

Technologiniai vyksmai ir matavimai

dr. Gytis Sliaušys

Paskaitos turinys

- Srautų matavimas. Bendrosios žinios
- Srauto matavimas slėgių skirtumo metodu
- Greičio ir ploto metodai
- Pito vamzdelis greičiui matuoti
- Elektromagnetiniai srauto matavimo metodai
- Svėrimo ir tūriniai matavimo metodai
- Nestabilumu pagrįsti srauto matavimo metodai
- Ultragarsiniai [akustiniai] srauto matavimo metodai
- Vandens skaitikliai
- Dujų skaitikliai

Srautų matavimas. Bendrosios žinios

- **Srautas** - Kanalo skerspjūviu tekančio skysčio arba dujų kiekio ir laiko, per kurį teka šis kiekis, dalmuo.
- **Māsės sraūtas** q_m - Srautas, kurio skysčio arba dujų kiekis yra išreikštas masės vienetais.
- **Tūrio sraūtas** q_v - Srautas, kurio skysčio arba dujų kiekis yra išreikštas tūrio vienetais.
- **Vidutinis srautas** - Srauto per tam tikrą laiko tarpą vidutinė vertė.
- **Vardinis sraūtas** - Srauto vertė, kuri yra apibrėžiama kaip pusė didžiausiojo srauto vertės. Esant vardiniam srautui, įtaisas turi veikti normaliomis darbo sąlygomis, t.y. nenutrūkstamai ar su pertrūkiais, neviršydamas didžiausios leidžiamosios paklaidos.

PASTABA – Vandens skaitikliuose vardinis srautas vadinamas ilgalaikiu srautu.

Srautų matavimas. Bendrosios žinios

- **Mažiausiasis sraūtas** - Srauto vertė, priskiriama žemutinei srauto matavimo srities ribai.
- **Sraūto matavimo sritis** - Sritis, apribota didžiausiojo ir mažiausiojo srauto vertėmis, kurioje įtaiso rodmenų paklaida neviršija didžiausios leidžiamosios paklaidos.
- **Srautmatis** - Skysčio tekėjimą matuojantis įtaisas, rodantis išmatuotą srautą.
- **Debitas (nuotekis)** - Per vienetinį laiko tarpą šaltinio (pvz., ežero) ar gręžinio skysčio arba dujų kiekis, tekantis tėkmės skerspjūviu.
- **Debitmatis** - Debito matuoklis.

Skirkime srautą ir debitą

- **Srautas** (angl., flux, flow-rate) – 1. Dydžio kiekis, per vienetinį laiko tarpą perėjęs per tam tikrą plotą. 2. Kanalo arba vamzdžio skerspjūviu tekančio skysčio arba dujų kiekio ir laiko tarpo, per kurį prateka šis kiekis, dalmuo.
- **Dalelių srautas** (angl., particle flux) – dydis, lygus dalelių, pereinančių per tam tikrą plotą per vienetinį laiko tarpą, skaičiui. Fotonų srautas – dydis, lygus fotonų skaičiui, per vienetinį laiko tarpą kertančiam tam tikrą paviršių. Jonizuojančiųjų dalelių srautas – dydis, lygus jonizuojančiųjų dalelių, pereinančių per tam tikrą plotą per vienetinį laiko tarpą, skaičiui. Šių ir panašių dydžių matavimo vienetas: $1/s$ (vienetas sekunde) arba s^{-1} (atvirkštinė sekundė).

Skirkime srautą ir debitą

- **Energijos srautas** (angl., energy flux) – elektromagnetinės, šiluminės ar kitokios energijos kiekis, per vienetinį laiko tarpą pernešamas per tam tikrą paviršių. *Spinduliuotės energijos srautas* – per vienetinį laiko tarpą per tam tikrą plotą pereinanti spinduliuotės energija. *Spinduliuotės srautas* – 1. Energijos kiekis, kurį elektromagnetinė banga perneša per vienetinį laiko tarpą per tam tikrą paviršių. 2. Išskiriamos, perduodamos arba gaunamos spinduliuotės galia. 3. Išspinduliuotų, perduodamų arba priimamų elektromagnetinių bangų galia. *Jonizuojančiosios spinduliuotės srautas* – dydis, lygus jonizuojančiosios spinduliuotės energijai, per vienetinį laiko tarpą pereinančiai per tam tikrą plotą. Šių ir panašių dydžių matavimo vienetas: J/s (džaulis sekunde) arba W (vatas).

Skirkime srautą ir debitą

- **Masės srautas** q_m (angl. mass flow-rate) – srautas, kai skysčio arba dujų kiekis yra išreikštas masės vienetais. Drėgmės masės srautas – į tam tikrą sistemą patenkančios arba ją paliekančios drėgmės masė, padalyta iš atitinkamo laiko tarpo. Šio ir panašių dydžių matavimo vienetas: kg/s (kilogramas sekundei).
- **Duomenų srautas** (angl. data flow-rate; pranc. débit de données) – duomenų kiekis, perduotas per vienetinį laiko tarpą. Matavimo vienetas: 1/s (vienetas sekundei). Tai kompiuterijos parametras, kuris apibūdina informacijos kiekio perdavimą bitais ar baitais per sekundę.

Skirkime srautą ir debitą

- **Tūrio srautas** q_V (angl. volume flow-rate) – srautas, kai skysčio arba dujų kiekis yra išreikštas tūrio vienetais. Oro tūrio srautas – į tam tikrą sistemą patenkančio arba ją paliekančio oro tūris, padalytas iš atitinkamo laiko tarpo. Šio ir panašių dydžių matavimo vienetas: m^3/s (kubinis metras sekundei). Taigi vandens ar dujų skaitiklis rodo per jį tekėjusio vandens ar dujų kiekį (matavimo vienetas: m^3). Jei matuojamas tūrio srautas (m^3/s), tai matuoklis vadinamas tūrio srautmačiu, o jei matuojamas masės srautas (kg/s), tai – masės srautmačiu.

