

SRAUTO GREIČIŲ MATUOKLIŲ APŽVALGOS ANALIZĖ

Vaidas Jozonis¹, Jonas Stankūnas², Andrius Jozonis³

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. paštas: ¹vaidas.jozonis@vgtu.lt; ²jonas.stankunas@vgtu.lt; ³andrius.jozonis@stud.ktu.lt

Santrauka. Kuriant naują srauto greičio matavimo metodą, pirmiausia ištiriame alternatyvių matavimo būdų privalumus, trūkumus ir veikimo principus. Straipsnyje nagrinėjami srautų greičio matuokliai. Jie klasifikuojami pagal veikimo principą, aptariami privalumai, trūkumai, atlikta palyginamoji apžvalga. Išnagrinėjus visus galimus srauto matavimo metodus, juos galima skirstyti į penkias stambias grupes.

Reikšminiai žodžiai: matavimų inžinerija, srauto matuoklis, greičio matuoklis, ultragarsinis matuoklis, tūrinis matuoklis, Doplerio matuoklis.

Įvadas

Kuriant naują srauto greičio matavimo metodą, reikia iširti visų srauto greičio matavimo būdų veikimą, privalumus bei trūkumus. Plačiausiai paplitę yra geriamojo vandens vartojimo apskaitos ir matavimai. Straipsnyje nagrinėjami tekančių skysčių ir dujų greičio matavimo metodai. Matavimais siekiama dviejų svarbiausių tikslų. Pirmiausia siekiama nustatyti pratekėjusių dujų ar skysčių kiekius. Tai labai svarbu atliekant skysčių suvartojimo kontrolę ir apskaitą. Antra, tėkmė, ypač technologiniuose procesuose, matuojama siekiant nustatyti ir kontroliuoti srautų dydžių vertes arba įspėti apie nuokrypius nuo nustatytų verčių.

Srauto matavimo matuoklių įvairovė yra labai didelė, todėl sunku parinkti tinkamą metodą norimiems matavimams. Srauto metodai yra skirstomi pagal tai, kokį medžiagos būvio srautą jie matuoja. Tai gali būti:

- dujos;
- skysčiai;
- kietojo būvio medžiagos.

Skirstomi ir pagal tikslumą, slėgio sumažėjimą (matuojamoje medžiagoje esanti kliūtis mažina srautą), greittaveiką ir staigius greičio pokyčius, maksimalias greičio matavimo ribas, taip pat temperatūrinės ribas. Yra aktualios, bet ne tokios svarbios kaip kaina, tvirtinimo prie matuojamos terpės ypatybės, matavimo kryptys (kai kurie matuokliai sugeba matuoti greitį iš abiejų pusių) ir kt.

Matavimo metodus pagal panaudojamą fizikinį reiškinį galima suskirstyti į penkias dideles grupes:

- dinaminiai;
- pastovaus slėgio kritimo;
- tūriniai (kameriniai);
- tiesioginės masės;
- kiti.

Dinaminiai matuokliai

Dinaminiai matuokliai, dar kitaip vadinami greitinais arba tachometrniais, pagrįsti debito priklausomybe nuo srauto greičio. Šiai grupei priklauso srauto greičio matavimo matuokliai:

- Magnetinis (indukcinis) (Bevir *et al.* 1981)

Taikant elektromagnetinį srauto matuoklį, jutiklio magnetinės grandinės perdavimo koeficientui įtakos turi trys veiksniai: magnetolaidžio magnetinių savybių blogėjimas, magnetinės nuosėdos jutiklio kanalo vidiniame paviršiuje (Padegimas *et al.* 2002) ir magnetinės priemaišos skystyje (Virbalis *et al.* 1999). Tyrimai yra brangūs, labai tikslūs ir be slėgio nuostolių, bet su laiku užsiteršia elektrodai;

- Ultragarsinis (laiko vėlavimo principas) (Lynnworth 1979; Butkus *et al.* 1998; Isidoro 2006)

Matuoja tiek dujų, tiek skysčių greičius. Matavimo rezultatai yra tikslūs. Diapazonas siauras. Sudėtinga schema, brangūs;

- Doplerinis-ultragarsinis (Bertašienė *et al.* 2006)

