas vandens tūris, tenka naudoti kelis skirtingo tūrio saikiklius, matavimo veiksmas yra sudėtingesnis ir juos sunkiau automatizuoti.



6 pav. Vandens skaitiklio kalibravimas sveriant pratekėjusį vandenį: 1 – kalibruojamasis skaitiklis, 2 – matavimo bakas ant svarstyklių, 3 – tėkmės kreiptuvas, 4 – vandens surinkimo bakas, 5 – siurblys

Pratekėjusio per kalibruojamąjį skaitiklį (1) vandens svėrimas (6 pav.) yra pats tiksliausias metodas, ypač pradėjus naudoti elektronines svarstykles ir taikyti matavimą

nestabdant vandens tėkmės. Tam tikslui įrengiamas tėkmės kreiptuvas (3), kuris tekantį vandenį nukreipia arba į surinkimo baką (4), arba matavimui į baką ant svarstyklių (2).

Šilumos skaitiklio kalibravimas vykdomas papildomai imituojant įtekančio į šilumos vartotojo sistemą ir ištekančio iš jos vandens temperatūras. Dažniausiai temperatūroms imituoti naudojami termostatai, kuriuose palaikomos stabilios temperatūros bei reikiamas jo skirtumas ir į kuriuos talpinami šilumos skaitiklio temperatūros jutikliai.

2. Tūrio ir debito reikšmių atkūrimas ir perdavimas

Tūrio matavimas, surenkant per tam tikrą laiką pratekėjusį skystį etaloninėje talpykloje – saikiklyje, plačiausiai taikomas metodas skysčiams, kurių dinaminė klampa ne didesnė kaip 20 mPa·s. Šis metodas taikomas ne tik stacionariuose įrenginiuose, bet ir darbinių skaitiklių kalibravimui ar patikrai jų eksploatavimo vietoje. Būdingų pastarųjų matavimų pavyzdžiu gali būti degalų 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 klampos skysčiams. Tačiau visais atvejais susiduriama su tam tikromis problemomis, kurios iškyla perduodant atkuriamas tūrio ar debito reikšmes darbiniais 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, 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 degalų skaitikliai veikia „start–stop“ režimu, t. y. degalų 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

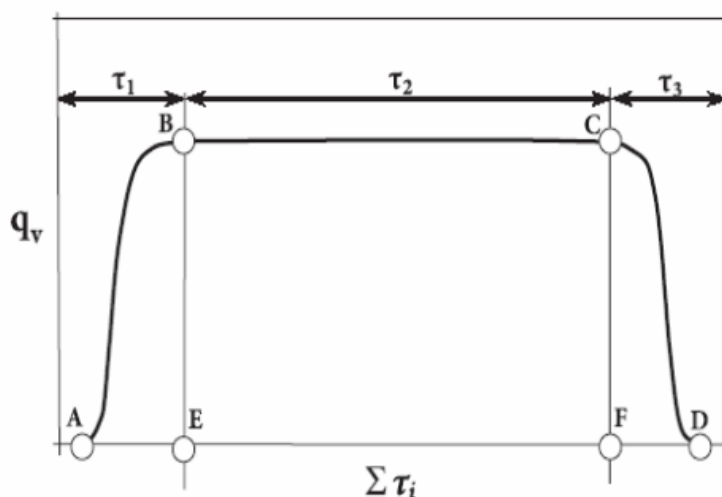
nuo debito reikšmės, nes mažėjant debitui didėja skysčio, pratekančio per tarpą tarp skaitiklio korpuso ir jo darbinio elemento, kiekis ir nėra matuojamas skaitiklio.

Taigi labai svarbu įvertinti šių skaitiklio paklaidos pokyčių įtaką pratekančio skysčio kiekio matavimo tikslumui. Tai galima atlikti įtraukus pataisas, jei yra žinomi debito ir skaitiklio paklaidos kitimo sklandės atidarymo ir uždarymo stadijose (7 pav.) dėsningumai, arba parinkus sklandės atidarymo (AE) ir uždarymo (FD) trukmės santykį su bendrąja matavimo ciklo (AD) trukme taip, kad pataisa būtų neįdomi 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 sklandės atidarymo trukmes, kurios siekiant išvengti hidraulinių smūgių turi būti ne mažesnės kaip

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

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 ; $\Sigma\tau_i = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3$ – visa matavimo ciklo – saikiklio pildymo trukmė.



7 pav. Būdingas etaloninio saikiklio pildymo režimas kalibruojant kamerinį skaitiklį

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.

2.1. Tūrio reikšmių atkūrimo ir perdavimo neapibrėžčių analizė

2.1.1. Tūrio reikšmių atkūrimo neapibrėžtys. Taikant tūrio reikšmių atkūrimo metodą etaloniniame įrenginyje, kurio detalus aprašymas pateiktas 1.3. skyriuje, pamatiniais tūrio etalonais naudojami 100 ir 200 dm³ saikikliai (1 lentelė).

1 lentelėje nurodyti saikikliai buvo kalibruojami svėrimo metodu, taikant neapibrėžties vertinimą.

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 %	±0,0066	±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 %	± 0,199 ± 0,040	± 0,700 ± 0,035	± 2,230 ± 0,050

Etaloniniame įrenginyje (3 pav.), skirtame atkurti ir perduoti degalų tūrio reikšmes darbiniais etalonams – kameriniams degalų skaitikliams, įrengtų 500, 2000 ir 5000 dm³ talpos saikiklių metrologinės charakteristikos pateiktos 2 lentelėje.

Šie saikikliai buvo kalibruojami tūriniu būdu:

- 500 dm³ talpos saikiklis kalibruojamas naudojant 100 dm³ talpos 1 atskyrio saikiklį Nr. 10;

- 2000 dm³ 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 atskyrio 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.

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

$$V_{sk} = V_{et} + \Delta V_{et} + \Delta V_t + \Delta V_0 + \Delta V_p + \Delta V_{at}; \quad (2)$$

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_0 – 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:

$$u_{sk} = (C_1^2 u_{et}^2 + C_2^2 u_{\Delta V_{et}}^2 + \sum C_{3i}^2 u_{\Delta V_{ti}}^2 + C_4^2 u_{\Delta V_0}^2 + C_6^2 u_{\Delta V_{at}}^2 + C_7^2 u_{eksp}^2)^{0,5}; \quad (3)$$

čia u_{et} – etaloninio saikiklio neapibrėžtis, įvertinant ir jo stabilumą; $u_{\Delta V_{ti}}$ – saikiklio lygio atskaitos neapibrėžtis; $\sum u_{\Delta V_{et}}$ – saikiklio ir skaitiklio temperatūros plėtimosi koeficientų, skysčio tankio ir jo temperatūros įvertinimo neapibrėžčių suma; $u_{\Delta V_0}$ – skysčio tankio pokyčio

dėl oro įvertinimo neapibrėžtis; $u_{\Delta Vp}$ – neapibrėžties sandas, įvertinantis kalibruojamojo skaitiklio pereinamąjį veikimo režimą pradinėje ir galutinėje saikiklio pildymo stadijose; $u_{\Delta Vat}$ – skaitiklio rodmenų atskaitos neapibrėžtis; u_{eksp} – eksperimentinis standartinis matavimų vidurkio nuokrypis.

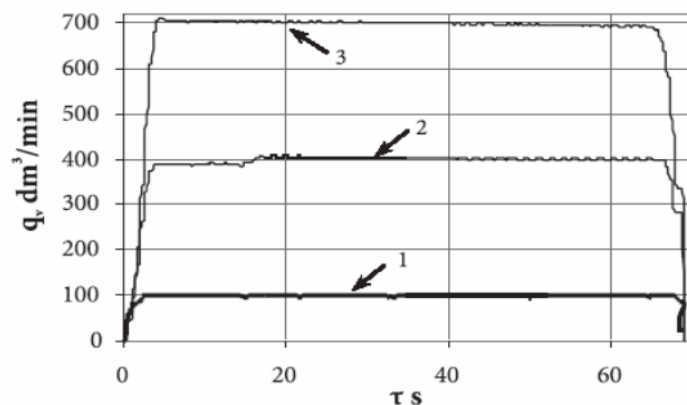
Kaip buvo aptarta 2 skyriuje, vienas svarbiausių neapibrėžties sandų perduodant tūrio reikšmes kameriniams skaitikliams yra pataisos dėl debito kitimo pradinėje ir galutinėje saikiklio pildymo stadijose neapibrėžtis. Jei skaitiklio paklaida pagrindinėje saikiklio pildymo stadijoje artima nuliui, skaitikliu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

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

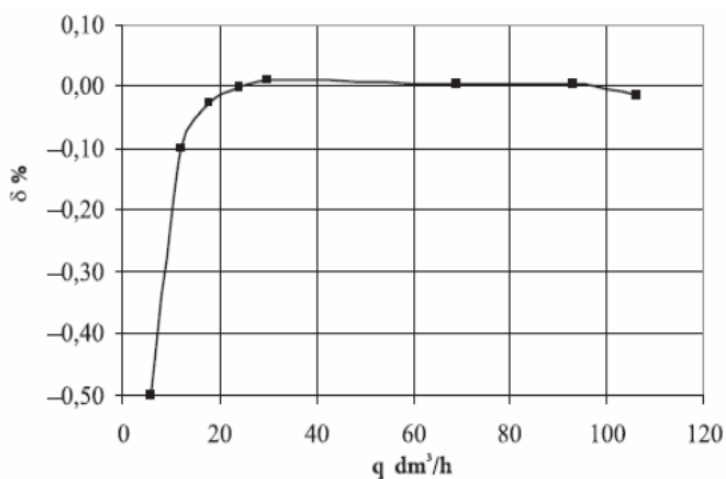
čia q_1 ir q_3 – atitinkamai vidutinės debito reikšmės pradinėje ir galutinėje saikiklio pildymo stadijoje; q_2 – pasirinktas kalibravimo debitas (q_{max}), kuriuo pildomas pagrindinis saikiklio tūris; τ_1 , τ_2 ir τ_3 – atitinkamais debitais saikiklio pildymo trukmės; δ_1 ir δ_2 – etaloninio skaitiklio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

Atlikti tyrimai parodė, kad įrenginyje sumontuotas automatinis 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 sukimuisi, tuo tarpu CD stadijoje – srauto inercijos jėgų poveikis. Taigi realus debito kitimas 8 pav. yra analogiškas 7 pav. parodytam ir analizei pasirinktam dėsningumui.

Kaip matyti iš 8 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 kinta taip, kaip tai parodyta 9 paveiksle.