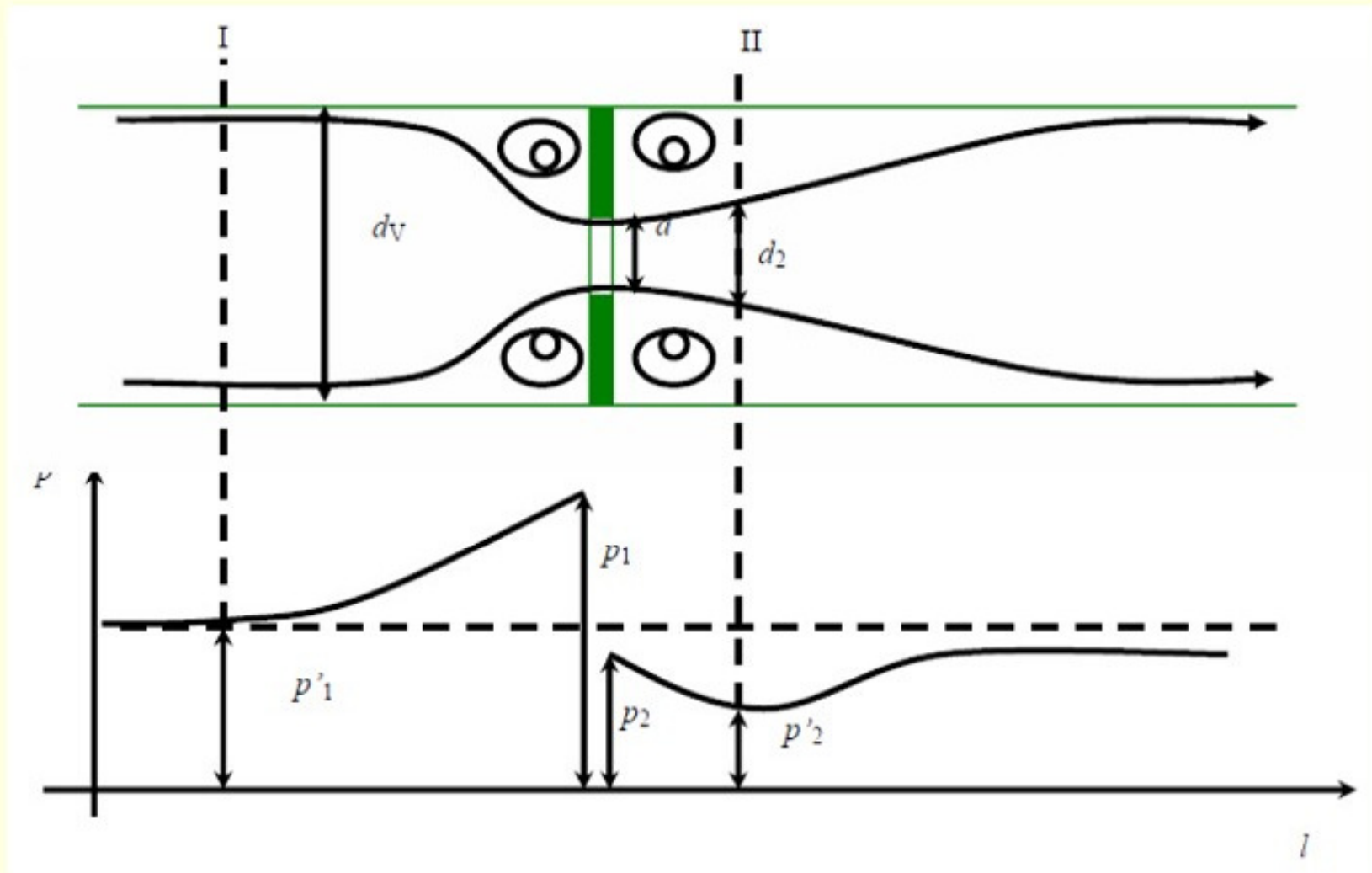
Skirkime srautą ir debitą

- **Debitas** (pranc. débit) – skysčio (pvz., vandens, naftos) arba dujų kiekis, per vienetinį laiko tarpą tiekiamas vartotojui, pvz., gręžinio dujų arba vandens debitas ir pan. Todėl kalbant apie debitą, galima suvokti, kad kalbama apie iš ko nors ištekantį ar (ir) kam nors suvartojamą skystį ar dujas, o debitmatistą suvartojimą ar ištekėjimą išmatuoja.
- **Debitas** matuojamas debitmačiu (pranc. débitmètre, angl. flowmeter). Matavimo vienetas: m^3/s (kubinis metras sekundei).

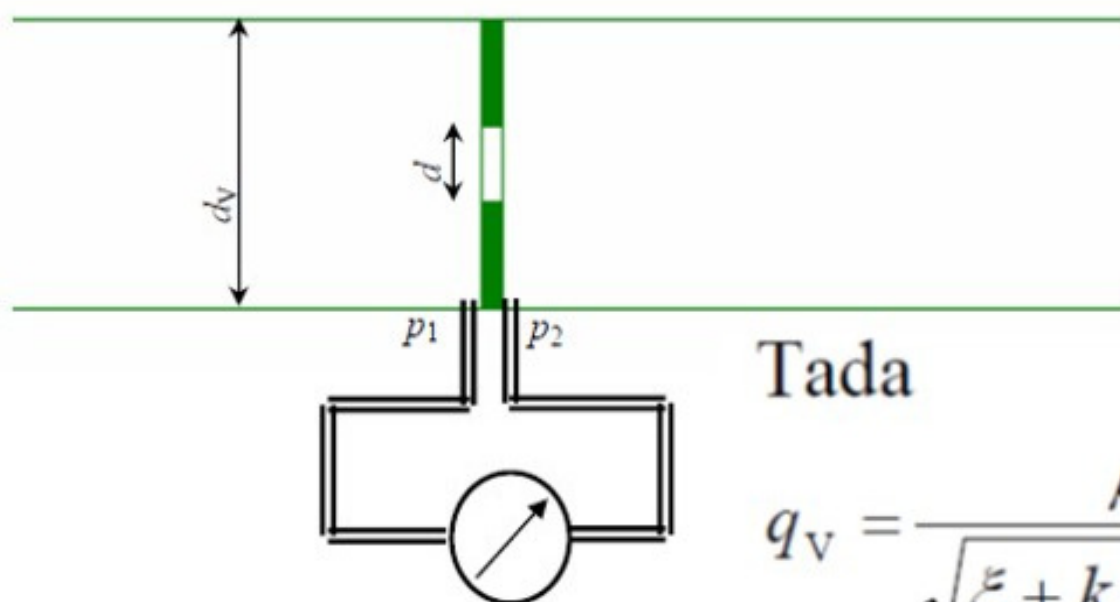
Skirkime srautą ir debitą

- Taigi **srautas** apibūdina pereinantį, pernešamą, tekėjusį, perduotą ir pan. dalelių, energijos, duomenų, medžiagos masės ir tūrio kiekį per vienetinį laiko tarpą (tas kiekis matuojamas srautmačiu), o **debitas** apibūdina duodamą, tiekiamą ar (ir) suvartojamą skysčių ar dujų kiekį per vienetinį laiko tarpą (tas kiekis matuojamas debitmačiu).

Srauto matavimas slėgių skirtumo metodu



Srauto matavimas slėgių skirtumo metodu



Tada

$$q_v = \frac{\mu \sqrt{\Psi}}{\sqrt{\xi + k_2 - k_1 m^2 \mu^2}} S_0 \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_1 - p_2)}.$$

Pav. Skirtuminio manometro prijungimo schema matuojant srautą slėgio skirtumo metodu.

Srauto matavimas slėgių skirtumo metodu

- Taigi Tūrio srautas q_V :

$$q_V = \alpha S_0 \sqrt{\frac{2}{\rho}(p_1 - p_2)} \text{ [m}^3\text{/s]}.$$

- Māsės sraūtas q_m :

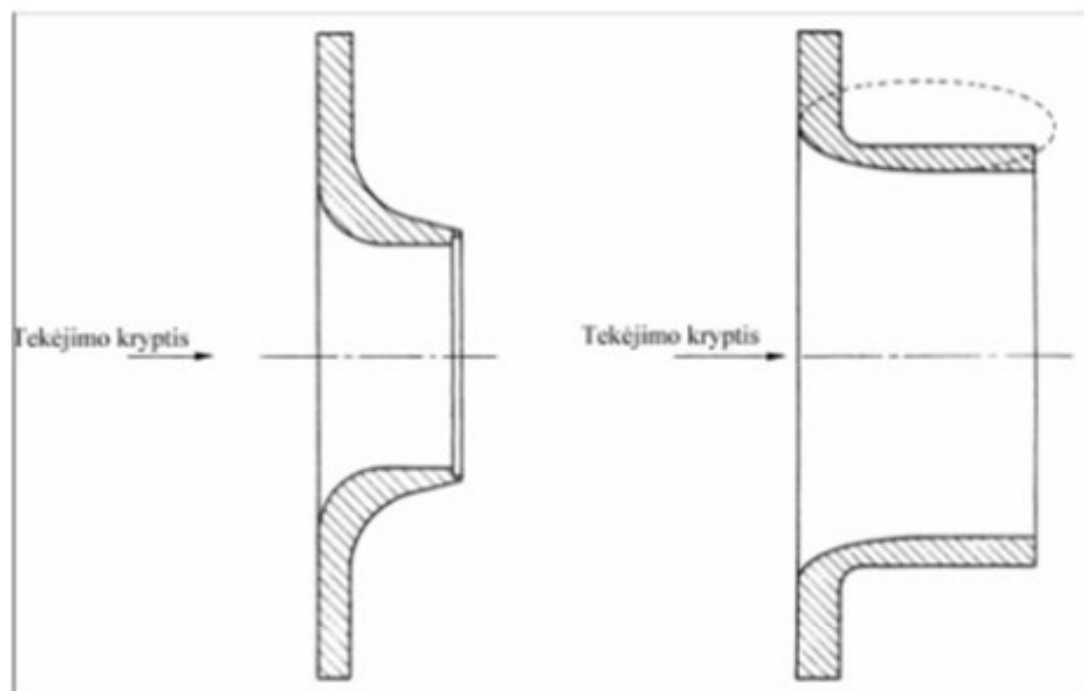
$$q_m = \alpha S_0 \sqrt{2\rho(p_1 - p_2)} \text{ [kg/s]}.$$

- Tūrio srautas ir masės srautas susiję lygtimi

$$q_m = \rho q_V.$$

- čia ρ – medžiagos tankis

Tūtos



5 pav. Tūtos: a) ISA 1932 tūta;

b) ilgo spindulio tūta

Tūtos

- **Tūtà**

- Siaurėjantis, koncentriškas kanalo ašiai įtaisas, kurio profilis yra kreivinis, tolydusis ir koncentriškai pagal liestinę sujungtas su koncentriškomis cilindrinėmis žiotimis.