Matuoja tiek dujų, tiek skysčių greičius ir abiem kryptimis. Sudėtinga matuoklio schema, brangūs. Gali atlikti šiuos matavimus: greičio, Doplerio energijos, greičio priklausomybės nuo Doplerio energijos, atspindžio modulio, greičio priklausomybės nuo atspindžio modulio, greičio su realaus laiko histogramomis, Doplerio energijos su realaus laiko histogramomis, atspindžio su realaus laiko histogramomis bei galios spektro (Durst *et al.* 1981);

- Fazinis ultragarsinis

Matuoja tiek dujų, tiek skysčių greičius. Jie yra tikslūs, brangūs, su siauromis matavimo ribomis;

- Doplerinis-lazerinis

Ši technologija pasiekia $\pm 0,01$ % matavimų tikslumą ir yra pati pažangiausia nekontaktinė matavimo technologija (Bertašienė *et al.* 2006). Matuoja tiek dujų, tiek skysčių srautų greičius. Dėl brangumo naudojami retai (Lazerinis... 2008);

– Turbininiai

Skirti kurui, skystoms dujoms, mažo klampumo tepalams ir medicininiam skysčiams. Matuoja aukštoje temperatūroje, netikslūs, inertiški, prieš matuoklį reikia papildomai statyti filtrą teršalams (tinklėli);

– Rutuliniai

Matuoja įvairiose terpėse, skysčiai turi būti neklampūs, yra netikslūs, inertiški, prieš matuoklį reikia papildomai statyti filtrą;

– Sūkuriniai

Matuoja įvairiose terpėse, aukštoje temperatūroje, yra lėti, tikslūs: skysčiuose – 0,75 %, dujose – 1,5 %;

– Dinaminės (traukos) jėgos (Edwards 2006)

Populiarūs pramonėje. Tinka matuoti skysčiams, dujoms, netikslūs;

– Kintamojo slėgio skirtumo (Edwards 2006)

Tinka dujų, skysčių srautų greičiams matuoti. Platus varijavimo diapazonas. Dujas matuoja netiksliai, matavimo tikslumui padidinti naudojamos pataisos. Matavimo instrumente sukeliama slėgio nuostoliai (Kintamo slėgio matuokliai, *Enciklopedija* 2008);

– Pito vamzdelis (Daugėla *et al.* 2002)

Matuojami skysčių, dujų srautų greičiai. Plačiai naudojamas aviacijoje, kadangi tinka matuoti dideliems greičiams (viršgarsiniams). Matavimas nėra tikslus;

– Propeleriniai

Matuoja skysčių, dujų srautų greičius. Lėto veikimo, apytikris 3 % tikslumas, paprasti, mobilūs. Populiarūs paraspinių sporte (Propelerinis vėjo greičio matuoklis 2006);

Dinaminių matuoklių grupė pagrįsta pagrindiniais ir dažniausiai naudojamais matavimo metodais. Kiekvienam matavimo atvejui galima rasti tinkamą matuoklį: nuo mažiausio srauto aptikimo iki viršgarsinio.

Pastovaus slėgio kritimo matuokliai

Pastovaus slėgio kritimo matuoklis pagrįstas slėgio kritimu srauto susiaurėjimo vietoje. Populiariausias pastovaus slėgio kritimo prietaisas – rotametas (Redfern 2004; Parmer 2007).

Pastovaus slėgio kritimo matuokliai matuoja skysčių greičius. Naudojami vertikaliajam matavimui. Populiarūs, netikslūs. Keičiant plūdę, keičiamos matavimo ribos.

Tūriniai matuokliai

Tūriniai matavimo prietaisai, kuriuose matuojama terpė, suskaidoma tam tikro tūrio porcijomis ir skaičiuojamas prabėgusių porcijų skaičius per laiko vienetą. Jie skirstomi į tris grupes (Martinez 2006):

– be judančiojo skiriamąjo elemento;

– su tampriomis kamerų sienelėmis;

– su standžiuoju judriu skiriamuoju elementu.

Plačiausiai paplitę paskutiniosios grupės matuokliai, jie dar skirstomi į:

– stūmoklinius;

– rotorinius;

– krumpliaratinius su ovaliniais krumpliaraciais;

– žiedinius;

– diskinius.