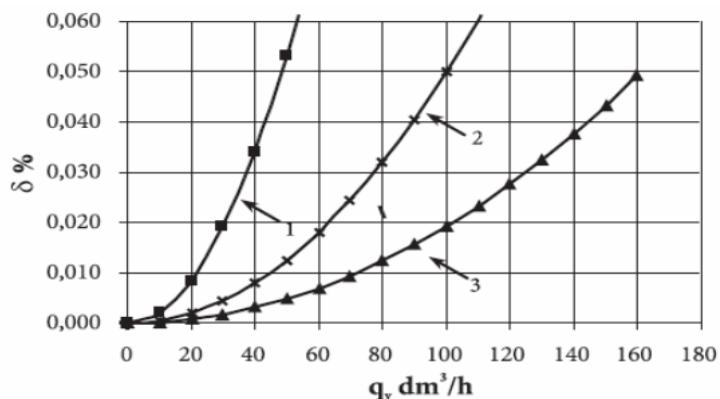
8 pav. Debito kitimo pobūdis saikiklio pildymą valdant automatinio programuojamu vožtuvu 1, 2, ir 3 – atitinkamai 100, 400 ir 700 dm³/min



9 pav. Kamerinio skaitiklio paklaidų kitimas dėl debito reikšmės

Atliekant skaitinę reikiamos saikiklio talpos vertinimą, jį pildant „start–stop“ metodu, pradinė AB ir galutinė CD stadijos neturėtų reikšmingos įtakos skaitiklio kalibravimo neapibrėžčiai arba sudarytų reikšme ne didesnė, 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.



10 pav. Suminės neapibrėžties sando, susijusio su saikiklio pildymo režimu, reikšmės: 1, 2 ir 3 – atitinkamai saikiklių talpa 0,5, 2,0 ir 5,0 m³

10 pav. pavaizduoti skaitmeninės analizės duomenys, rodantys kalibruojamojo skaitiklio suminės neapibrėžties sando kitimą 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, nėra toliau naudojamos matavimo rezultatams pataisyti, o laikomos papildomu neapibrėžties šaltiniu ir vertinamos (3) lygtyje skaičiuojant suminę standartinę neapibrėžtį.

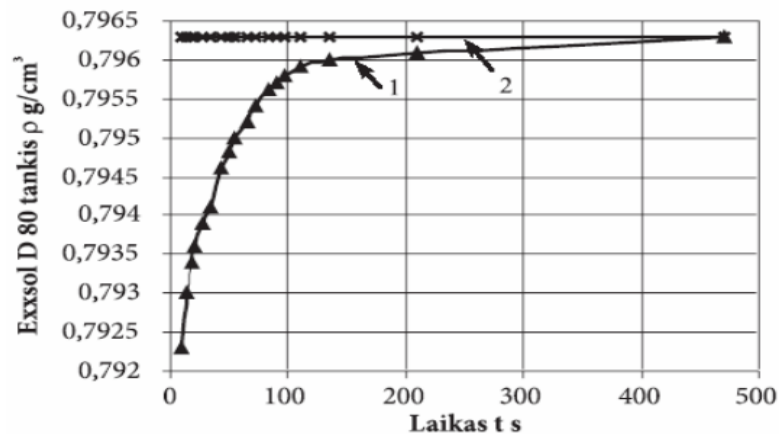
Iš skaičiavimo rezultatų matyti, kad šio sando indėlis į tūrio matavimo neapibrėžtį gali siekti ±0,05 % esant etaloninių saikiklių talpai 0,5, 2 ir 5 m³ ir atitinkamai debitų reikšmėms apytikriai 50, 100 ir 160 m³/h. Neapibrėžčių vertės mažinant debitą sumažėja 2 kartus esant srautams atitinkamai 30,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

Šiuos rezultatus galima aproksimuoti formule:

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

čia V_s – saikiklio tūris m³; q – skysčio debitas m³/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 apsvukoms, sistemos nesandarumai, mažas slėgis įrenginio vamzdyje, stiprus maišymasis skysčiui ištekančiam į surinkimo baką arba įtekantį į saikiklį.



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

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

Kaip matyti 11 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 analogiškai dydžiai. Norminė temperatūra 15 °C.

Išplėstinė neapibrėžtis kalibruojant kamerinius skaitiklius:

- esant debitams iki $50 \text{ m}^3/\text{h}$ ir naudojant $0,5 \text{ m}^3$ talpos saikiklį – $\pm 0,472 \text{ dm}^3$ arba $\pm 0,094 \%$;
- esant debitams iki $160 \text{ m}^3/\text{h}$ ir naudojant $5,0 \text{ m}^3$ talpos saikiklį – $\pm 5,338 \text{ dm}^3$ arba $\pm 0,11 \%$.

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 $u_i(Y_i)$ dm ³	Laisvės laipsnų skaičius
Etaloninio saikiklio 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 saikiklio stabilumas	0,5 m ³	0,05 dm ³	Normalusis	1	0,050	50
	5,0 m ³	0,65 dm ³			0,650	
Skysčio 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 skaitiklyje ir saikiklyje	≈ 20°C	0,1°C	Tolydusis	0,034 ir 0,34 dm ³ °C ⁻¹	0,0034 0,034	∞
Saikiklio 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
Skysčio 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 1,450 dm ³	Tolydusis	1	0,145 1,450	∞
Tūrio pokytis dėl oro skystyje	0,025%	0,125 dm ³ 1,250 dm ³	Tolydusis	1	0,125 1,250	∞
Eksperimentinis standartinis nuokrypis (5 matavimai)	(0,02%)	0,045 dm ³ 0,45 dm ³	Normalusis	1	0,045	4
	0,10 dm ³ 1,0 dm ³				0,450	
Tūris (15°C)	500 dm ³				0,236	79
	5000 dm ³				2,669	78

2.2. 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, ST75 modelio skaitiklis Nr. 18B1-109620. Šio skaitiklio mažiausias debitas 4,5 m³/h, didžiausias – 45 m³/h, gamintojo deklaruota vardinė impulso reikšmė 25imp./dm³ [8]. Lyginimo kriterijumi buvo pasirinktas normalizuotas nuokrypis, išreiškiamas formule:

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

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 klampos, kuri sukelia didesnius vidinius skysčio pertekėjimus tarp skaitiklio korpuso ir jo darbo rato. Kaip rodo praktinė 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 klampos įtaka. Tai rodo gerą rezultatų sutapimą su SP, kuris turi didelį patirimą skysčių matavimo srityje ir yra patvirtinęs savo rezultatų sietį su kitų Europos metrologijos institutų teikiamomis reikšmėmis.

3. Tekančių skysčių klampos įtakos tūrio ir debito matavimui tyrimas

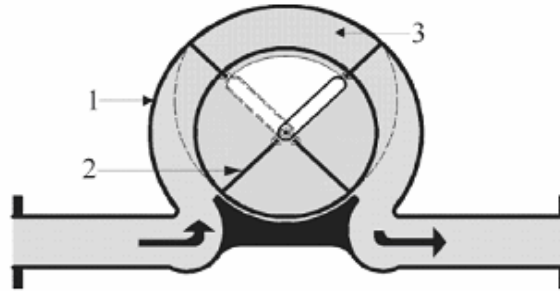
Tekančio skystųjų degalų matavimų tikslumo svarba ir su tuo susijusios problemos bei sprendimo būdai buvo jau aptarti darbe. Tačiau išlieka mažai ištirta ir apibendrinta daugelio veiksnių, tokių kaip apskritai visiems skysčiams būdingos didelės jų fizinės savybių įvairovės ir jų priklausomybės nuo skysčio rūšies, temperatūros ir kitų parametrų, įtaka matuoklių metrologinėms charakteristikoms.

Viena svarbiausių fizinių savybių, lemiančių skysčių tekėjimo ypatumus, yra jų klampa, kuri kinta dėl skysčio rūšies ir jo temperatūros. Praktikoje ši įtaka pasireiškia matuojant įvairių rūšių skystųjų degalų, tepalų ir alyvų bei maistinių skysčių, pvz., pienas ar jo produktai, kiekius. Matuojant vandenį tai mažiau svarbu, nes jo klampa mažai priklauso nuo temperatūros, arba, jei to reikia, gali būti naudojamas reikalingos temperatūros vanduo.

3.1. Klamos poveikio mechanizmo analizė

Iš karto reikia pabrėžti, kad nagrinėjami klausimai glaudžiai siejasi su matuoklio veikimo principais ir jo konstrukcijos ypatumais. Kadangi klampių skysčių matavimams iki šiol praktikoje daugiausia naudojami įvairūs mechaniniai kameriniai skaitikliai, pavyzdžiui matuokliai su slankiomis mentėmis.

Kaip matyti iš 12 pav. pateiktos tokio kamerinio matuoklio schemos, jam veikiant skysčio tūris, pratekėjęs pro matuoklį per vieną apskuką ar ciklą, lygus matavimo kameros ar kelių kamerų, kurias suformuoja slankiosios mentės, tūriui.



12 pav. Kamerinio matuoklio su slankiomis mentėmis schema: 1 – korpusas; 2 – darbo ratas – slankiosios mentės; 3 – matavimo kamera

Žinoma, prie šio tūrio reikia pridėti dar skysčio tūrį, kuris perteka pro tarpus tarp kamerinio matuoklio menčių ir korpuso ir kuris nėra matuoklio registruojamas. Taip veikia visų tipų kameriniai matuokliai.

Taigi tokių matuoklių nematuojamas skysčio pratekėjimas priklauso nuo skysčio klampos, kurią nusako naudojamo skysčio rūšis ir jo temperatūra.

Kitas labai svarbus nagrinėjant skysčio pertekėjimus per tarpus veiksnys – vienos tarpo sienelės, kurią sudaro mentė, nuolatinis judesys. Bendruoju atveju pertekėjusio per matuoklį skysčio tūrį per tam tikrą laiką galima aprašyti lygtimi:

$$V = n \cdot V_0 + q \cdot \tau; \quad (7)$$

čia V_0 – matavimo kameros tūris; n – matavimo kameros eigų skaičius per laiką τ ; q – pertekėjusio per tarpus tarp korpuso ir darbo rato skysčio debitas.

Dydis q faktiškai yra absoliučioji matuoklio paklaida, kuri priklauso nuo skysčio klampos, tarpų formos ir dydžio, apskukų dažnio ir matuoklio konstrukcijos bei paviršių kokybės. Tačiau aišku, kad didėjant klampai pasipriešinimas skysčio pertekėjimui per tarpus didėja ir matuoklis matuoja tūrį tiksliau. Taip pat galima daryti išvadą, kad matuoklis, iškalibruotas laboratorijoje su mažesnės klampos skysčiu ir įrengtas didesnės klampos

darbinio skysčio tūriui matuoti, registruos didesnę tūrį, ir atvirkščiai. Taigi šios paklaidos įvertinimas sudaro pagrindinę svarstomą problemą.