- **ISA 1932 tūtà**

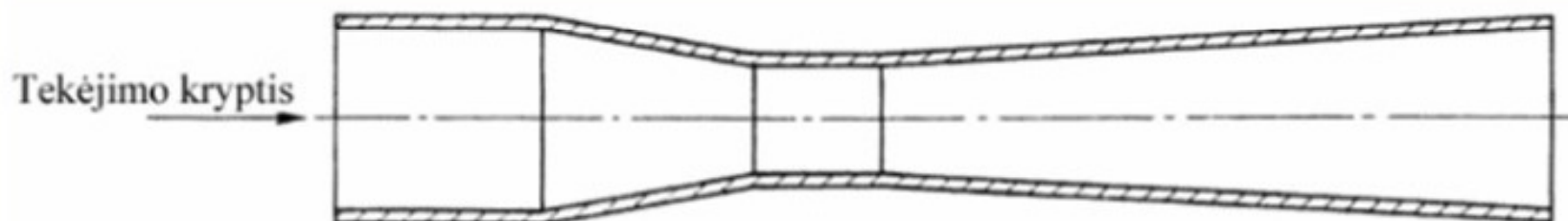
- Tūta, turinti plokščią, statmeną jos ašiai priekinį paviršių, siaurėjančią konfuzorinę sekciją, kurios profilis yra apibrėžtas dviem apskritimo lankais, žiotis ir įpjovą (žr. 5 pav., a).
- PASTABA - ISA 1932 tūtos visada turi kampines slėgio atšakas.

- **Ilgaspindulė tūtà**

- Tūta, turinti plokščią, statmeną jos ašiai priekinį paviršių, konfuzorinę sekciją, kurios profilis yra elipsės ketvirtis, cilindrinės žiotis ir gali turėti įpjovą arba nuožulnią (žr. 5 pav., b).

Venturi vamzdis

- **Venturi vamzdis**
- Ītaisas, susidedantis iš:
 - konfuzoriaus (siaurėjanti sekcija);
 - žiočių (cilindrinė dalis);
 - difuzoriaus (platėjanti sekcija), kuris paprastai būna nupjauto kūgio formos.

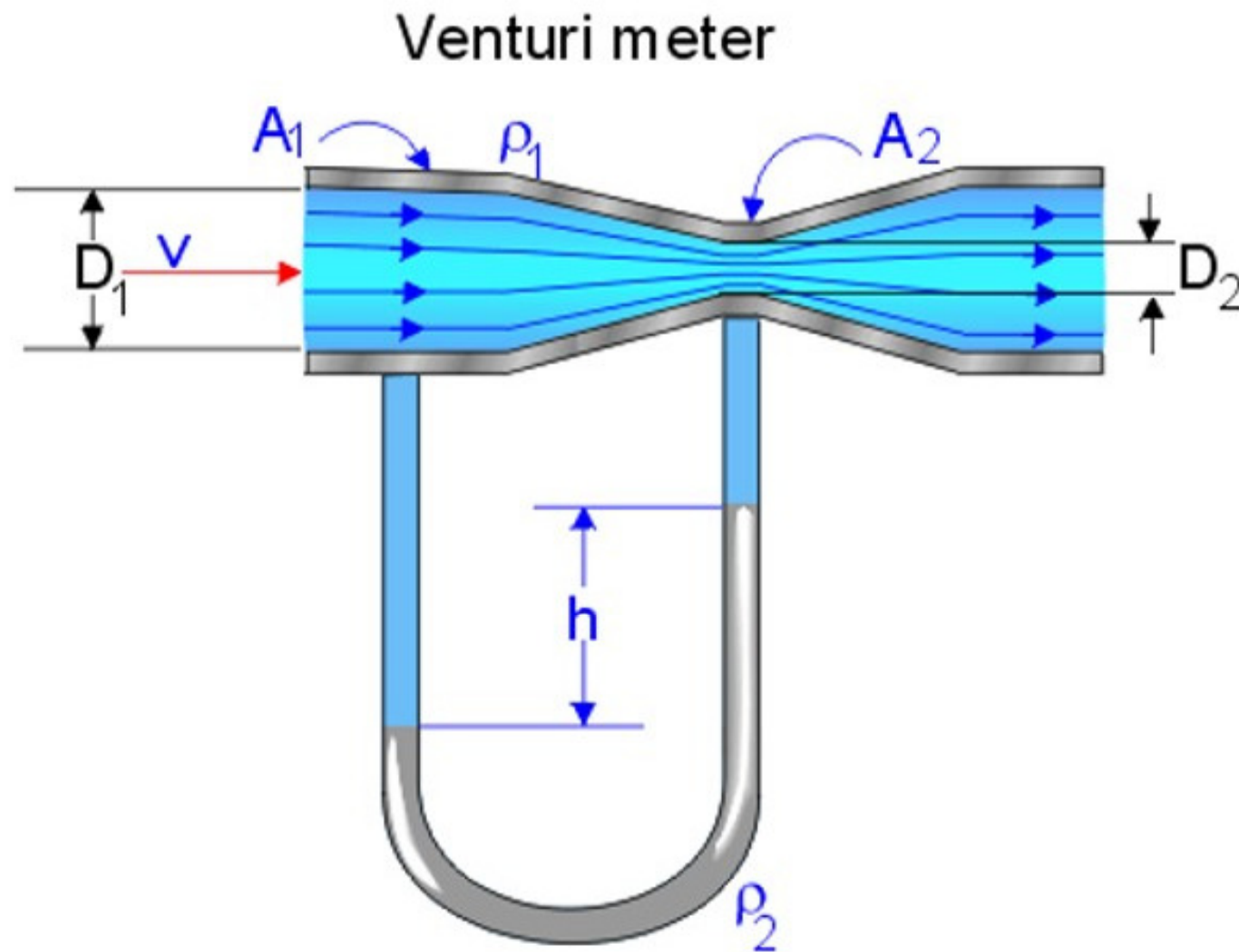


Klasikinis Venturi vamzdis

- Venturi vamzdis, turintis kūginį konfuzorių ir prieš jį – cilindrinę sekciją. Slėgio atšakos yra išdėstytos įtekėjimo į cilindrą zonoje ir žiotyse



Venturi matuoklis



Greičio ir ploto metodas

- Greičio ir ploto metodai yra tokie metodai, kurie leidžia rasti srauto vertę iš vietinių kanalo skerspjūvių skysčio arba dujų greičio matavimų, suintegravus skerspjūvio greičių pasiskirstymą.

Greičio ir ploto metodas

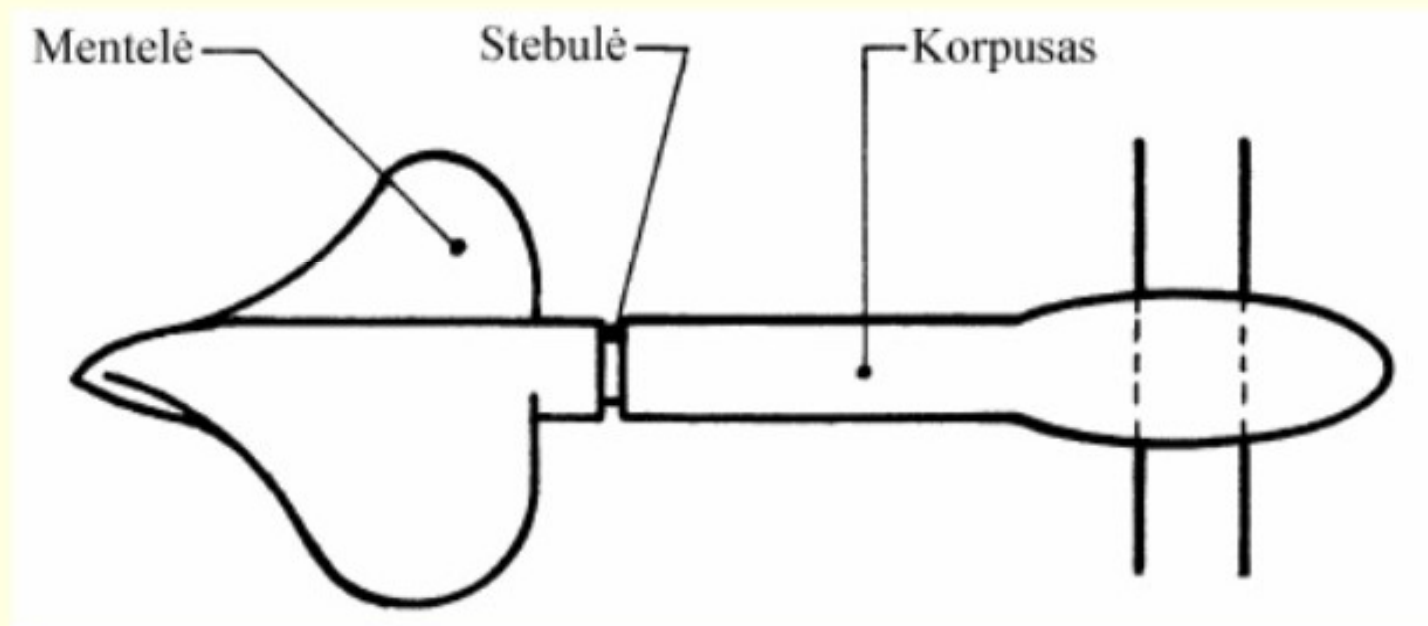
- **(hidromètrinis) malūnėlis**
- Įtaisas su rotoriumi, kurio matmenys yra maži, palyginus su kanalo matmenimis, ir kurio sukimosi dažnis yra skysčio arba dujų, kuriuose jis yra panardintas, vietinio greičio funkcija.
- **sraigtinis malūnėlis**
- Srovės matuoklis, kurio rotorius yra sraigtas, besisukantis apie ašį, kuri yra apytiksliai lygiagreči tekmei.