Tūriniai matuokliai matuoja skysčius. Jų panaudojimas yra specifinis. Nėra tikslūs, vangūs gūsiams. Matuojamoje sistemoje sukelia slėgio nuostolių.

Tiesioginės masės matuokliai

Tiesioginės masės matavimo prietaisai matuoja ne tūrio, bet masės judėjimą. Šiai grupei priklauso:

– Šiluminis srauto matuoklis (Martinez 2006)

Matuoja skysčių, dujų greičius, naudojamas nedideliams greičiams nustatyti, nėra tikslus, skirtas neagresyvioms aplinkoms, mažo tikslumo;

– Karšto laido matuoklis (Martinez 2006)

Naudojamas dujų matavimams, ypač plačiai naudojamas automobilių oro srautui skaičiuoti, labai trapus kaitinimo laidas, nėra tikslus, greitai reaguoja į greičio pakitimus;

– Koriolio

Naudojamas visų rūšių skysčiams ir didelio tankio dujų srauto greičiams matuoti. Tikslumas priklauso nuo užterštumo. Apytikris tikslumas – 0,1 %, sunku perduoti judesį, todėl tenka naudoti nepatikimus plastmasinius lankstus. Atsparus agresyvioms aplinkoms, brangus, didelių gabaritų;

– Inerciniai

Naudojami skysčių greičiams matuoti. Sudėtinga konstrukcija, nėra labai paplitę. Naudojami specifiniams matavimams atlikti;

Tiesioginės masės matavimo būdai yra pritaikomi siaurose srityse. Vienas tiksliausių ir populiariausių metodų – Koriolio.

Kiti matuokliai

Yra matuoklių, kurie nepatenka į šį klasifikatorių. Tai vizualus būdas pagal Boforto skalę, čia įmanoma matuoti oro

srautą pasitelkiant GPS. Taip pat visiškai naujas metodas pagal jonų judėjimą sraute ir kt.

Šie būdai nėra labai tikslūs, nėra populiarūs ir nėra stipriai išplėtoti, jie naudojami siaurose srityse.

Kiekvieno srauto greičio radimo metodo trūkumai ir privalumai pateikti lentelėje.