Kaip rodo darbų analizė [3], paprasčiausias klampos įtakos įvertinimas gali būti grindžiamas įvedant į eksperimentinius rezultatus apibendrinančias pareinamąsias darbinio ir kalibravimo skysčių kinematinę klampų santykį:

$$q = q^k (v/v^k)^k; (8)$$

čia q ir q^k – atitinkamai pertekėjusio per matuoklio tarpus darbinio ir kalibravimo skysčio kiekis; v ir v^k – atitinkamai darbinio ir kalibravimo skysčių kinematinės klamos; k – laipsnio rodiklis, kuris gali priklausyti matuoklio konkrečiam tipui nuo apsukų dažnio. Daugiau galimybių teikia metodas, pagrįstas jėgų, veikiančių skysčiui pertekant matuoklį, analize. Būtent dėl jų sąveikos atsiranda slėgių prieš matuoklį ir po jo skirtumas, kuris priklauso nuo skysčio debito ir matuoklio darbo rato apsukų dažnio. Balansas jėgų, veikiančių matuoklyje, gali būti analizuojamas priimant, kad esant nusistovėjusiam tekėjimo režimui jėgų, sukeliančių darbo rato apsukas, darbas prilygsta pasipriešinimo jėgų, kurias nulemia mechaninis ir hidraulinis pasipriešinimas darbui. Kadangi tarpai tarp darbo rato ir korpuso būna labai maži, tekėjimas tarpelyje beveik visada yra laminarinis ir pasipriešinimo jėgos dėl skysčio trinties į darbo ratą tarpelyje proporcingos skysčio tėkmės greičiui, inercijos jėgos – tėkmės greičio kvadratui ir vidinės trinties jėgos – tėkmės greičiui tam tikrame laipsnyje. Tėkmės greitis gali būti išreikštas priklausomybe nuo darbo rato apsukų skaičiaus – $v = k_1 \cdot n$. Tuomet skirtuminis slėgis matuoklyje:

$$\Delta p = A + B \cdot n + C \cdot n^k; (9)$$

čia A , B ir C – matuokliui būdingos pastoviosios, kurias galima tiksliausiai įvertinti remiantis eksperimentinių tyrimų rezultatais; n – apsukų skaičius; k – rodiklis, priklausantis nuo skysčio klamos ir apsukų dažnio.

Priemus, kad tekėjimas matuoklio tarpuose laminarinis, pertekėjusio per tarpelius skysčio kiekis pagal teorinius sprendinius:

$$q = k_0 \cdot \Delta p = k_0 (A + B \cdot n + C \cdot n^k); (10)$$

čia $k_0 = (1/12\mu) \sum (bn^3 / l)$ – tam tikram matuokliui ir skysčiui būdinga pastovioji; b , h ir l – tarpelio geometriniai matmenys; μ – dinaminė klampa.

Anksčiau nagrinėti slėgio nuostoliai Δp sudaro tik dalį suminių slėgio nuostolių matuoklyje, nes dar prisideda slėgio nuostoliai, priklausantys nuo skysčio įtekėjimo į matuoklį ir ištekėjimo iš jo sąlygų bei skysčio trinties į matuoklio korpuso sienes. Šie nuostoliai yra proporcingi pertekančio skysčio kiekiui tam tikrame laipsnyje, kurio reikšmė yra tarp 1 ir 2. Taikant pastarąjį analizės metodą, galima paaiškinti matuoklių paklaidų kreivių pokyčius, priklausančius nuo matuoklio tipo, skysčio klamos ir kitų veiksnių.

Ši analizė rodo, kad skysčio klamos įtaka pasireiškia gana sudėtingai ir labai trūksta apibendrinančių išvadų, pagrįstų eksperimentiniais tyrimais. Praktikoje galima sutikti pavienes rekomendacijas, kurios nėra patvirtinamos konkrečiais rezultatais. Pavyzdžiui, kalibruojant vandeniu stacionarius pieno apskaitos įrenginius su mechaniniais-kameriniais skaitikliais [4], leidžiamosios paklaidų ribos perstumiamos nuo $\pm 0,50$ % iki (+ 0,20 – 0,80) %. Tai rodo, kad kalibruojant vandeniu matuoklio rodmenys dirbtinai sumažinami, nes klampesniame darbiname skystyje matuoklis veikia tiksliau, sumažėjus pertekėjimams per tarpus tarp korpuso ir darbo rato.

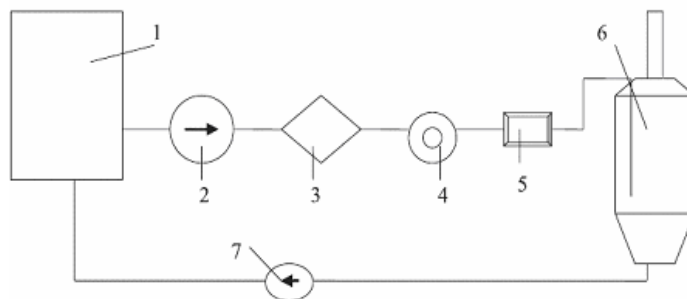
Vokietijos fizikinis techninis institutas (PTB) parengė papildomas nuostatas [5] taikant OIML R117 [6] rekomendacijas praktikoje. Ypač daug dėmesio šiose nuostatose skiriama skysčių savybėms vertinti. Kaip matyti iš pateiktos 4 lentelės, naudojami skysčiai pakaitalai laboratorijos sąlygomis ne tik didina matavimų neapibrėžtį, bet ir yra tam tikro ženklo sistemingosios neapibrėžties šaltinis. Todėl rekomenduojama, atsižvelgus į darbinio skysčio ir etaloniniuose įrenginiuose naudojamo skysčio pakaitalo klampų santykį, keisti leidžiamąsias paklaidų ribas. Šios rekomendacijos paliečia labai plačiai praktikoje vartojamus skysčius – degalus ir maistinius skysčius. Naftos produktų skaitiklių gamintojai paprastai pateikia perskaičiavimo formules, tačiau dėl daugelio priežasčių jos reikalauja patikslinimų ir realių veiksnių įvertinimo.

4 lentelė. Darbinio matuoklio leidžiamosios paklaidos, kai tikrinama skysčių-pakaitalu

Darbinis matuojamasis skystis		Paklaidų nustatymas naudojant skystį-pakaitalą %		
Dinaminė klampa	Temperatūros intervalas °C	Benzinas arba vanduo	Žibalas	Dyzelinis kuras (apie 6 mPa·s)
Suskystintos dujos	- 10 – + 50	+ 0,3 – + 0,9	Nustatoma pateikiant eksploatuoti	
Skystis 0,3–17 mPa·s	- 10 – + 50	- 0,4 – + 0,2	- 0,3 – + 0,3	- 0,2 – + 0,4
Skystieji maisto produktai		- 0,5 – + 0,1	Neleidžiama	Neleidžiama

Pataba. Darbinio skysčio klampai esant nuo 17 iki 1000 mPa·s leidžiama naudoti tik žibalą ir dyzelinį kurą.

Buvo atlikti eksperimentai valstybės etalono įrenginyje [1] ir naftos produktų išpilstymo terminaluose taikant 2 pav. parodytą principinę įrangos schemą.



13 pav. Eksperimentinio tyrimo įrangos schema: 1 – Degalų talpykla, 2 – siurblys, 3 – filtras, 4 – terminalo skaitiklis su temperatūros ir tankio matuokliais, 5 – tiriamasis kamerinis skaitiklis, 6 – etaloninis saikiklis, 7 – drenažinis siurblys

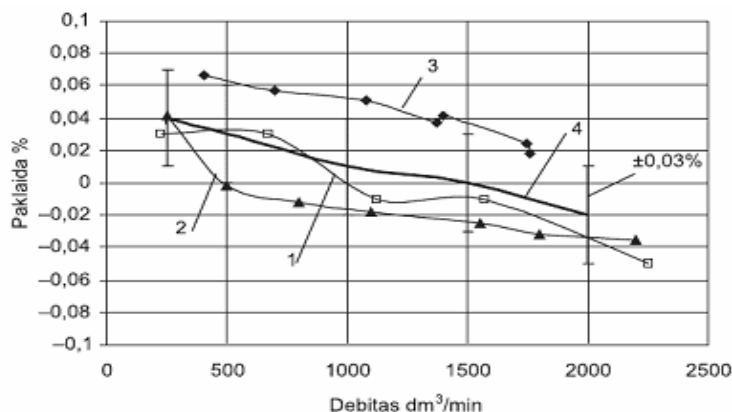
Tyrimai laboratorijoje buvo atliekami naudojant skystį Exxsol D80, kuris yra artimas žibalui. Esant 20 °C temperatūrai, šio skysčio tankis $\rho = 794,4 \text{ kg/m}^3$ ir dinaminė klampa $\mu = 1,693 \text{ mPa}\cdot\text{s}$. Kadangi laboratorijos sąlygomis nėra galimybių atlikti matavimus su skirtingais naftos produktais, tyrimus teko vykdyti Lietuvos naftos produktų terminaluose. Matavimams terminaluose buvo naudojamas etaloninis 5 m³ talpos saikiklis, kurio tūrio matavimo neapibrėžtis sudarė $\pm 0,05 \%$, rekonstruotas taip, kad jį būtų galima pervežti į matavimo vietą; laboratorijoje buvo naudojamas dar 2 m³ talpos saikiklis, kurio tūrio matavimo neapibrėžtis sudarė $\pm 0,035 \%$. Pildant saikiklius, visuomet buvo išlaikoma sąlyga, kad pradinės ir galutinės saikiklio pildymo stadijų įtaka nesudarytų neapibrėžties, didesnės nei $\pm 0,03 \%$ [1]. Eksperimentinių rezultatų palyginimui skaitiklis buvo papildomai ištirtas Olandijos nacionalinio matavimų instituto skysčių matavimo laboratorijoje naudojant analogiškus skysčius ir tūrinį matavimo metodą, kuris garantavo tūrio matavimo neapibrėžtį ne didesnę kaip $\pm 0,05 \%$.

5 lentelėje pateiktos naudotų naftos produktų savybės. Kadangi Lietuvoje naftos produktai gaminami vienoje naftos perdirbimo gamykloje, abiejuose terminaluose jų savybės buvo tokios pat.