Greičio ir ploto metodas

- **(hidromètrinis) malūnėlis**
- Įtaisas su rotoriumi, kurio matmenys yra maži, palyginus su kanalo matmenimis, ir kurio sukimosi dažnis yra skysčio arba dujų, kuriuose jis yra panardintas, vietinio greičio funkcija.
- **sraigtinis malūnėlis**
- Srovės matuoklis, kurio rotorius yra sraigtas, besisukantis apie ašį, kuri yra apytiksliai lygiagreti tėkmei.

Sraigtnis malūnēlis

- $V = k \times n$
- V – srovės greitis, m/s; k – malūnėlio daviklio geometrinis žingsnis, m; n – malūnėlio daviklio apsisukimų skaičius per sekundę.

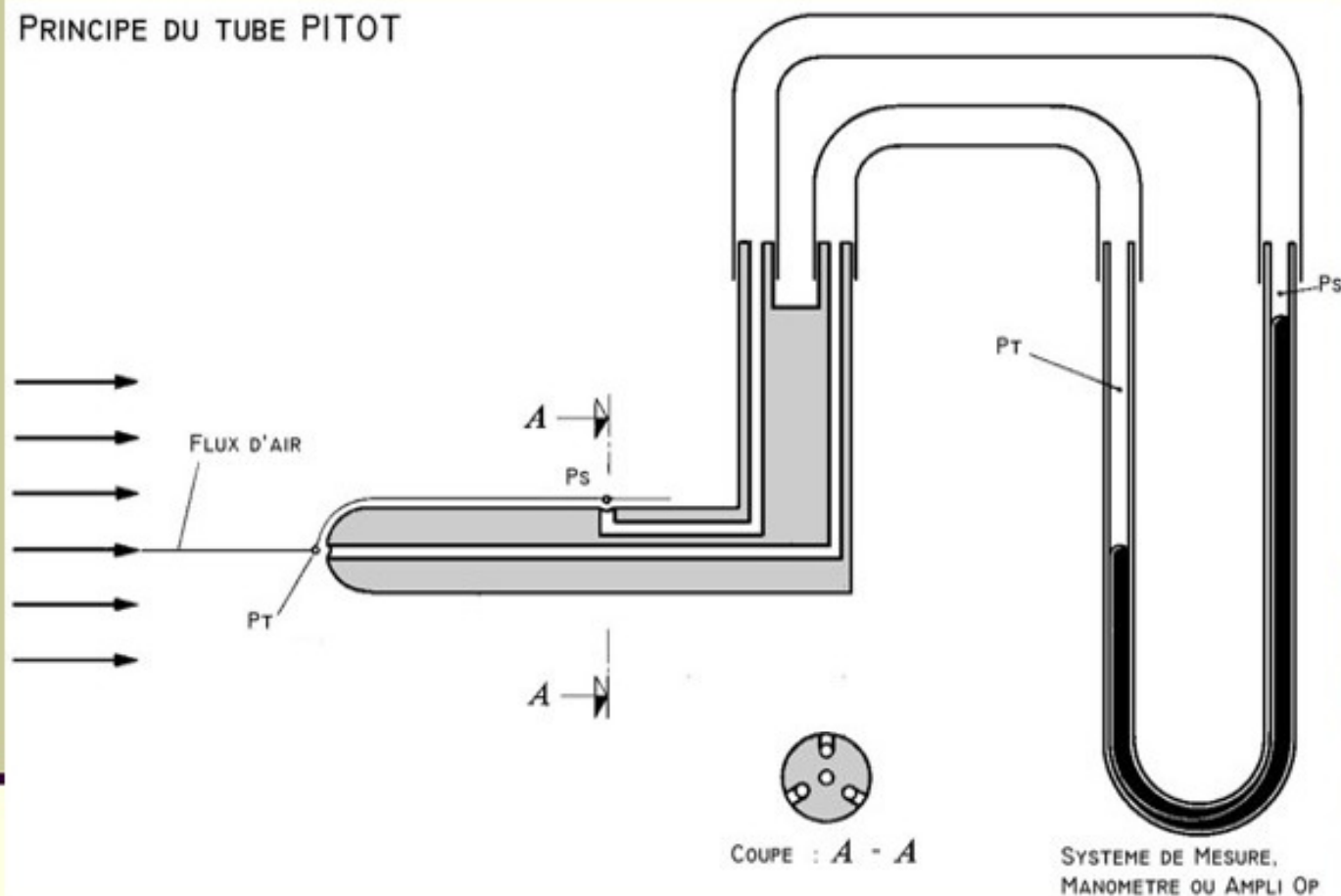


Pito vamzdelis greičiui matuoti

- **Pito vamzdelis** (pavadintas Henri Pitot 1732 m.)
- Vamzdelinis įtaisas, įmerkiamas į skysčio arba dujų tėkmę ir turintis kotui statmeną cilindrinę galvutę. Joje yra viena arba kelios slėgio atšakų skylutės.
- **stātinis Pito vamzdelis**
- Pito vamzdelis, kurio statinio slėgio atšakų skylutės yra tolygiai išgręžtos pagal galvutės perimetrą viename ir daugiau skerspūvių, ir kurio visuminio slėgio atšakos skylutė yra ašiai simetriškos galvutės, nukreiptos prieš srovę, smaigalyje.

Pito vamzdelis greičiui matuoti

PRINCIPE DU TUBE PITOT



SYSTEME DE MESURE,
MANOMETRE OU AMPLI OP



Pito vamzdelis greičiui matuoti

- Bernulio lygtis
- Statinis slėgis + dinaminis slėgis = visas slėgis

$$p_s + \rho \frac{V^2}{2} = p_t$$

- Tada greitis

$$V^2 = \frac{2(p_t - p_s)}{\rho}$$

- Taigi slėgio skirtumas proporcingas greičio kvadratui.

Elektromagnetiniai srauto matavimo metodai

- **Elektromagnetinis srauto matuoklis**
- Srauto matuoklis, sukuriantis statmeną tėkmei magnetinį lauką, įgalindamas rasti srautą pagal elektrovarą (e.v.j.), atsirandančių laidžiajam skysčiui judant magnetiniame lauke. Elektromagnetinis srauto matuoklis turi pirminį įtaisą ir vieną ar kelis antrinius įtaisus.
- **Pirminis (elektromagnetinio srauto matuoklio) įtaisas**
- Įtaisas, susidedantis iš tokių elementų:
 - elektriškai izoliuoto matuoklio vamzdžio, kuriuo prateka laidus matuojamasis skystis;
 - viena ar kelios poros matuoklio elektrodų, dedamų skersai priešingose pusėse, tarp kurių yra matuojamas skystyje sukurtas signalas;
 - elektromagneto magnetiniam laukui matuoklio vamzdyje sukurti.
- Pirminis įtaisas sukuria signalą, proporcingą srautui, ir, tam tikrais atvejais, atskaitos signalą.

Elektromagnetiniai srauto matavimo metodai

- **Antrinis (elektromagnetinio srauto matuoklio) įtaisas**
- Įtaisas, turintis elektroninę grandinę, kuri atskiria srauto signalą nuo elektrodų signalo ir paverčia jį standartiniu, tiesiogiai proporcingu srautui išėjimo signalu. Šis įtaisas gali būti sumontuotas ant pirminio įtaiso.
- **(elektromagnetinio srauto) matuoklio vamzdis**
- Pirminio įtaiso vamzdžio sekcija, per kurią prateka matuojamasis skystis; jos vidinis paviršius dažniausiai yra elektriškai izoliuotas.