Lentelė. Matuoklių palyginamoji lentelė

Matuokliai	Panaudojimas	Privalumai	Trūkumai
Magnetinio (indukcinio) srauto	Matuoja dujose, skysčiuose	Labai tikslus, nėra slėgio sumažėjimo	Dėl susidariusių nuosėdų pasikeičia matuoklio tikslumas. Brangus. Užsiteršia elektrodai
Ultragarsinis srauto greičio matavimas	Matuoja dujose, ore, skysčiuose	Tikslus, greitai reaguoja į pasikeitimus	Siauras matavimo mechanizmas, sudėtinga schema
Doplerinis-ultragarsinis	Matuoja dujose, ore, skysčiuose	Tikslus, greitai reaguoja į pasikeitimus, matuoja tiek teigiamą, tiek neigiamą greičio lygį	Maksimali matuojama vertė apie 20 m/s
Fazinis-ultragarsinis	Matuoja dujose, ore, skysčiuose	Greitai reaguoja į srauto pokyčius	Netikslus
Doplerinis-lazerinis	Matuoja dujose, ore, skysčiuose	Vienas tiksliausių matuoklių, $\pm 0,01$ % matavimų tikslumas, jis nepriklauso nuo paviršiaus spalvos, atspindžio, bekontakts	Labai brangus
Turbininis	Matuoja įvairiose dujose, skysčiuose. Skysčių klampa turi būti nedidelė, neužteršta	Gali matuoti aukštesnėje kaip 100 °C temperatūroje, populiarus	Netikslus, į srauto pokyčius reaguoja vangiai, reikia statyti papildomai filtrą nuo užteršimo
Rutulinis	Matuoja įvairiose dujose, skysčiuose. Skysčių klampa turi būti nedidelė, neužteršta	Gali matuoti aukštesnėje kaip 100 °C temperatūroje, populiarus	Netikslus, į srauto pokyčius reaguoja vangiai, reikia statyti papildomai filtrą nuo užteršimo
Sūkurinis	Matuoja garuose, skysčiuose, dujose	Populiarus. Vidutinio tikslumo, 0,75 % – skysčiuose, 1,5 % – dujose	Vangus
Dinaminės jėgos	Matuoja dujose, skysčiuose	Populiarus	Netikslus
Kintamojo slėgio skirtumo	Matuoja skysčiuose, dujose, garuose	Plačiausiai vartojamas prietaisas	Dujas matuoja netiksliai, susidaro slėgio nuostolių, tikslumui reikia įvedinėti papildomas pataisas
Pito vamzdelis	Matuoja ore, dujose, skysčiuose	Matuoja didelius greičius, naudojamas lėktuvų greičiui matuoti	Nėra tikslus
Propelerinis	Matuoja dujose, skysčiuose, ore	Paprastas, mobilus	Vangiai matuoja gūsius, 3 % tikslumas
Pastovaus slėgio kritimo	Matuoja skysčiuose	Vertikaliajam matavimui, paprastas	Netikslus
Tūrinis	Matuoja skysčiuose	Platus prietaiso panaudojimas	Netikslus
Šiluminis srauto	Matuoja skysčiuose, dujose, ore	Paprastas	Netikslus
Karšto laido	Matuoja skysčiuose, dujose, ore, plačiai naudojamas automobilių oro srauto skaičiavimui į degimo kamerą	Tikslus	Trapus matuoklio kaitinimo siūlelis
Koriolio srauto	Matuoja skysčiuose	Tikslus 0,1 %	Problemos su judesio perdavimu
Inercinis	Matuoja skysčiuose		Sudėtingos konstrukcijos, nepaplėtos
Boforto skalė	Matuoja ore	Nereikia jokių prietaisų	Netiksli
Jonų matuoklis		Tiksliausias	Labai brangus
Projektuojamasis srauto greičio matuoklis	Matuoja dujose	Tikslus, neįnertiškas, labai platus matavimo greičio matavimo intervalas, nustatoma srauto kryptis	Jautrus aplinkos poveikiui, sudėtingi skaičiavimai

Projektuojamas srauto greičio nustatymo matuoklis

Projektuojamo matuoklio veikimas pagrįstas tuo, kad ultragarso (kaip ir garso) bangos yra veikiamos oro srauto ir keičia savo kryptį priklausomai nuo oro srauto stiprumo (1 pav.)

Iš siųstuvo u greičiu siunčiamas impulsinis signalas į ultragarsinių imtuvų matricą. Patekęs į vamzdį oro srautas (judantis greičiu v) veikia signalą, pakreipdamas jį kampų α (Jozonis *et al.* 2009).

Signalas, patekęs į imtuvų matricą, kiekviename iš jų sukuria skirtingą įtampą; įtampų dydžiai priklauso nuo ultragarsinio siųstuvo kryptinės diagramos ir oro srauto greičio v (2 pav.).

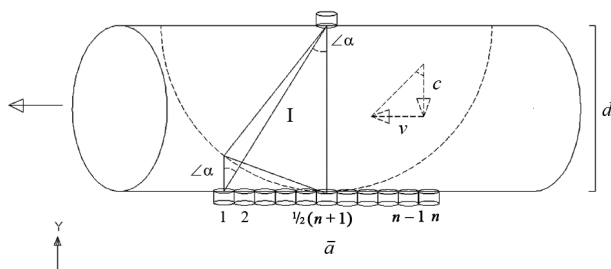
Įtampų amplitudės gautos ultragarsiniuose imtuvuose, kai oro srauto nėra (3 pav.).

Kai oro srauto greitis didelis, garso greičio ribose daviklių įtampos pasiskirsto taip (4 pav.):

Sudarytas maketo modelis (5 pav.) leidžia matyti, kad matuoklio veikimo tikslumui didelę įtaką turi temperatūra, aplinkos drėgnumas ir daviklio parametrai. Davikliai turi būti pritaikyti oro sąlygoms, todėl turi būti hermetiški ir uždari – taip suprastėja jų jautrumas ir ultragarso slėgio lygis (Franzoni 2007).