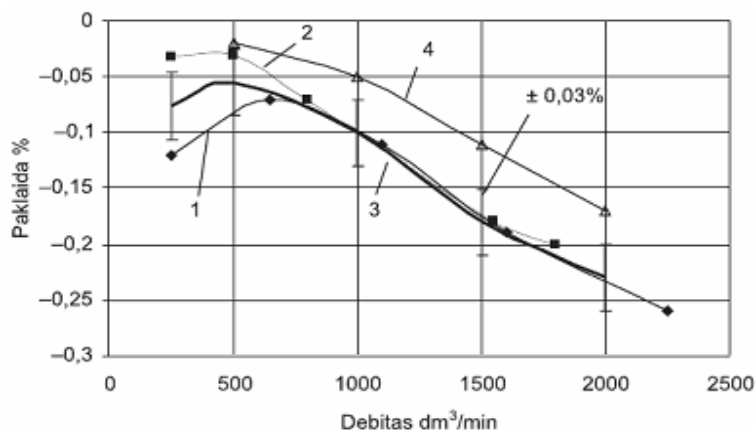
5 lentelė. Naftos produktų savybės

Savybės: LEI / NMI	Dyzelinis kuras	Žibalas Exxsol D80	Aviacinis žibalas JET A-1	Benzinas A-95
Tankis ρ kg/m ³	843,70 / 834,65	794,4	804,10 / 802,20	741,08 / 727,21
Dinaminė klampa μ mPa · s	2,80 / 3,99	1,69	1,24 / 1,41	0,37 / 0,55
Kinematinė klampa ν mm ² /s	3,33 / 4,78	2,13	1,55 / 1,76	0,50 / 0,75

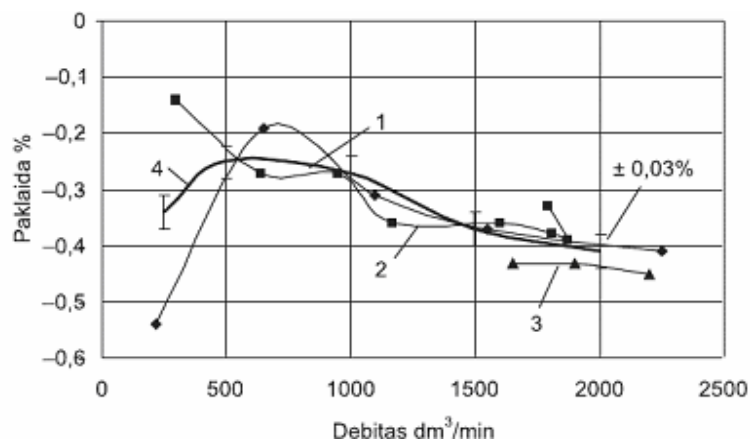
Eksperimentiniai tyrimai (14–16 pav.) rodo, kad kamerinio skaitiklio paklaida, kurią sąlygoja pertekėjimai per tarpus tarp korpuso ir darbo rato, smarkiai priklauso nuo naftos produktų klampos ir debito. Visais atvejais klampai mažėjant ir debitui didėjant, šie pertekėjimai didėja ir matuoklis registruoja vis mažesnius pertekančių naftos produktų kiekius. Matuojant klampą dyzeliną (14 pav.) visi matavimo rezultatai rodo, kad paklaidų vidurkis (4 kreivė) beveik tiesiškai kinta tik nuo 0,04 % iki – 0,02 % debitų intervale 15–120 m³/h. Nuokrypis nuo vidurkio ne didesnis kaip $\pm 0,03$ %. Tai iš tikrųjų labai maža rezultatų sklaida, atsižvelgus į labai skirtingas eksperimentų sąlygas ir galimus aplinkos temperatūros bei naftos produktų sudėties ar pokyčių įtakas. Tai rodo, kad tam tikrose skysčio klampos kitimo ribose skaitiklio paklaidos artėja prie tam tikros asimptotinės vertės.



14 pav. Kamerinio skaitiklio tikslumas matuojant dyzeliną: 1 – matavimų NMI (Olandija) laboratorijoje rezultatai, 2, 3 – matavimai atitinkamai 1 ir 2 – ajame degalų išpilstymo terminaluose, 4 – matavimų vidurkis



15 pav. Kamerinio skaitiklio tikslumas matuojant žibalą: 1 – matavimų NMI (Olandija) laboratorijoje rezultatai, 2 – matavimai 1 – ajame degalų išpilstymo terminale, 3 – matavimų vidurkis, 4 – matavimas naudojant Exxsol D80



16 pav. Kamerinio skaitiklio paklaidų kreivė matuojant benzina A-95; 1 – matavimų NMI (Olandija) laboratorijoje rezultatai, 2, 3 – matavimai atitinkamai 1 ir 2 – ajame degalų išpilstymo terminaluose, 4 – matavimų vidurkis

Taip pat matyti, kad didėjant debitui didėja kamerinio skaitiklio nematuojami pertekėjimai, kuriuos iš esmės lemia didėjantys slėgio nuostoliai skaitiklyje dėl didėjančio debito ir skaitiklio apsukų.

Mažėjant naftos produktų klampai, pertekėjimai per tarpus auga. Taip pat ženkliai padidėja jų priklausomybė nuo debito (15 ir 16 pav.).

Esant debitams per 30 m³/h ir jiems toliau didėjant, kamerinio matuoklio nematuojami pratekėjimai didėja ir matuoklio paklaidos pasislenka link neigiamų reikšmių. Ypač dideli pokyčiai pastebimi esant debitams, mažesniems nei 30 m³/h. Šioje srityje esant mažai naftos produktų klampai kamerinio skaitiklio paklaidos staigiai slenka link neigiamų

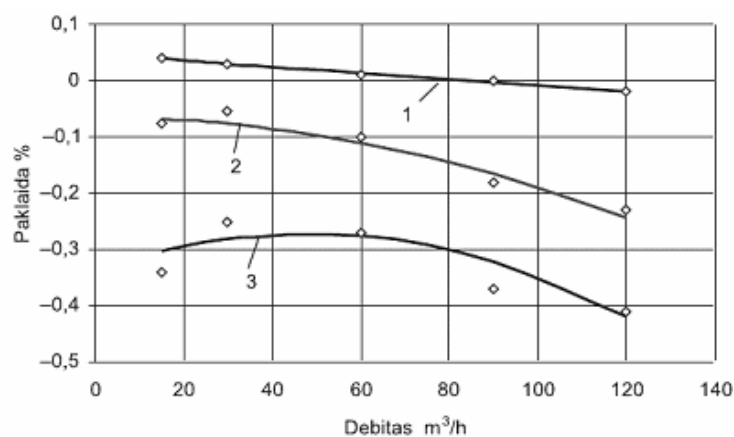
verčių. Tai greičiausiai lemia mažėjantis inercijos ir pasipriešinimo jėgų santykis, kuris padidina slėgio skaitiklyje nuostolius.

15 pav. pateikti matavimo rezultatai naudojant Exxsol D80 žibalą laboratoriniame įrenginyje. Kaip reikėjo laukti, dėl didesnės šio skysčio klampos kamerinio skaitiklio paklaidos sumažėja, palyginti su paklaidomis aviacinio žibalo sraute.

Kadangi visų matavimo rezultatų nuokrypiai nuo vidurkio nėra didesni kaip $\pm 0,03\%$, todėl kamerinio tipo skaitikliui galima nustatyti jo paklaidos priklausomybę nuo matuojamojo skysčio klampos ir debito. Praktikoje kamerinio tipo skaitikliai paprastai naudojami tam tikrame debito intervale, esant nustatytai apatinei debito matavimo ribai. Todėl šiame intervale praktiniams tikslams galima gauti gana tikslų apibendrinimą. Toks apibendrinimas svarbus sekant etaloninių ir darbinių naftos produktų matuoklių metrologines charakteristikas ir jų dėvėjimosi įtakas bei įvertinant skysčio pertekėjimus pro tarpus tarp matuoklio korpuso ir darbo rato. Kadangi nėra galimybių tiksliai įvertinti pertekėjimo tarpų geometriją ir matmenis bei tam tikrus fizinių savybių skirtumus, apibendrinimas buvo atliekamas formule, artima pagal struktūrą (4) formulei:

$$\delta = \frac{1}{\mu} (A + B \cdot q + C \cdot q^2); \quad (11)$$

čia A , B ir C – koeficientai, būdingi kameriniam skaitikliui; q – debitas m^3/h ; μ – skysčio dinaminė klampa.



17 pav. Eksperimentinių rezultatų apibendrinimas: 1 – dyzelinas, 2 – žibalas, 3 – benzinas

Buvo priimama, kad matuoklio darbo rato apsukos proporcingos pertekančio skysčio debitui. Taikant mažiausių kvadratų metodą, eksperimentai buvo apibendrinti esant vidutiniam standartiniam nuokrypiui $\pm 0,02$ % ir tokioms koeficientų A , B ir C reikšmėms:

$$A = 0,1099\mu - 0,2433; \quad (12)$$

$$B = (0,2814\mu^2 - 2,4348\mu + 2,7182) \cdot 10^{-3}; \quad (13)$$

$$C = (0,2373\mu^2 - 0,5613\mu - 1,3060) \cdot 10^{-5}; \quad (14)$$

Apibendrinimo rezultatai parodyti 17 pav. Kaip matyti iš pateikto apibendrinimo, bendrieji teorinės analizės principai pasitvirtina. Nors dėl skaitiklio formos, tekėjimo priklausomybės nuo skysčio fziųjų savybių ir apsukų apibendrinimai turi sudėtingą formą, vis dėlto jie turi didelę praktinę reikšmę įvertinant etaloninių ir darbinių naftos produktų skaitiklių metrologines charakteristikas ir galimus jų pokyčius.

4. Apibendrinimas

1. Skystųjų degalų 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. Tyrimai rodo, kad neapibrėžtį galima sumažinti iki $\pm 0,08$ %, atlikus skysčio temperatūros sistemos reguliavimo ir oro šalinimo įrangos papildomus tyrimus.

4. Skysčių klampos pokyčiai turi didelę įtaką kamerinių matuoklių matavimo paklaidoms. Matavimo tikslumui užtikrinti būtina eksperimentiškai nustatyti kamerinio matuoklio perskaičiavimo dėsningumą, atsižvelgus į skysčio klampos kitimo diapazoną. Ypač tai svarbu atlikti naftos produktams dėl didelės jų klampos priklausomybės nuo produktų rūšies ir jų temperatūros bei privalomojo reikalavimo skaitiklio tikslumui $\leq \pm 0,30$ %.

5. Eksperimentiniais tyrimais skirtingų skysčių srautuose nustatyta ir apibendrinta kamerinių skaitiklio paklaidų priklausomybė nuo skysčio klampos ir debito.

6. Siekiant garantuoti tikslią skysčių apskaitą, tikslinga atlikti matuoklių kalibravimus darbinėmis sąlygomis jų įrengimo vietoje, pasirinkus tinkamą kilnojamąjį etaloną, kuris teiktų reikšmes, nepaisant skysčio klampos. Be įprastinių tūrio etalonų-saikiklių, masės debito matuokliai gali būti tinkamais kilnojamais etalonais, prieš tai detaliai ištyrus jų metrologinių charakteristikų stabilumą.

5. Eksperimentiniai tyrimai

1 Bandymas

UŽDUOTIS: pagal sudarytą kalibravimo metodiką reikiamu tikslumu įvertinti degalų sąnaudų skaitiklio rodmenų tikslumą nuo debito reikšmės ir palyginti gautus rezultatus su pateiktais gamintojų.

Naudota bandymo įranga: etaloninis saikiklis M1P-10 L, 2 reguliuojantys čiaupai, teikiamasis vamzdynas, skaitiklis *AIC-1304*, elektros rodmenų registravimo įrenginys, nupylimo vamzdynas, nupylimo bakas.

1. Degalų sąnaudų skaitiklis – tūrinis degalų sąnaudų skaitiklis *AIC-1304* naudotinas įvairioms benzino ir dyzelino tiekimo sistemoms.