Elektromagnetiniai srauto matavimo metodai

- **Matuoklio elektròdai**
- Vienas ar kelios poros kontaktų, kuriais aptinkama indukuotoji įtampa.
- **Magnètinis laũkas**
- Pirminio įtaiso elektromagneto generuojamas magnetinis srautas, kuris pereina pro matuoklio vamzdį ir skystį.
- **Elektròdo signãlas**
- Visuminis elektrodų potencialų skirtumas, susidedantis iš srauto signalo ir signalų, nesusijusių su srautu, kaip antai: sinfazinių, kvadratūrinių ir bendrųjų įtampos modų.

Elektromagnetiniai srauto matavimo metodai

■ **Sraūto signālas**

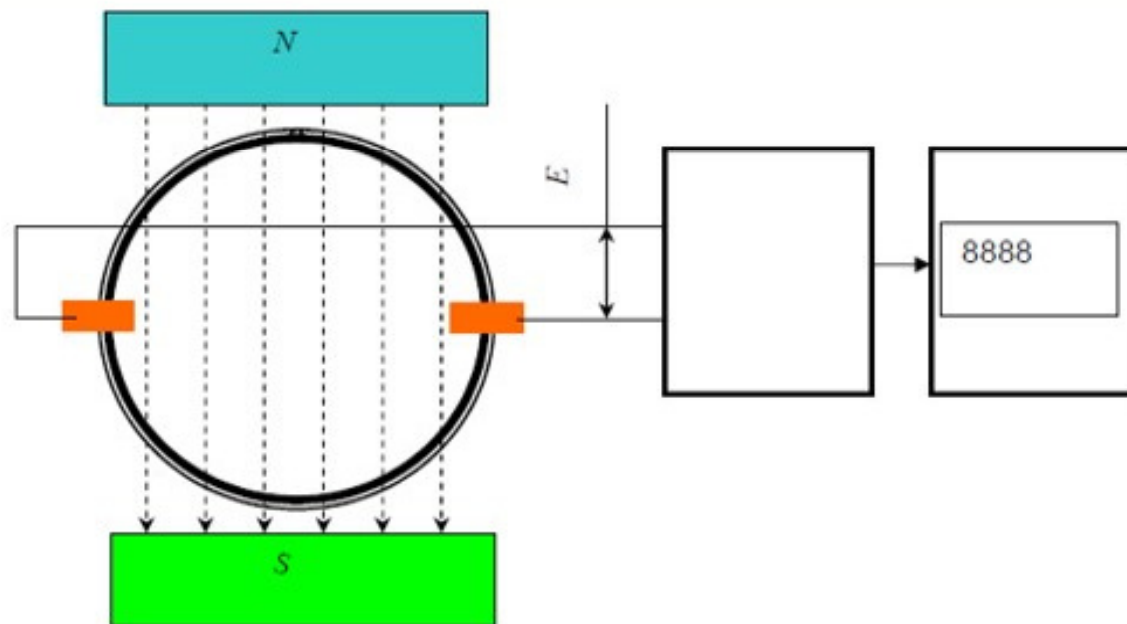
- Elektrodo signalo dalis, proporcinga srautui ir magnetinio lauko stipriui. Ji priklauso nuo matuoklio vamzdžio ir elektrodų geometrijos.

■ **Sinfāzinė įtampa**

- Elektrodo signalo dalis, kuri yra tos pačios fazės, kaip ir srauto signalas, bet ji nekinta kintant srautui.

Elektromagnetiniai srauto matavimo metodai

- Matuoklis yra sudarytas iš nemagnetinės medžiagos vamzdžio atkarpos, viduje padengtos izoliacine medžiaga. Vamzdžio atkarpa yra tarp nuolatinio magneto polių N ir S . Vamzdyje vienas prieš kitą įtaisyti du elektrodai taip, kad juos jungianti linija būtų statmena magnetinio lauko jėgų linijoms. Tekant vamzdžiu laidžiam skysčiui elektroduose indukuojama elektrovara E . Ši elektrovara su magnetine indukcija B , vidutiniu tėkmės greičiu v_{vid} ir vamzdžio vidiniu skersmeniu d susijusi tokia lygtimi:



Elektromagnetiniai srauto matavimo metodai

$$E = Bv_{\text{vid}} d,$$

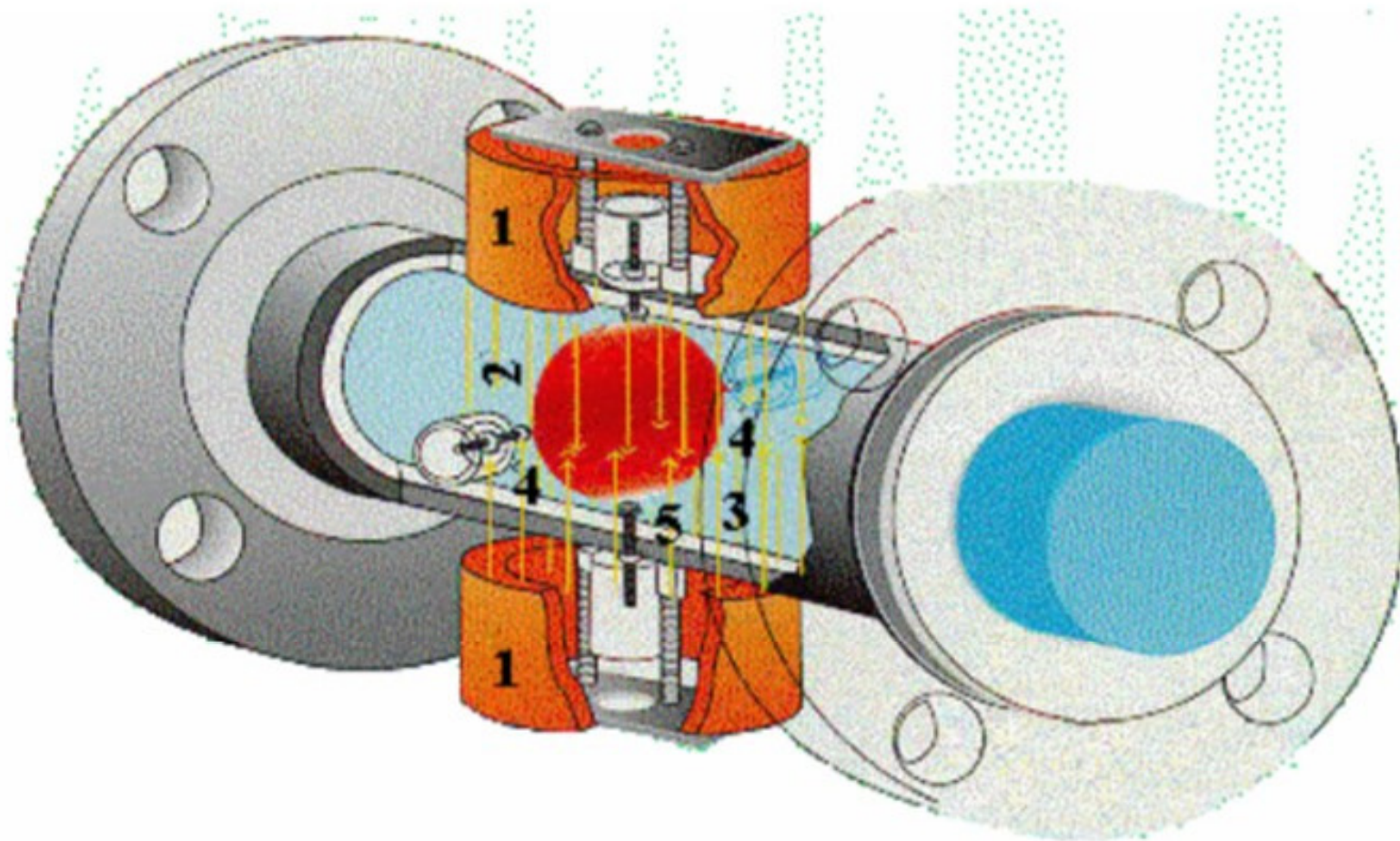
- arba su tūrio srautu q_v taip:

$$E = \frac{4B}{\pi d} q_v.$$

- Elektromagnetiniai srauto matuokliai tūrio srautas matuoja labai plačiame intervale nuo 1 m³/h iki 2500 m³/h. Matavimo paklaidos neviršija ±1 %. Skysčio greitis gali kisti nuo 0,3 m/s iki 12 m/s.