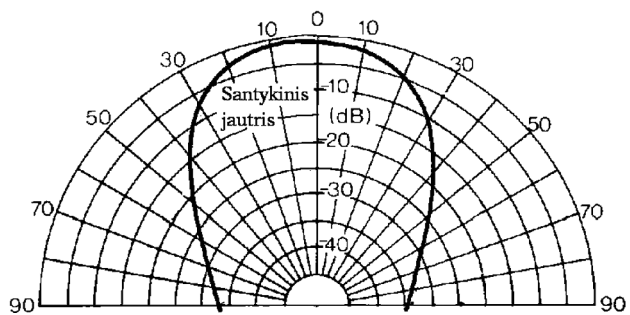
Projektuojamas matuoklis niekur nėra nagrinėtas. Matuoklio privalumai yra tokie: sistema neinertinė (Kim 1988), greitai reaguoja į srauto pokyčius, plačios matavimo ribos – nuo nedidelio greičio srautų (0,1 m/s) iki viršgarsinio greičio; 5 pav. matyti, kad matuoklio skaičiavimo algoritmas yra sudėtingas ir jį stipriai veikia aplinkos veiksniai (Butkus *et al.* 1999).

Siekiant panaudoti visas ultragarsinės srautų greičio matavimo sistemos galimybes, būtina visame matuojamųjų greičių diapazone iširti srautų greičio profilius ir įvertinti juos ultragarsiniu metodu matuojant dujų srautų greitį (Svilainis, Puodžiūnas 1998).



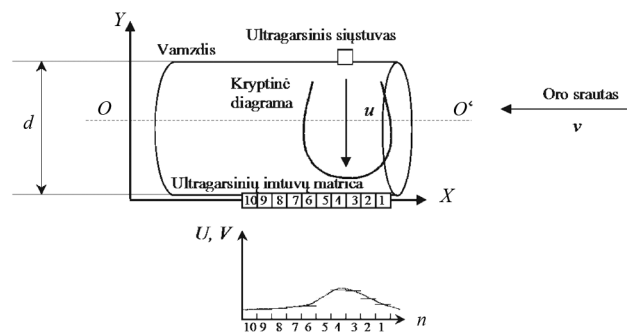
1 pav. Ultragarsinio matuoklio maketas su viršuje esančiu siųstuvu, o apačioje išdėstyta ultragarsinių imtuvų matrica

Fig. 1. Ultrasonic meter model, in top ultrasonic sender, in bottom ultrasonic receiver matrix



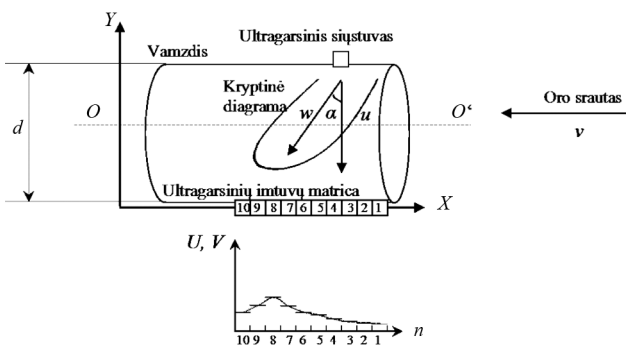
2 pav. Ultragarsinio siųstuvo (imtuvo) MA8E-R/S kryptinė diagrama