Šis skaitiklis leidžia nustatyti:

- momentines degalų sąnaudas litrais 100 kilometrų;
- momentines degalų sąnaudas litrais per valandą;
- vidutines degalų sąnaudas litrais 100 kilometrų;
- automobilio važiavimo greitį;
- vidutinį važiavimo greitį;
- atstumą, likusį iki programuotos techninės prėžiūros;
- važiavimo laiką ir per šį laiką nuvažiuotą atstumą;
- nuvažiuotą atstumą;
- bendras degalų sąnaudas;
- bendrą automobilio darbo laiką;
- perspėja vairuotoją, jeigu yra viršijamas vienas iš pasirinktų įprogramuotų greičių.

Degalų sąnaudų skaitiklio *AIC-1304* techniniai duomenys pateikti 6 lentelėje.

6 lentelė. Degalų sąnaudų skaitiklio *AIC-1304* techniniai duomenys

Techniniai parametrai	Reikšmės
Matavimo principas	tūrinis cilindrinis stūmoklinis debito matuoklis su mikroprocesoriaus valdomu impulsų generatoriumi
Debitas	1 – 80 l/h

Impulsų skaičius 1 litrui	1990
Paklaida	< 1 %
Matuojamieji skysčiai	visi benzinai, dyzelinas, žibalas, nafta
Didžiausias slėgis	skaitiklio 20 bar; redukcinio vožtuvo 5 bar
Didžiausia skysčio temperatūra	60 °C
Tėkmės kryptis	nesvarbi
Maitinimas	8 – 15 V nuolatinė įtampa
Impulso trukmė	> 1,2 ms

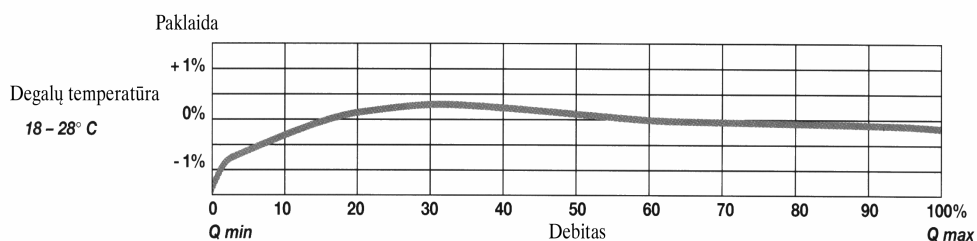
Degalų sąnaudų skaitiklio bendras vaizdas pateiktas 18 pav., o jo tikslumo grafikas 19 pav.



18 pav. Degalų sąnaudų skaitiklio AI –1304 sudedamosios dalys:

1 – elektroninis rodmenų registravimo įrenginys; 2 – tūrinis skysčio skaitiklis; 3 – redukcinis vožtuvas

19 pav. yra parodytas degalų sąnaudų skaitiklio tikslumo grafikas, pateiktas skaitiklio gamintojų. Iš jo matyti, kad skaitiklio tikslumas priklauso nuo debito. Kuo didesnis pratekančio pro skaitiklį darbinio skysčio debitas, tuo jo paklaida mažesnė ir rodmenys tikslesni.



2. Etaloninis saikiklis

Etaloninis saikiklis bandymui parenkamas pagal tokį reikalavimą: jo tūris neturi būti mažesnis negu tūris, pratekantis per tikrinamą skaitiklį per 1,5 min. esant didžiausiam debitui. Taip yra pašalinama nenustatyto režimo laiko įtaka matavimo pradžioje ir pabaigoje.

Parinkto skaitiklio $Q_{max} = 80 \text{ l/h}$, $\Rightarrow$ tai yra 2 l/1,5 min.

Parenkamas 10 l nominalinės vertės etaloninis saikiklis (20 pav.).



20 pav. Etaloninis saikiklis M1P-10 L; Nr. 144

Etaloninio saikiklio M1P-10 L; Nr. 144 techniniai duomenys.

Kalibravimo metodas: Saikiklio tūrio vertė nustatyta tiesioginio palyginimo metodu atliekant matavimų serijas ir naudojant laboratorijos etalonus.

Aplinkos sąlygos: temperatūra $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$; santykinis oro drėgnumas $(40 \dots 60) \%$; atmosferinis slėgis $(100 \pm 4) \text{ kPa}$

Lašėjimo laikas po išpylimo – 30 sekundžių.

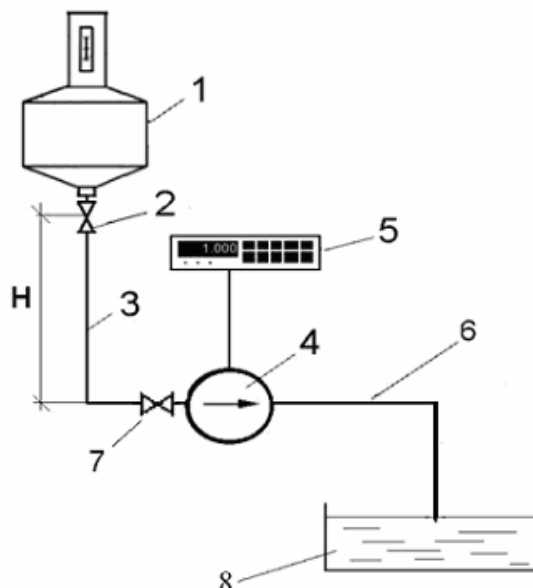
Saikiklio tūris – išpylimo

7 lentelė. Etaloninio saikiklio M1P-10 L; Nr. 144 techniniai duomenys

Nominalinė vertė	Tikroji vertė	Išplėstinė neapibrėžtis
10 l	10,0009	$\pm 0,66 \text{ ml}$

Bandymo metodika

Degalų sąnaudų skaitikliui patikrinti reikalinga įranga, kurios pagrindinė dalis yra kalibruoto tūrio indas (etaloninis saikiklis), kurio talpa 10 l. Šis indas žarnelėmis sujungiamas su degalų sąnaudų skaitikliu, kaip parodyta 21 pav.



21 pav. Degalų sąnaudų skaitiklio kalibravimo įrangos schema:

1 – etaloninis saikiklis; 2 – reguliuojantis čiaupas; 3 – teikiamasis vamzdynas; 4 – skaitiklis; 5 – elektros rodmenų registravimo įrenginys; 6 – nupilimo vamzdynas; 7 – 2-as reguliuojantis čiaupas; 8 – nupylimo bakas

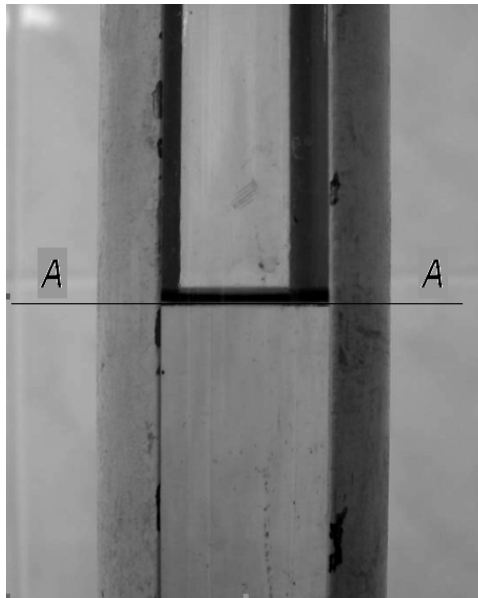
Bandymas atliekamas prapilant darbinį skystį iš etaloninio saikiklio pro kalibruojamą skaitiklį 4 skirtingais debitais, nuo 30 iki 80 l/h. $Q_{max}=80$ l/h. Tai leidžia ištirti visus skaitiklio darbo diapazonus ir nustatyti pasirinkto skaitiklio didžiausią rodmenų tikslumą.

Debito reikšmė nustatoma keičiant aukštį H , kaip parodyta 21 pav.

Bandymas atliekamas esant 15 – 20 °C temperatūrai.

Bandymas atliekamas šia tvarka:

- 1) parenkamas aukštis H ;
- 2) saikiklis pripildomas skysčio iki viršutinės žymės (22 pav.);
- 3) atsukamas čiaupas 2, iš sistemos pašalinamas oras;



22 pav. Saikiklio kaklelis su stebėjimo langu: A – pradinė nulinė žyma

- 4) elektroniniame rodmenų registravimo įrenginyje nunulinami pratekėjusio skysčio kiekio rodmenys;
- 4) atsukamas čiaupas 7 ir leidžiama skysčiui tekėti;
- 5) stebimas inde ir žarnelyje esančio skysčio lygis. Jam nukritus iki apatinės žymės užsukamas čiaupas;
- 6) užrašomi skaitiklio rodmenys ir pratekėjimo laikas.

Bandymo planas

8 lentelė. Bandymo planas

Bandymas Nr.	Aukštis H , m	Debitas Q , l/h
1	2,0	~ 80
2	1,5	~ 60
3	0,7	~ 40
4	0,3	~ 20

Atliekant bandymą užrašomi tokie rodmenys:

- pratekėjęs pro skaitiklį skysčio tūris V_{sk} , kurį užregistravo skaitiklis;
- prapylimo laikas t , kuris matuojamas nuo reguliuojamo čiaupo atidarymo iki jo uždarymo.

Apskaičiuoju:

- Skaitiklio išmatuotą turį galima išreikšti formule:

$$V_{sk} = V_e + \Delta V_t + \Delta V_0; (15)$$

čia: V_e – etaloninio saikiklio tikroji vertė; ΔV_t – pataisa dėl skysčio temperatūrinio plėtimosi ($\Delta V_t = 0,01 V_e \%$); ΔV_0 – pataisa dėl skysčio tankio pokyčių orui patekus į skystį ($\Delta V_0 = 0,025 V_e \%$).

- Skaitiklio rodmenų paklaida.

$$\Delta_i V_{sk} = \sqrt{(V_{et} - V_{sk})^2}; (16)$$

$$\Delta V_{sk} = \frac{\sum_{i=1}^N \Delta_i}{N}; (17)$$

$$\delta\% = \frac{\Delta V_{sk} \cdot 100\%}{V_{et}}. (18)$$

Čia $\Delta_i V_{sk}$ – i -ojo matavimo paklaidos reikšmė; ΔV_{sk} – j -ojo bandymo paklaidų aritmetinis vidurkis; δ – j -ojo bandymo skaitiklio paklaida %.

- Apskaičiuoju vidutinį bandymo debitą Q_{vid} :

$$Q_{vid} = \frac{V_{sk.vid.}}{t_{vid}} l / h; (19)$$

$$t_{vid} = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N}; (20)$$

$$V_{sk.vid} = \frac{\sum_{i=1}^N V_{sk.i}}{N}. (21)$$

- Skaitiklio suminė neapibrėžtis išreiškiama tokia formule (A tipo neapibrėžties sandas):

$$u_{sk} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N [\Delta_i - \Delta]^2}{N - 1}}. (22)$$

- Nubrėžiamas skaitiklio paklaidos kitimo priklausomybės nuo debito reikšmės grafikas.