Elektromagnetiniai srauto matavimo metodai



Sėrimo ir tūriniai matavimo metodai

■ Svėrimo metodas

- Matavimo metodas paprastai taikomas skysčiams, jų tėkmę nuolat arba su pertrūkiais nukreipiant į svėrimo rezervuarą arba indą, esantį ant svarstyklių. Srautas yra nustatomas atliekant per atitinkamą laiko tarpą subėgusio skysčio masės matavimus.

■ Stātinis svėrimas

- Svėrimo metodas, kai subėgusio skysčio grynoji masė yra nustatoma pagal taros masę ir bendrąją masę atitinkamai prieš nukreipiant skystį į svėrimo rezervuarą nustatytą laiko tarpą ir po to.

Sėrimo ir tūriniai matavimo metodai

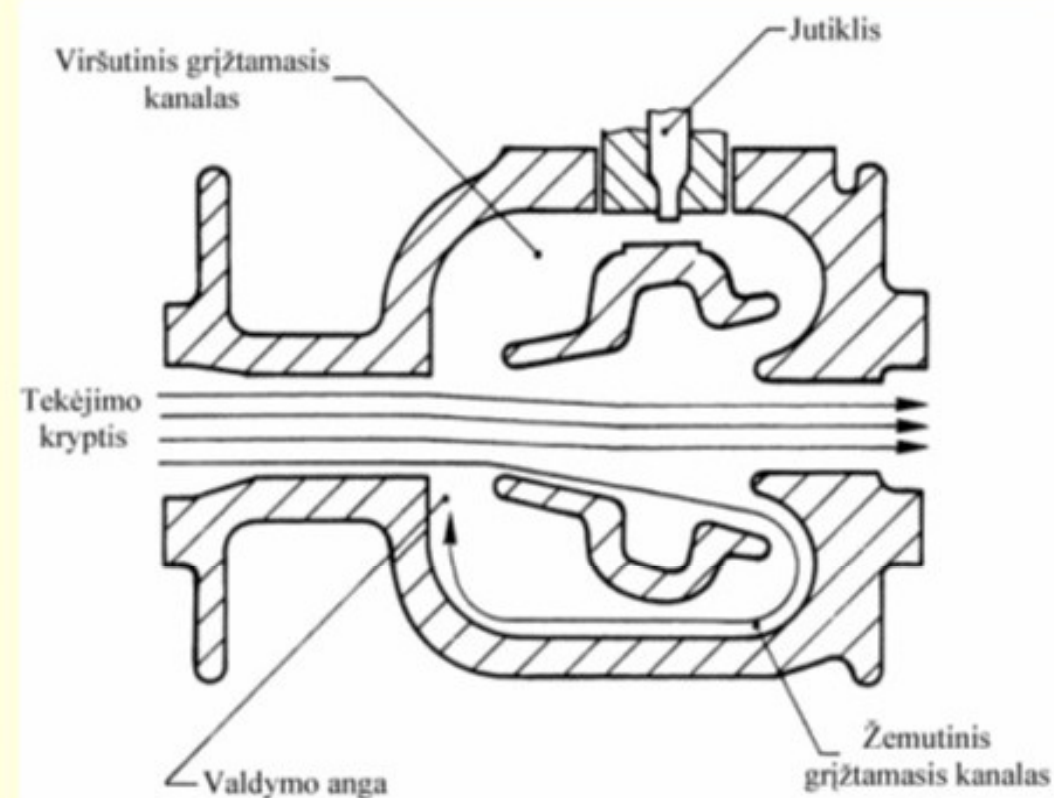
- **Dināminis svėrimas**
- Svėrimo metodas, kai subėgusio skysčio grynoji masė yra randama matuojant skysčio masę jam tekant į svėrimo rezervuarą.
- PASTABA - Naudojant šį metodą, tėkmės kreiptuvas yra nereikalingas.
- **Tūrinis metodas**
- Matavimo metodas, kai srautas yra nustatomas pagal tūrio, kurį užpildo skystis kalibruotame matavimo rezervuare per atitinkamą laiko tarpą, pokytį.

Nestabilumu pagrįsti srauto matavimo metodai

- Nestabilumu pagrįsti metodai – metodai, kai tekėjimo nestabilumas yra tikslingai sukeliamas, sudarant nejudamas kliūtis. Nestabilumas turi reguliarų, priklausantį nuo skysčio arba dujų greičio, dažnį, kuris yra matuojamas jutikliu.

Nestabilumu pagrįsti srauto matavimo metodai

- **Sraūto matuoklis su srovės osciliatoriais**
- Srauto matuoklis, kuriame skysčio arba dujų srovė svyruoja tarp dviejų alternatyvių padėčių, į kurias ji patenka veikiamą grįžtamojo tekėjimo įtaiso



Ultragarsiniai (akustiniai) srauto matavimo metodai

- Ultragarsiniai srauto matavimo metodai yra pagrįsti skysčio arba dujų tekėjimo poveikio ultragarso bangų (impulsų) sklidimui matavimu ir jo susiejimu su srautu.

- **Ultragarsinis srauto matuoklis**

- Srauto matuoklis, kuris skleidžia ultragarsinius signalus ir juos priima po to, kai jie jau būna paveikti tekėjimo taip, kad išmatuoto dydžio vertė gali būti srauto matu.

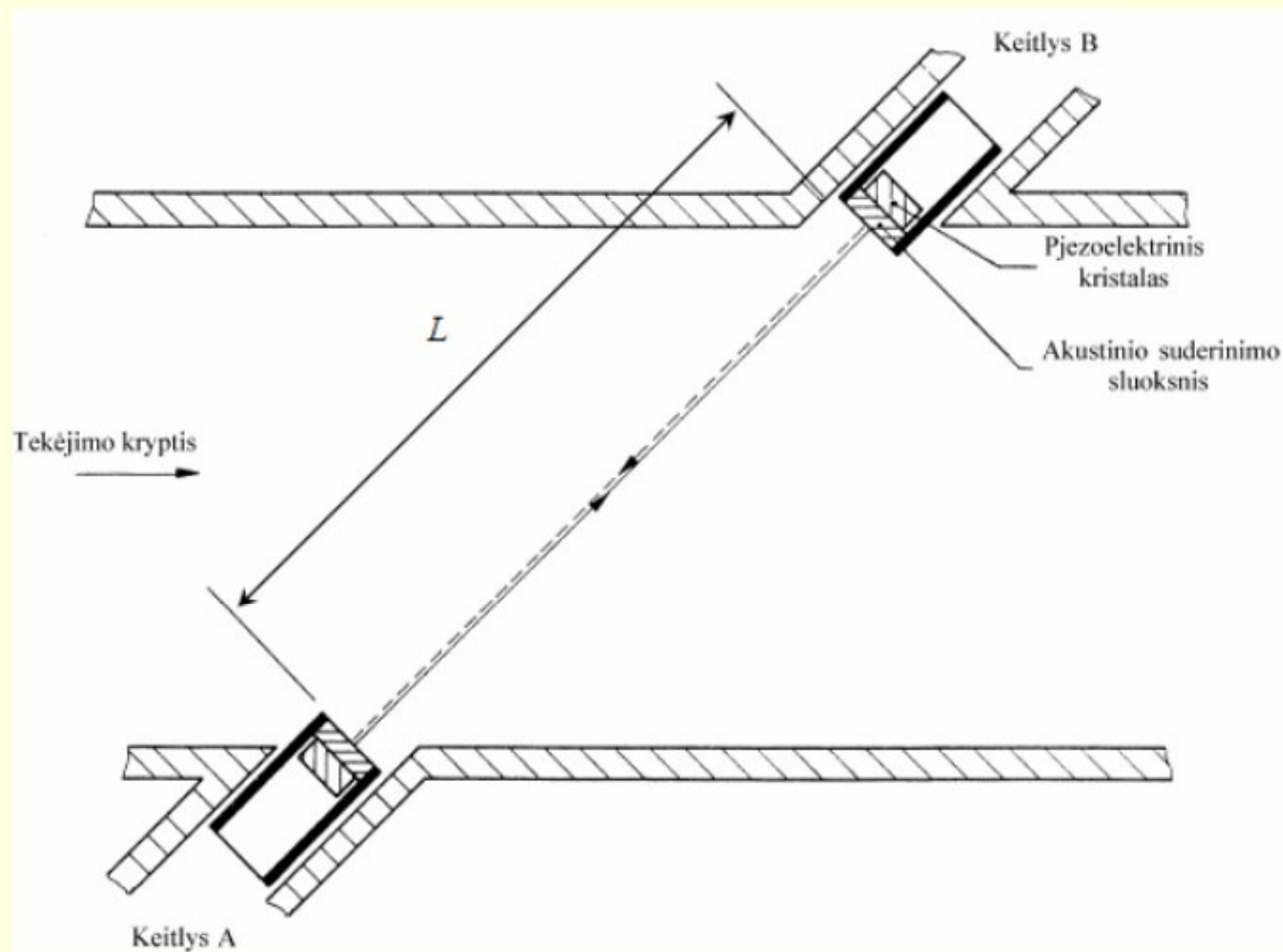
Ultragarsinis srauto matuoklis paprastai yra sudarytas iš vieno arba kelių ultragarso keitlių ir įrenginio, kuris iš išspinduliuoto ir priimto ultragarsinio signalo pateikia srauto matavimo rezultatą ir jį paverčia standartiniu, proporcingu srautui išėjimo signalu.