Fig. 2. Ultrasonic sensor MA8E-R/S directional characteristic diagram



3 pav. Vamzdžio maketas, kai oro srauto nėra; įtampos diagrama

Fig. 3. Meter model, when no is flow, and voltage diagram in ultrasonic receiver

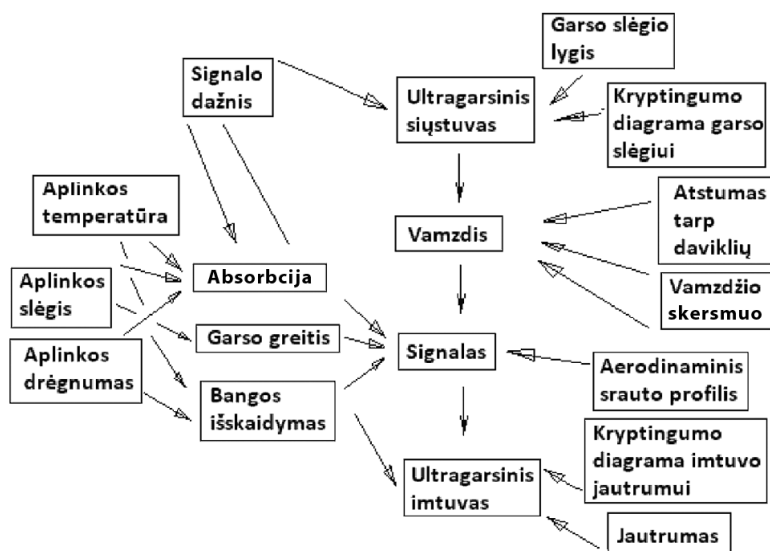


4 pav. Vamzdžio maketas, kai oro srauto greitis yra netoli garso greičio vertės; daviklių amplitudinių įtampų diagrama

Fig. 4. Meter model when air flow is near to sound speed, and voltage diagram in ultrasonic receiver

Išvados

Srauto greičio matavimo priemonių yra ypač daug. Pagal matuojamąjį dydį ir panaudojamą fizikinę reiškinį jas galima suskirstyti į penkias dideles grupes:



5 pav. Ultragarinio maketo modelis

Fig. 5. Ultrasonic meter flowchart

- 1) dinaminiai matavimo prietaisai, pagrįsti debito priklausomybe nuo srauto greičio. Jiems priklauso turbuliniai, elektromagnetiniai, sukuriniai, traukos jėgos, ultragarsiniai, optiniai ir kitokie matuokliai. Šiai grupei priklauso pagrindiniai ir dažniausiai naudojami matuokliai. Kiekvienam matavimo atvejui galima rasti tinkamą matuoklį nuo mažiausio srauto aptikimo iki viršgarsinio;
- 2) pastovaus slėgio kritimo prietaisai, kuriuose susiaurėjimo skerspjūvio plotas kinta (rotametrai). Matuoja skysčių greičius. Naudojami vertikaliajam matavimui. Populiarūs, netikslūs. Keičiant plūdę, keičiamos matavimo ribos;
- 3) tūriniai matavimo prietaisai, kuriuose matuojama terpė suskaidoma tam tikro tūrio porcijomis ir skaičiuojamas prabėgusių porcijų skaičius per laiko vienetą (ovalinių krumpliaračių, krypuojančio disko, stūmokliniai ir kitokie matuokliai). Naudojami skysčiams matuoti. Jų panaudojimas yra specifinis. Nėra tikslūs, vangūs gūsiams. Matuojamoje sistemoje sukelia slėgio nuostolių;
- 4) tiesioginės masės (masės tipo) matavimo prietaisai, kurie matuoja ne tūrio, bet masės judėjimą (turbojėginiai, Koriolio, šiluminiai);
- 5) kiti, nepatenkantys į anksčiau išvardytas grupes, dažniausiai nepopuliarūs, netikslūs arba dar kuriami būdai;
- 6) šiame darbe siūlomas ultragarsinis srauto greičio matuoklis priklauso dinaminių matuoklių grupei, nes srauto greitis priklauso nuo pratekėjusio srauto kiekio (debito). Jis matuoja plačiuose greičių diapazonuose ir gali būti alternatyva Pito metodui.