Bandymo rezultatai

1 bandymą atliekame, kada etaloninis saikiklis yra 2 m aukštyje virš skaitiklio, elektroninio rodmenų registravimo įrenginio impulsų skaičius lygus 1990 impulsų vienam litrui. Gautus rezultatus įrašau į 9 lentelę. Bandymą pakartoju 3 kartus.

9 lentelė. Bandymo rezultatai

Nr.	Skaitiklio rodmuo $V_{sk} (l)$	$t (min.)$	$\Delta_i V_{sk}$
1	10,004	8,5	0,004
2	10,006	8,2	0,006
3	10,005	8,3	0,005

Apskaičiuoju skaitiklio rodmenų paklaidą:

$$\Delta_i V_{sk} = \sqrt{(V_{et} - V_{sk})^2};$$

$$\Delta V_{sk} = \frac{\sum_{i=1}^N \Delta_i}{N} = \frac{0,004 + 0,006 + 0,005}{3} = 0,005l;$$

$$\delta\% = \frac{\Delta V_{sk} \cdot 100\%}{V_{et}} = \frac{0,005 \cdot 100\%}{10,000} = 0,05\%.$$

Apskaičiuoju vidutinį bandymo debitą Q_{vid} :

$$V_{sk.vid} = \frac{\sum_{i=1}^N V_{sk.i}}{N} = \frac{10,004 + 10,006 + 10,005}{3} = 10,005l;$$

$$t_{vid1} = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N} = \frac{8,5 + 8,2 + 8,3}{3} = 8,33min ;$$

$$Q_{vid} = \frac{V_{sk.vid}}{t} = \frac{10,005}{\frac{8,33}{60}} = 72,06 l / h.$$

2 bandymą atliekame, kada etaloninis saikiklis yra 1,5 m aukštyje virš skaitiklio, elektroninio rodmenų registravimo įrenginio impulsų skaičius lygus 1990 impulsų vienam litrui. Gautus rezultatus įrašau į 10 lentelę . Bandymą pakartoju 3 kartus.

10 lentelė. Bandymo rezultatai

Nr.	Skaitiklio rodmuo $V_{sk} (l)$	$t (min.)$	$\Delta_i V_{sk}$
1	10,009	9,8	0,009
2	10,006	9,5	0,006
3	10,006	9,6	0,006

Apskaičiuoju skaitiklio rodmenų paklaidą:

$$\Delta_i V_{sk} = \sqrt{(V_{et} - V_{sk})^2};$$

$$\Delta V_{sk} = \frac{\sum_{i=1}^N \Delta_i}{N} = \frac{0,009 + 0,006 + 0,006}{3} = 0,007 l;$$

$$\delta\% = \frac{\Delta V_{sk} \cdot 100\%}{V_{et}} = \frac{0,007 \cdot 100\%}{10,000} = 0,07\%.$$

Apskaičiuoju vidutinį bandymo debitą Q_{vid} :

$$V_{sk.vid} = \frac{\sum_{i=1}^N V_{sk.i}}{N} = \frac{10,009 + 10,006 + 10,006}{3} = 10,007 l;;$$

$$t_{vid1} = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N} = \frac{9,8 + 9,5 + 9,6}{3} = 9,63 min ;$$

$$Q_{vid} = \frac{V_{sk.vid}}{t} = \frac{10,007}{\frac{9,63}{60}} = 62,35 l / h.$$

3 bandymą atliekame, kada etaloninis saikiklis yra 0,7 m aukštyje virš skaitiklio, elektroninio rodmenų registravimo įrenginio impulsų skaičius lygus 1990 impulsų vienam litrui. Gautus rezultatus įrašau į 11 lentelę. Bandymą pakartuju 3 kartus.

11 lentelė. Bandymo rezultatai

Nr.	Skaitiklio rodmuo $V_{sk} (l)$	$t (min.)$	$\Delta_i V_{sk}$
1	10,036	14,6	0,036
2	10,040	14,7	0,040
3	10,048	14,4	0,048

Apskaičiuoju skaitiklio rodmenų paklaidą:

$$\Delta_i V_{sk} = \sqrt{(V_{et} - V_{sk})^2};$$

$$\Delta V_{sk} = \frac{\sum_{i=1}^N \Delta_i}{N} = \frac{0,036 + 0,040 + 0,048}{3} = 0,041l;$$

$$\delta\% = \frac{\Delta V_{sk} \cdot 100\%}{V_{et}} = \frac{0,041 \cdot 100\%}{10,000} = 0,41\%.$$

Apskaičiuoju vidutinį bandymo debitą Q_{vid} :

$$V_{sk,vid} = \frac{\sum_{i=1}^N V_{sk,i}}{N} = \frac{10,036 + 10,040 + 10,048}{3} = 10,041l;$$

$$t_{vid1} = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N} = \frac{14,6 + 14,7 + 14,4}{3} = 14,56 \text{ min};$$

$$Q_{vid} = \frac{V_{sk,vid}}{t} = \frac{10,041}{\frac{14,56}{60}} = 41,38l/h.$$

4 bandymą atliekame, kada etaloninis saikiklis yra 0,3 m aukštyje virš skaitiklio, elektroninio rodmenų registravimo įrenginio impulsų skaičius lygus 1990 impulsų vienam litrui. Gautus rezultatus įrašau į 12 lentelę . Bandymą pakartoju 3 kartus.

12 lentelė. Bandymo rezultatai

Nr.	Skaitiklio rodmuo $V_{sk} (l)$	$t (min.)$	$\Delta_i V_{sk}$
1	10,086	18,3	0,086
2	10,078	18,6	0,078
3	10,089	18,7	0,089

Apskaičiuoju skaitiklio rodmenų paklaidą:

$$\Delta_i V_{sk} = \sqrt{(V_{et} - V_{sk})^2};$$

$$\Delta V_{sk} = \frac{\sum_{i=1}^N \Delta_i}{N} = \frac{0,086 + 0,078 + 0,089}{3} = 0,084l;$$

$$\delta\% = \frac{\Delta V_{sk} \cdot 100\%}{V_{et}} = \frac{0,084 \cdot 100\%}{10,000} = 0,84\%.$$

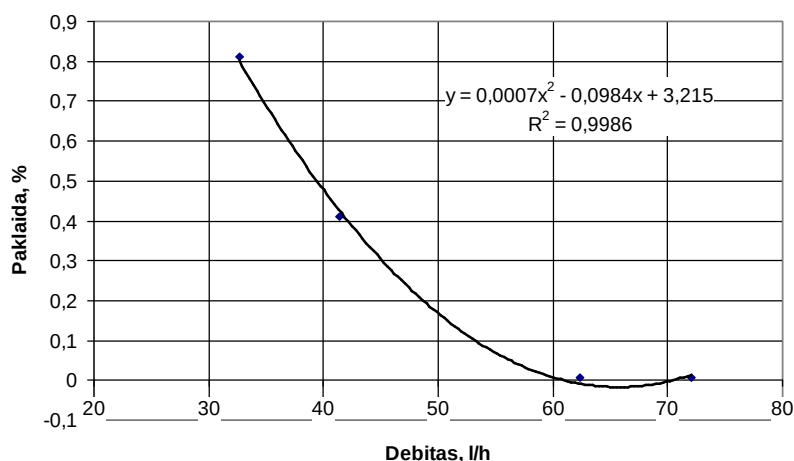
Apskaičiuoju vidutinį bandymo debitą Q_{vid} :

$$V_{sk.vid} = \frac{\sum_{i=1}^N V_{sk.i}}{N} = \frac{10,086 + 10,078 + 10,089}{3} = 10,084l;;$$

$$t_{vid1} = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N} = \frac{18,3 + 18,6 + 18,7}{3} = 18,53 \text{ min};$$

$$Q_{vid} = \frac{V_{sk.vid}}{t} = \frac{10,084}{\frac{18,53}{60}} = 32,65l / h$$

Nubraižau grafiką:



23 pav. Skaitiklio paklaidos kitimo priklausomybės nuo debito reikšmės

23 pav. pavaizduota kaip skaitiklio rodmenų tikslumas keičiasi nuo debito reikšmės. Iš jo matyti, kad kai prapylimo debitas artėja prie maksimumo, skaitiklio rodmenų paklaida yra mažiausė.

2 Bandymas

UŽDUOTIS: pagal sudarytą kalibravimo metodiką reikiamu tikslumu įvertinti degalų sąnaudų skaitiklio rodmenų tikslumą, priklausančią nuo darbinių skysčių klampos ir temperatūros.

Naudota bandymo įranga: etaloninis saikiklis M1P-2 L, 2 reguliuojantys čiaupai, teikiamasis vamzdynas, skaitiklis AIC-1304, elektros rodmenų registravimo įrenginys, nupylimo vamzdynas, nupylimo bakas.

1. Tūrinis degalų sąnaudų skaitiklis AIC-1304 naudotinas įvairioms benzino ir dyzelino tiekimo sistemoms (18 pav.).

2. Etaloninis saikiklis :

Prenkamas 2,0 l nominalinės vertės etaloninis saikiklis (24 pav.).



24 pav. Etaloninis saikiklis M1P-2 L; Nr. 11

Etaloninio saikiklio M1P-2 L; Nr. 11 techniniai duomenys.

Kalibravimo metodas: Saikiklio tūrio vertė nustatyta tiesioginio palyginimo metodu pagal M2,3 procedūrą, atliekant matavimų serijas ir naudojant laboratorijos etalonus.

Aplinkos sąlygos: temperatūra $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$; santykinis oro drėgnumas (40...60) %; atmosferinis slėgis (100 ± 4) kPa.

13 lentelė. Etaloninio saikiklio M1P-2 L; Nr. 11 techniniai duomenys.

Nominalinė vertė	Tikroji vertė	Išplėstinė neapibrėžtis
2 l	2,0009	$\pm 0,77$ ml

Bandymo metodika

Degalų sąnaudų skaitikliui patikrinti reikalinga įranga, kurios pagrindinė dalis yra kalibruoto tūrio indas (etaloninis saikiklis), kurio talpa 2 l. Šis indas žarnelėmis sujungiamas su degalų sąnaudų skaitikliu, kaip parodyta 21 pav.