Ultragarsiniai (akustiniai) srauto matavimo metodai

- **pirminis (ultragarsinio sraūto matuoklio) įtaisas**
- Įtaisas, susidedantis iš:
 - matuoklio vamzdžio, per kurį teka matuojamasis skystis arba dujos;
 - kelių ultragarsinių keitlių srautui matuoti.
- **ultragarsinis keitlys**
- Ultragarsinės energijos šaltinis ir imtuvas.

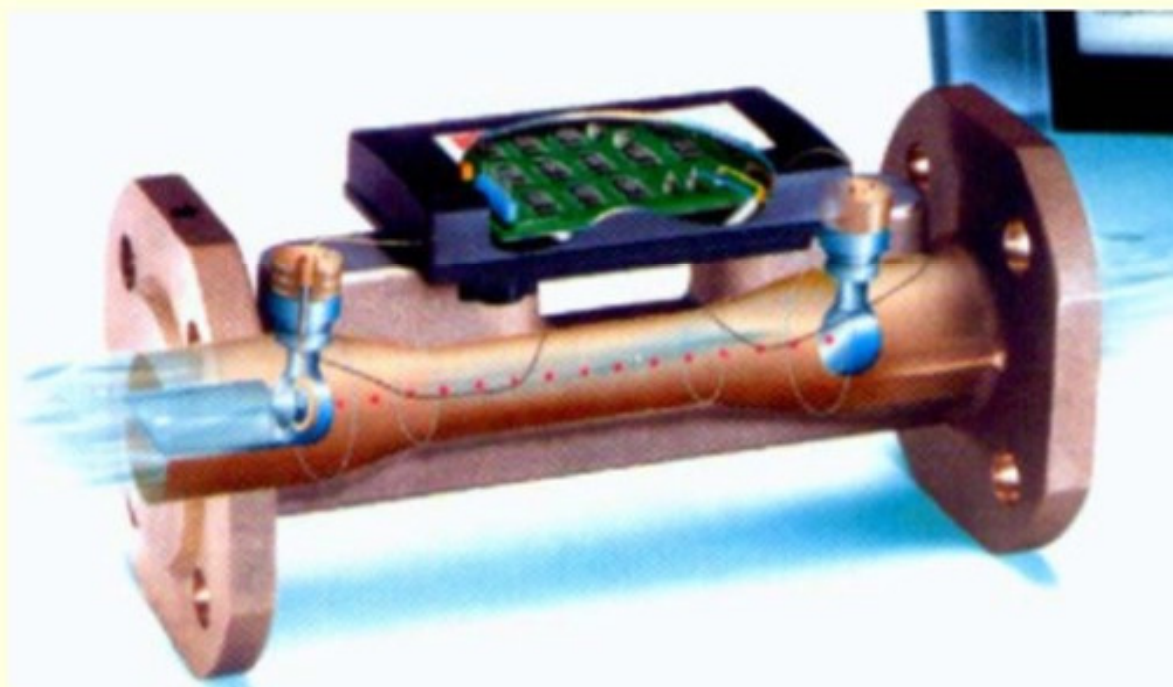
- PASTABA - Šis terminas yra vartojamas tik ultragarsiniams srauto matavimams.
- **matuoklis su išoriniais keitliais**
- Srauto matuoklis, kurio keitliai yra tvirtinami kanalo, kuriame matuojamas srautas, išorėje.

Ultragarsiniai (akustiniai) srauto matavimo metodai



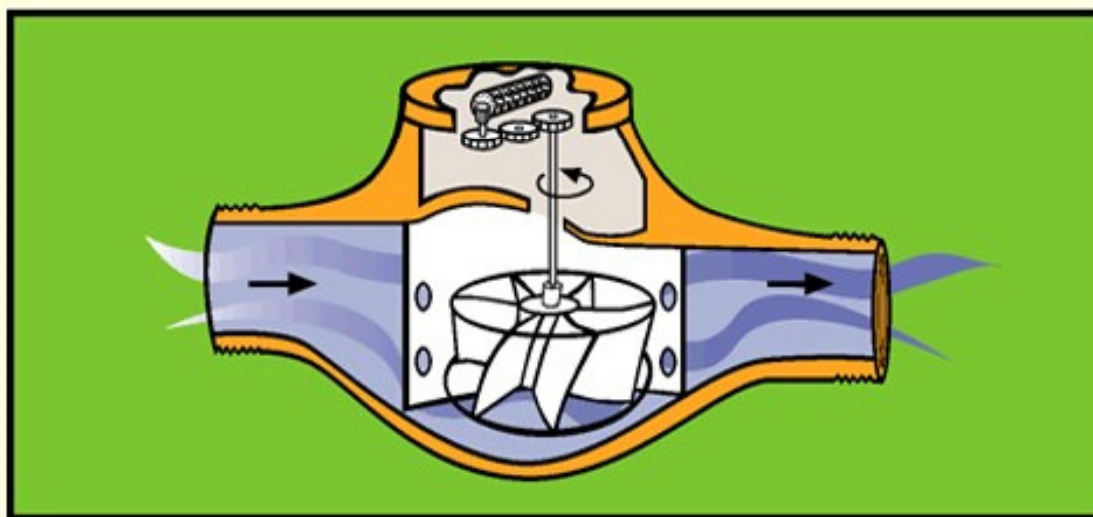
Ultragarsiniai (akustiniai) srauto matavimo metodai

- Realiuose matuokliuose akustinės bangos sklidimo trukmių skirtumas Δt būna apie 10^{-5} s.
- Tokios trukmės nesunkiai išmatuojamos matavimo priemonėmis, kurių paklaida neviršija ± 2 %.
- Yra sudėtingesnių matuoklių, turinčių daugiau negu 2 keitiklius.



Vandens skaitikliai

- Uždaramame kanale įrengtas įtaisas, kurį sudaro žinomo tūrio kameros ir tėkmės varomas mechanizmas, kuriam veikiant kameros pakaitomis užpildomos vandeniu ir ištuštinamos. Visas tėkmės tūris gaunamas rodomajam įtaisui suskaičiavus šių per skaitiklį pratekėjusių tūrių kiekį.