Literatūra

- Bevir, M. K.; O'Sullivan, V. T.; Wyatt, D. G. 1981. Computation of electromagnetic flowmeter characteristics from magnetic field data, *Journal of Physics, D: Applied Physics* (14): 373–388. doi:10.1088/0022-3727/14/3/007
- Virbalis, J. A.; Žebrauskas, S. 1999. Elektromagnetinių debitačių su įvairiomis magnetinėmis grandinėmis jautrumas skysčio greičio profiliui, *Elektronika ir elektrotechnika* 4(22): 62–65.
- Padegimas, R.; Virbalis, J. A. 2002. Nuosėdų įtaka elektromagnetinio skysčio srauto matuoklio signalui, *Elektronika ir elektrotechnika* 5(40): 59–64.
- Lynnvorh, T. C. 1979. Ultrasonic flowmeters, *Physical Acoustics*: 407–519.
- Butkus, J.; Jakevičius, L.; Tumšys, O. 1998. Srauto greičio matavimas panaudojant impulsinius akustinius signalus, *Ultragarsas* 2(30): 25–29.
- Butkus, J.; Jakevičius, L.; Tumšys, O. 1999. Adaptyvios ultragarsinės sistemos dujų srauto greičiui matuoti kūrimas, *Ultragarsas* 2(32).
- Bertašienė, A.; Daugelė, V.; Janušas, V. 2006. Investigation of practical application of laser Doppler anemometre, *Matavimai* 2(38): 5–10.
- Durst, F.; Melling, A.; Whitelaw, J. 1981. Principles and practices of laser-Doppler anemometry, *Academic Press*.
- Kim, K. J.; Durbin, P. A. 1988. Strouhalo skaičius, *Enciklopedija* [interaktyvus], [žiūrėta 2010-10-21]. Prieiga per internetą: <http://en.wikipedia.org/wiki/Strouhal_number>.
- Franzoni, C. 2007. *Ultragarsinių greičio matuoklių davikliai* [interaktyvus], [žiūrėta 2010-10-01]. Prieiga per internetą: <http://www.signal-processing.com/transducers/transducers.htm>.
- Lazerinis doplerio matuoklis, *Scantron*. 2008 [interaktyvus], [žiūrėta 2010-09-28]. Prieiga per internetą: <http://www.scantron-net.co.uk/laserdoppler.htm>.

- Edwards, K. 2006. *LMNO inžinierių sąjungos puslapis apie srauto matavimus* [interaktyvus], [žiūrėta 2008-09-22]. Prieiga per internetą: <<http://www.lmnoeng.com/Force/DragForce.htm>>.
- Daugėla, A.; Ilgarubis, V.; Janušas, V. 2002. National standard of air velocity. Methods of realisation, *Matavimai* 3(23): 13–17. ISSN1392-1223.
- Propelerinis vėjo greičio matuoklis*. 2006 [interaktyvus], [žiūrėta 2007-07-03]. Prieiga per internetą: <<http://www.cetsolar.com/kestrel1000.htm>>.
- Redfern, A. 2004. Rotametas, *Enciklopedija* [interaktyvus], [žiūrėta 2008-10-02]. Prieiga per internetą: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Rotameter>>.
- Parmer, C. 2007. *Rotametai* [interaktyvus], [žiūrėta 2008-10-02]. Prieiga per internetą: <http://www.coleparmer.com/techinfo/techinfo.asp?htmlfile=V_AFLowRotometers.htm&ID=813>.
- Kintamo slėgio matuokliai, *Enciklopedija*. 2008 [interaktyvus], [žiūrėta 2008-10-12]. Prieiga per internetą: <http://en.wikipedia.org/wiki/Positive_displacement_meter>.
- Martinez, I. 2006. *Srauto matuokliai* [interaktyvus], [žiūrėta 2008-09-20]. Prieiga per internetą: <http://webserver.dmt.upm.es/~isidoro/lab1/Flowmetry/Flowmetry.htm#_Toc127873891>.
- Jozonis, V.; Stankūnas, J. 2009. Garso bangos poslinkio principu paremto ultragarsinio matuoklio analizė, *Mokslas – Lietuvos ateitis* 1(2): 111–114.
- Svilainis, L.; Puodžiūnas, V. 1998. *Ultrasonic System: The Hardware Concept* 1(29). ISSN 1392-2114.

FLOW METERS REVIEW AND ANALYSIS

V. Jozonis, J. Stankūnas, A. Jozonis

Abstract

In the article dealt the speed-flow meters, they are classified according to the working of the principle, discussed the advantages, disadvantages, a comparative review. The examination of all possible flow measurement methods, they can be sort into five major groups.

The aim was to review the different approaches used to measure the voltage amplitude value of a signal and to describe the capabilities of a projected instrument system. The most modern technological processes take measurement of flowing gas flow rate and flow. For this purpose, ultrasound, especially pulsed time are widely stared to apply. The most pulsed temporal method for measuring disadvantage is that a signal amplitude can vary only in strictly defined limits. Othewise, the signals may not be given or taken in wrong moment.

Keywords: speed meters, flow meters, ultrasonic meters, doppler, air speed meters, sound waves displacement-based.