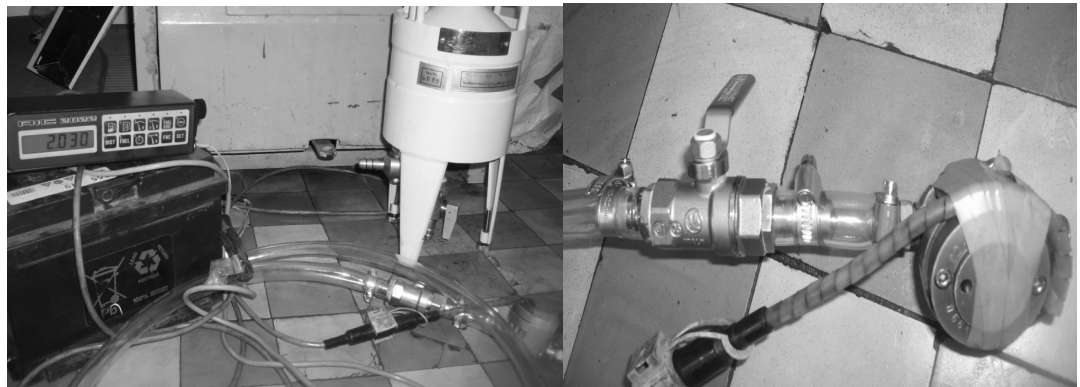
Bandymas atliekamas prapilant darbinį skystį iš etaloninio saikiklio pro kalibruojamą skaitiklį skirtingais debitais, nuo 30 iki 70 l/h.

Naudojami trys skirtingos klampos darbiniai skysčiai: dyzelinas ($\mu=2,80/3,99$ mPa·m), žibalas ($\mu=1,69$ mPa·m), benzinas ($\mu=0,37/0,55$ mPa·m). Tai leidžia ištirti visus skaitiklio darbo diapazonus, kurie priklauso nuo darbinio skysčio klampos ir prapylimo debeto, ir nustatyti pasirinkto skaitiklio didžiausią rodmenų tikslumą. Debito reikšmė unustatoma keičiant aukštį H, kaip parodyta 21 pav.

Bandymas atliekamas esant 15–20 °C temperatūrai.

Bandymas atliekamas šia tvarka:

- 1) parenkamas aukštis H;
- 2) saikiklis pripildomas skysčio iki viršutinės žymės;
- 3) atsukamas čiaupas 2, iš sistemos pašalinamas oras;
- 4) elektroniniame rodmenų registravimo įrenginyje nunulinami pratekėjusio skysčio kiekio rodmenys;
- 4) atsukamas čiaupas 7 ir leidžiama skysčiui tekėti;
- 5) stebimas inde ir žarnelyje esančio skysčio lygis. Jam nukritus iki apatinės žymės užsukamas čiaupas;
- 6) užrašomi skaitiklio rodmenys ir pratekėjimo laikas.



25 pav. Degalų sąnaudų skaitiklio kalibravimo įranga

Atliekant bandymą užrašomi tokie rodmenys:

- pratekėjęs pro skaitiklį skysčio tūris V_{sk} kurį užregistravo skaitiklis;
- prapylimo laikas t , kuris matuojamas nuo reguliuojamo čiaupo atidarymo iki jo uždarymo.

Apskaičiuoju:

- Skaitiklio rodmenų paklaidą.

$$\Delta_i V_{sk} = \sqrt{(V_{et} - V_{sk})^2}; \quad (16)$$

$$\Delta V_{sk} = \frac{\sum_{i=1}^N \Delta_i}{N}; \quad (17)$$

$$\delta\% = \frac{\Delta V_{sk} \cdot 100\%}{V_{et}}. (18)$$

Čia $\Delta_i V_{sk}$ – i -ojo matavimo paklaidos reikšmė; ΔV_{sk} – j -ojo bandymo paklaidų aritmetinis vidurkis; δ – j -ojo bandymo skaitiklio paklaida %.

- Apskaičiuoju vidutinį bandymo debitą Q_{vid} :

$$Q_{vid} = \frac{V_{sk.vid.}}{t_{vid}} l / h ; (19)$$

$$t_{vid} = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N} ; (20)$$

$$V_{sk.vid} = \frac{\sum_{i=1}^N V_{sk.i}}{N}. (21)$$

- Skaitiklio suminė neapibrėžtis išreiškiama tokia formule (A tipo neapibrėžties sandas):

$$u_{sk} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N [\Delta_i - \Delta]^2}{N-1}}. (22)$$

- Nubraižomas skaitiklio paklaidos kitimo priklausomybės nuo debito reikšmės grafikas.

Bandymo rezultatai

1 bandymą atliekame, kai darbinis skystis yra dyzelinas. Elektroninio rodmenų registravimo įrenginio impulsų skaičius lygus 1990 impulsų vienam litrai. Pakartoju bandymą 8 kartus skirtingais debitaais – kiekvienam bandymui keičiamas aukštis H (21 pav.). Gautus rezultatus įrašau į 14 lentelę .

14 lentelė. Bandymo rezultatai

Nr.	Skaitiklio rodmuo V_{sk} (l)	t (min.)	Q (l/h)	$\Delta_i V_{sk}$
1	2,011	1,6	75,4	0,011
2	2,016	1,7	69,9	0,016
3	2,015	1,9	63,2	0,015
4	2,013	2,1	54,1	0,013
5	2,011	2,7	44,5	0,011
6	2,012	2,6	46,3	0,012
7	2,007	3,6	33,3	0,007
8	2,005	3,3	35,6	0,005

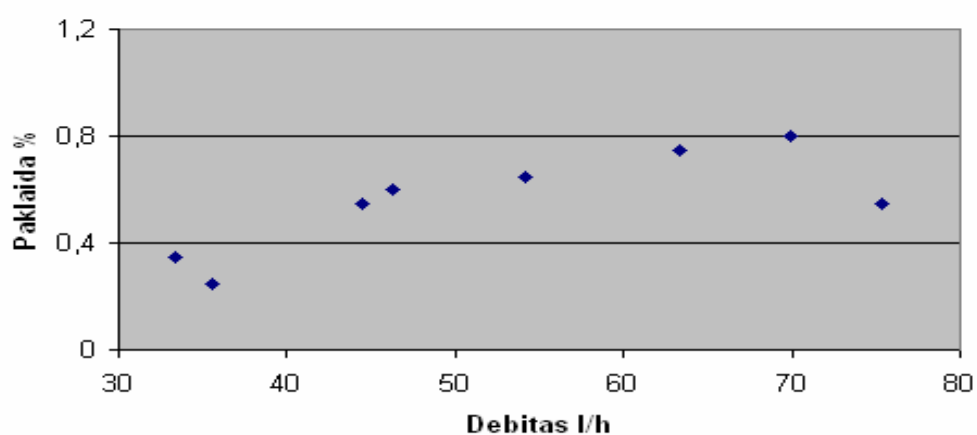
Apskaičiuoju skaitiklio rodmenų paklaidą:

$$\Delta_i V_{sk} = \sqrt{(V_{et} - V_{sk})^2};$$

$$\Delta V_{sk} = \frac{\sum_{i=1}^N \Delta_i}{N} = \frac{0,011 + 0,016 + 0,015 + 0,013 + 0,011 + 0,012 + 0,007 + 0,005}{8} = 0,011l;$$

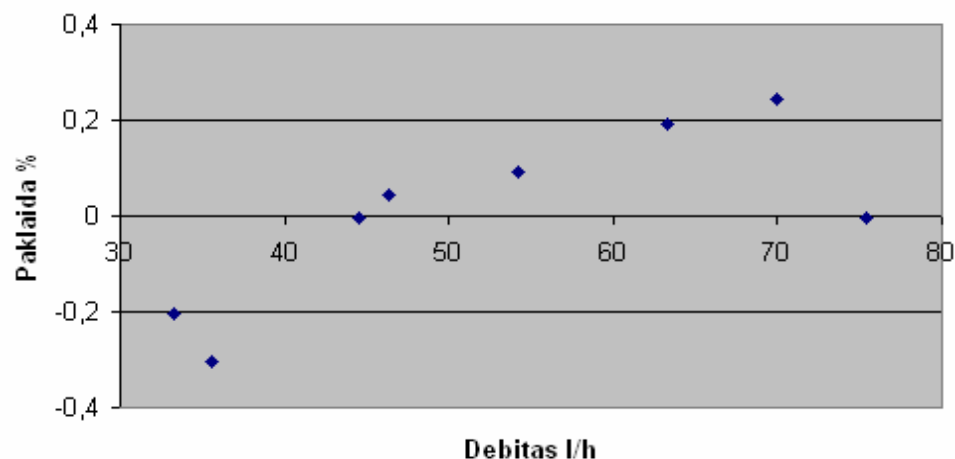
$$\delta\% = \frac{\Delta V_{sk} \cdot 100\%}{V_{et}} = \frac{0,011 \cdot 100\%}{2,000} = 0,55\%.$$

Nubraižau grafiką:



26 pav. Skaitiklio paklaidos kitimo priklausomybės nuo debito reikšmės naudojant dyzeliną

Išvada: naudojant dyzeliną kaip darbinį skystį, kai skaitiklyje nustatyta 1990 impulsų vienam litrai, paklaida neviršija 0,55 %. Kad parodymų tikslumas būtų didesnis, reikia sumažinti impulsų skaičių vienam litrai iki 1979 (27 pav.).



27 pav. Skaitiklio paklaidos kitimo priklausomybės nuo debito reikšmės naudojant dyzeliną, kai elektroninio rodmenų registravimo įrenginio impulsų skaičius lygus 1979 impulsų vienam litrui

2 bandymą atliekame, kai darbinis skystis yra žibalas. Elektroninio rodmenų registravimo įrenginio impulsų skaičius lygus 1990 impulsų vienam litrui. Pakartojų bandymą 8 kartus skirtingais debitais – kiekvienam bandymui keičiamas aukštis H (21 pav.). Gautus rezultatus įrašau į 15 lentelę.