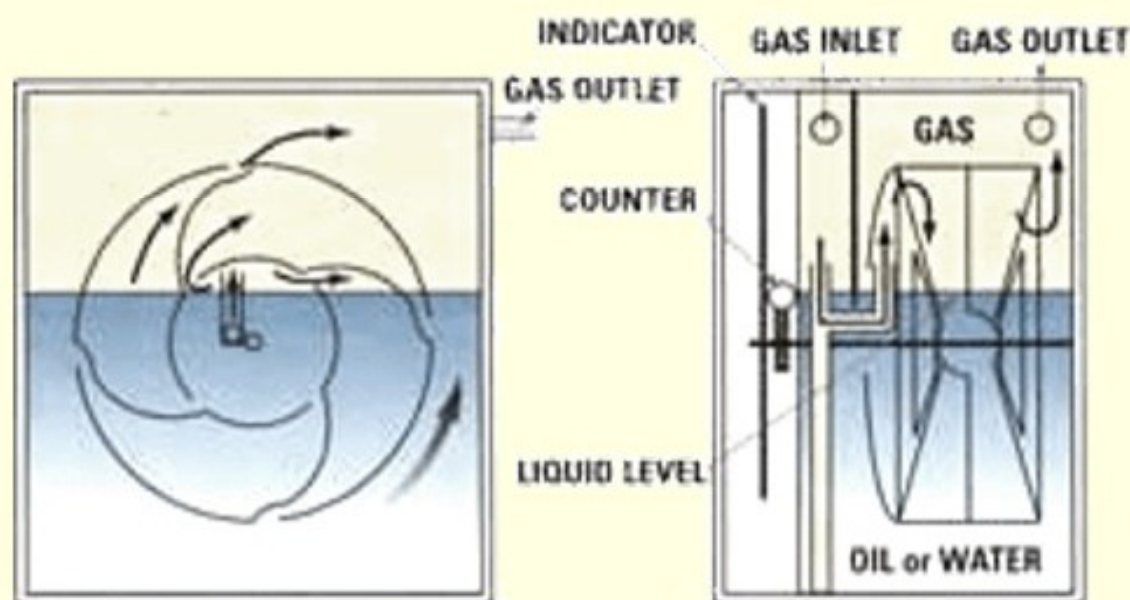
Dujų skaitikliai

- **Sausasis dujų skaitiklis**
- Kameranis skaitiklis, kuriame dujų tūris yra matuojamas pakaitomis užpildant ir ištuštinant dummies. Dažniausiai naudojamas sausasis dujų skaitiklis yra membraninis skaitiklis.



Dujų skaitikliai

- **šlapiasis dujų skaitiklis**
- Skaitiklis, kuriame dujų tūris yra matuojamas leidžiant dujas į būgną su žinomo tūrio kameromis, kurios yra užsandarintos vandeniu ar kitu skysčiu. Būgnas sukasi veikiamas dujų slėgio skirtumo, ir sandarinantis skystis išstumia dujas iš kamerų.



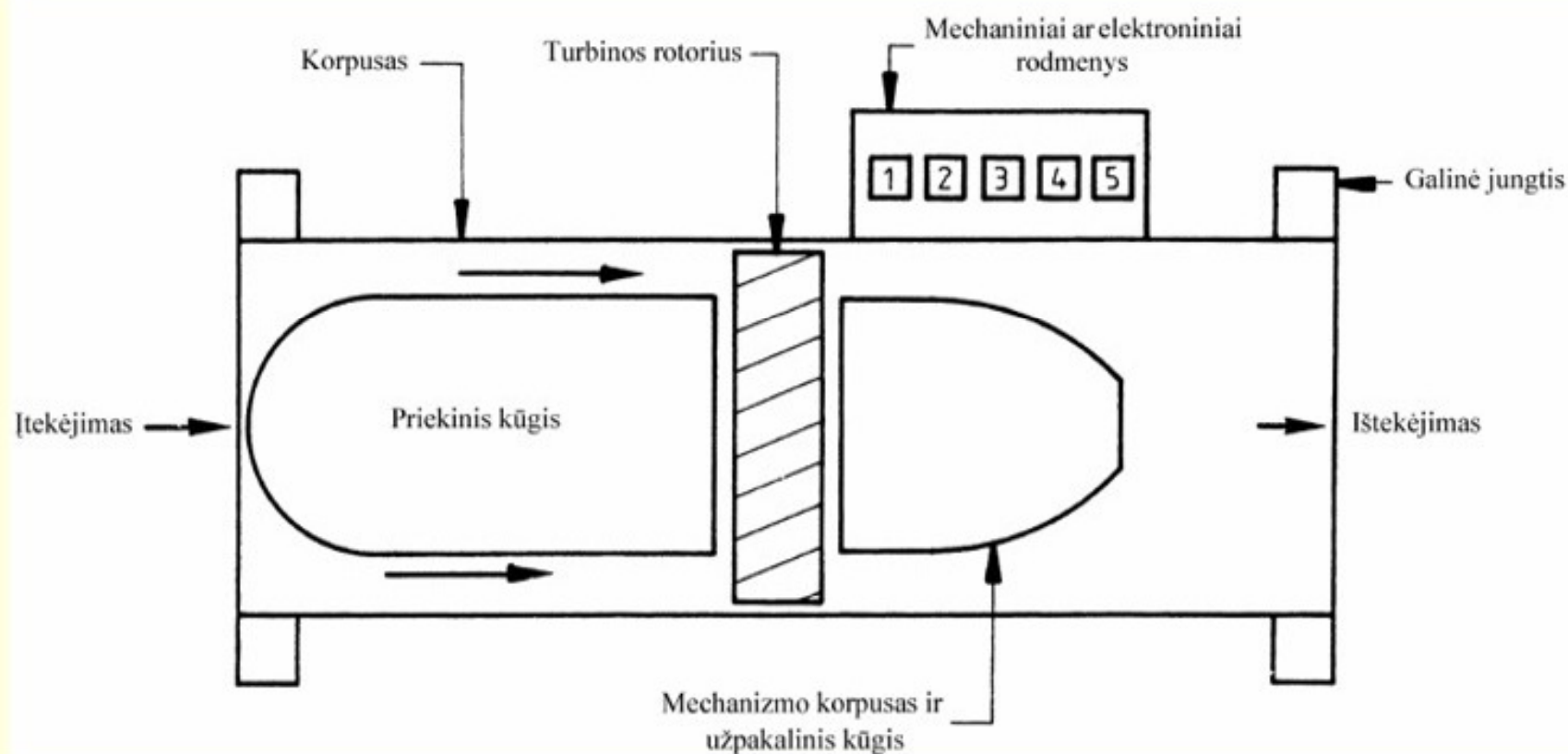
Dujų skaitikliai

- **Netiesiogiai matuojantis skaitiklis**
- Įtaisas, kuris matuoja pratekantį dujų tūrį, integruodamas per laiko tarpą išėjimo signalą, proporcingą dujų greičiui arba srautui.

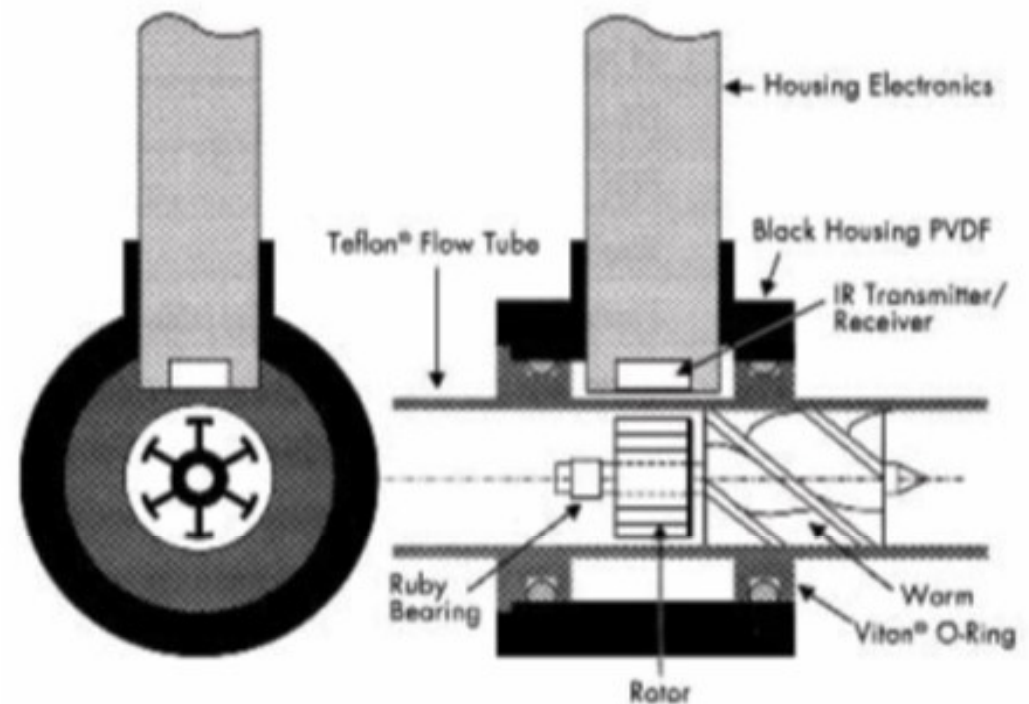


Dujų skaitikliai

- **Turbininis skaitiklis**
- Netiesiogiai matuojantis skaitiklis, kuriame dujų tėkmė suka turbinos rotorių, kuris mechaniškai arba kitoku būdu yra susietas su rodomuoju įtaisu, registruojančiu pratekėjusių dujų tūrį.



Dujų skaitikliai



Technologiniai vyksmai ir matavimai

dr. Gytis Sliaušys