15 lentelė. Bandymo rezultatai

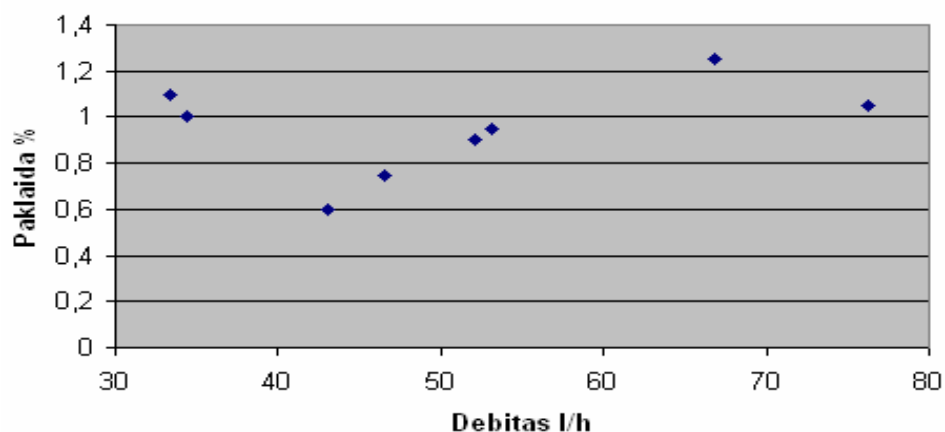
Nr.	Skaitiklio rodmuo $V_{sk} (l)$	$t (min.)$	$Q (l/h)$	$\Delta_i V_{sk}$
1	2,021	1,6	76,26	0,021
2	2,025	1,8	66,76	0,025
3	2,019	2,3	53,13	0,019
4	2,018	2,3	52,15	0,018
5	2,012	2,8	43,11	0,012
6	2,015	2,6	46,5	0,015
7	2,020	3,5	34,4	0,020
8	2,022	3,6	33,4	0,022

$$\Delta_i V_{sk} = \sqrt{(V_{et} - V_{sk})^2};$$

$$\Delta V_{sk} = \frac{\sum_{i=1}^N \Delta_i}{N} = \frac{0,021 + 0,025 + 0,019 + 0,018 + 0,012 + 0,015 + 0,020 + 0,022}{8} = 0,019l;$$

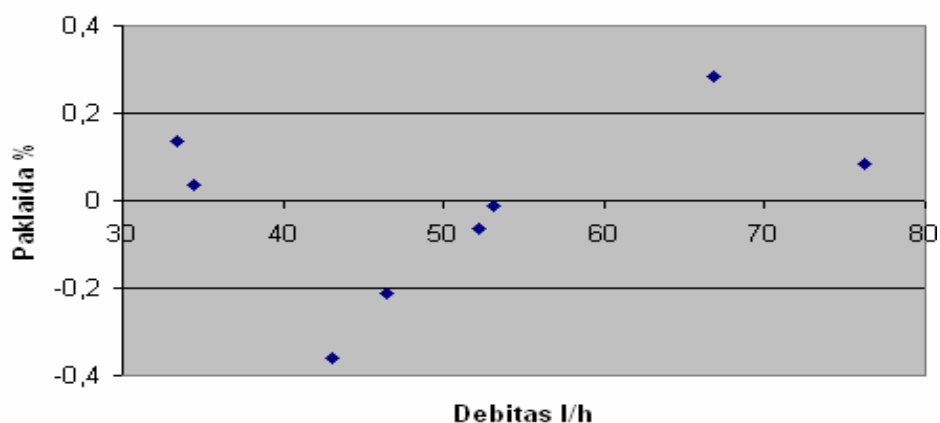
$$\delta\% = \frac{\Delta V_{sk} \cdot 100\%}{V_{et}} = \frac{0,019 \cdot 100\%}{2,000} = 0,95\%.$$

Nubraižau grafiką:



28 pav. Skaitiklio paklaidos kitimo priklausomybės dėl debito reikšmės naudojant žibalą

Išvada: naudojant žibalą kaip darbinį skystį, kai skaityklyje nustatyta 1990 impulsų vienam litrai, paklaida neviršija 0,95 %. Kad rodmenų tikslumas būtų didesnis, reikia sumažinti impulsų skaičių vienam litrai iki 1971 (29 pav.).



29 pav. Skaitiklio paklaidos kitimo priklausomybės nuo debito reikšmės naudojant žibalą, kai elektroninio rodmenų registravimo įrenginio impulsų skaičius lygus 1979 impulsų vienam litrai

3 bandymą atliekame, kai darbinis skystis yra benzinas. Elektroninio rodmenų registravimo įrenginio impulsų skaičius lygus 1990 impulsų vienam litrai. Pakartoju bandymą 8 kartus skirtingais debitais – kiekvienam bandymui keičiamas aukštis H (21 pav.). Gautus rezultatus įrašau į 16 lentelę .

16 lentelė. Bandymo rezultatai

Nr.	Skaitiklio rodmuo V_{sk} (l)	t (min.)	Q (l/h)	$\Delta_i V_{sk}$
1	2,026	1,6	75,04	0,026
2	2,030	1,8	65,84	0,030

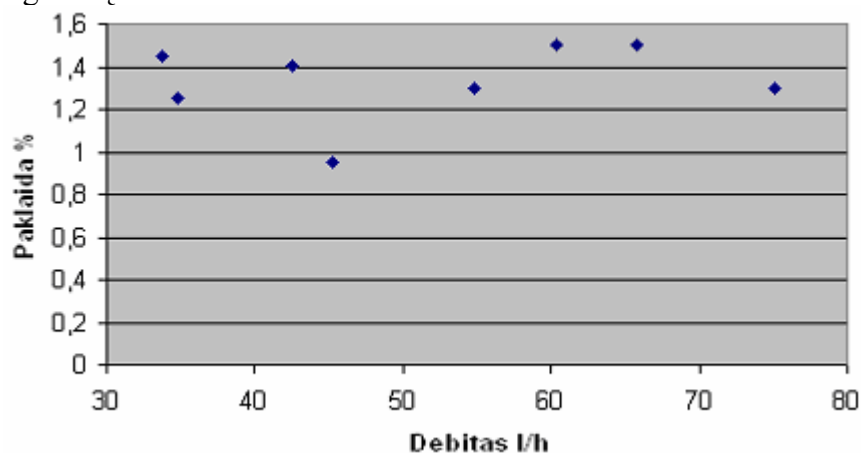
3	2,030	2,0	60,3	0,030
4	2,026	2,2	54,76	0,026
5	2,028	2,8	42,5	0,028
6	2,019	2,7	45,3	0,019
7	2,029	3,6	33,7	0,029
8	2,025	3,5	34,8	0,025

$$\Delta_i V_{sk} = \sqrt{(V_{et} - V_{sk})^2};$$

$$\Delta V_{sk} = \frac{\sum_{i=1}^N \Delta_i}{N} = \frac{0,026 + 0,030 + 0,026 + 0,030 + 0,028 + 0,019 + 0,029 + 0,025}{8} = 0,0271;$$

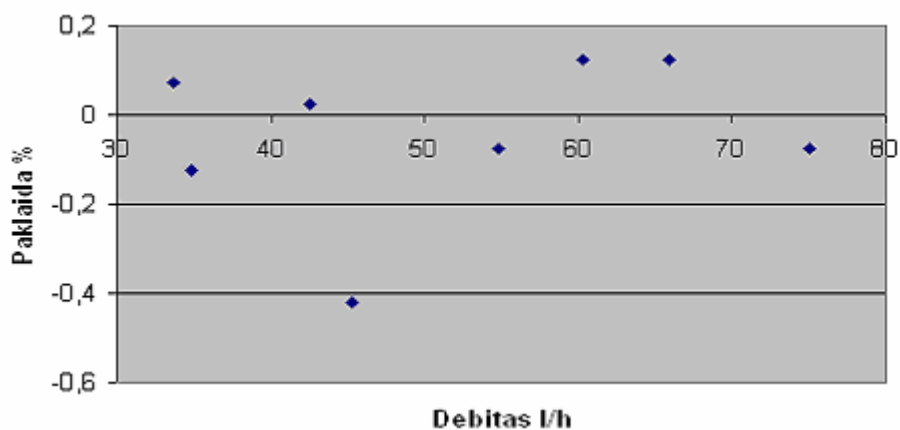
$$\delta\% = \frac{\Delta V_{sk} \cdot 100\%}{V_{et}} = \frac{0,027 \cdot 100\%}{2,000} = 1,35\%.$$

Nubraižau grafiką:



30 pav. Skaitiklio paklaidos kitimo priklausomybės nuo debito reikšmės naudojant benzina

Išvada: naudojant benzina kaip darbinį skystį, kai skaitiklyje nustatyta 1990 impulsų vienam litrai, paklaida yra 1,35 %. Kad parodymų tikslumas būtų didesnis, reikia sumažinti impulsų skaičių vienam litrai iki 1963 (31 pav.).



31 pav. Skaitiklio paklaidos kitimo priklausomybės nuo debito reikšmės naudojant benzina, kai elektroninio rodmenų registravimo įrenginio impulsų skaičius lygus 1963 impulsų vienam litrai

Išvados

Sudaryta skaitiklio kalibravimo metodika ir atlikti eksperimentiniai tyrimai leidžia daryti šias išvadas:

1. Sudaryta bandymo metodika yra tinkama atlikinėti nedidelių degalų sąnaudų skaitiklių kalibravimą.
2. Atlikus tyrimus ir apskaičiavus gauta, kad skaitiklio paklaidų reikšmės, neviršija nurodytų gamintojo reikšmių.
3. Atlikus tyrimus ir skaičiavimus nustatyta skysčio debito reikšmės ir skaitiklio paklaidos δ (%) priklausomybė (23 pav.). Paklaida yra tuo mažesnė, kuo didesnis debitas.
4. Atlikus bandymą nustatyta, kad: skaitiklio rodmenų tikslumas yra aukštas, nes paklaida neviršija 1%, tai atitinka nurodytas gamintojo reikšmes.
5. Skaitiklių kalibravimo rezultatų tikslumas glaudžiai susijęs su matuoklio tipu, darbinių skysčių fizikinėmis savybėmis ir debito reikšmėmis. Matavimo tikslumui užtikrinti būtina eksperimentiškai nustatyti matuoklio rodmenų priklausomybę nuo darbinio skysčio klampos kitimo diapazono. Ypač tai svarbu atlikti dirbant su naftos produktais, dėl didelės jų klampos priklausomybės nuo produktų rūšies ir jų temperatūros. Šiuo atveju siūloma dirbant su skirtingais naftos produktais skaitiklio elektroniniame rodmenų registravimo įrenginyje keisti impulsų skaičių vienam litrui.

Literatūros sąrašas

1. OIMLR117:1995. Measuring systems for liquids other than water. P. 17–21.
2. OIMLDR117-1:9 February 2007. Measuring systems for liquids other than water– Part 1: Metrological and technical requirements. P. 22–25.
3. Bončkus a., Zygmantas g., Pedišius a. Įrenginio vandens tūrio ir srauto vienetais atkurti prototipo bandymai // Matavimai. kaunas: technologija, 2005. nr. 2(34). P. 14–20.
4. 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.
5. 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.
6. Matavimo neapibrėžties išraiška kalibravime. ea leidinys. 4/02. 1999. P. 79.
7. Techninė užduotis naftos ir naftos produktų tūrio ir debitų 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.
8. Stolt k., Pedišius n. Bilateral intercomparison between li-thuanian energy institute (lei) and Swedish national testing and research (SP) in the field of kerosene. SP report 2004:45. Measurement technology. Boras 2004. P.10.
9. Nerijus Pedišius, Andrius Bončkus. Energetika. 2008. Tt. 54. Nnr. 1. P. 40–46, lietuvos mokslų akademijos leidykla, 2008
10. Andrius Bonekus, Antanas Pedišius. „Vandens ir šilumos kiekio matavimo tikslumo tyrimas“. ENERGETIKA. 2005. Nr. 2. P. 48–52, Lietuvos mokslo akademijos leidykla, 2005
11. В.Г. Цейтлин “Техника измерений расхода и количества жидкостей газов и паров: Учебное пособие”.
12. А.Н. Павловский “Измерение расхода и количества жидкостей, газа и пара”.
13. А.А. Тупиченков “Счетчики жидкости”. Издательство стандартов 1980 г.
14. П.П. Кремлевский “Расходомеры и счетчики количества жидкости”. Машиностроение 1975 г.