



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

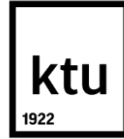
Ultragarsinio vandens skaitiklio tėkmės srautų analizė

Baigiamasis magistro projektas

Petras Vaitkevičius
Projekto autorius

Doc. dr. Paulius Griškevičius
Vadovas

Kaunas, 2020



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Ultragarsinio vandens skaitiklio tėkmės srautų analiz 

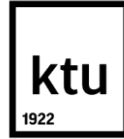
Baigiamasis magistro projektas
Mechanikos inžinerija (6211EX009)

Petras Vaitkevičius
Projekto autorius

Doc. dr. Paulius Griškevičius
Vadovas

Dr. Gintautas Dundulis
Recenzentas

Kaunas, 2020



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas
Studento Petro Vaitkevičiaus

Ultragarsinio vandens skaitiklio tĕkmĕs srautų analizĕ

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, **Petro Vaitkevičiaus**, baigiamasis projektas tema „**Ultragarsinio vandens skaitiklio tĕkmĕs srautų analizĕ**“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokĕjĕs.

Aš suprantu, kad išaiškĕjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

(Vardas, Pavardĕ įrašomi ranka)

(parašas)



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas
Studijų programa – MECHANIKOS INŽINERIJA 6211EX009

Magistrantūros studijų baigiamojo projekto užduotis

Studentui(-ei) – Petras Vaitkevičius

1. Baigiamojo projekto tema –

Ultragarsinio vandens skaitiklio tėkmės srautų analizė

(Lietuvių kalba)

Flow Analysis of an Ultrasonic Water Meter

(Anglų kalba)

2. Baigiamojo projekto tikslas ir uždaviniai –

Tikslas – Ištirti ultragarsinio vandens skaitiklio tėkmės srautus ir atlikus alternatyvių konstrukcinių sprendimų analizę parinkti konstrukciją, užtikrinančią minimalius slėgio nuostolius, pakankamą vandens tėkmės greitį ir minimalius sukurius matuojamoje skaitiklio dalyje.

Uždaviniai:

1. Apžvelgti skirtingų vandens skaitiklių tipų privalumus ir trūkumus bei palyginti juos su esama konstrukcija;
2. Sudaryti skaičiuojamąjį vandens skaitiklio modelį, atlikti užduotyje pateiktų parametru jautrumo analizę nagrinėjamiems rezultatams ir juos palyginti su eksperimento metu nustatytais rezultatais;
3. Įvertinant pateiktus techninius apribojimus parinkti alternatyvius skaitiklio konstrukcijos pakeitimus, tolesnei vandens skaitiklio srautų analizei;
4. Eksperimentiškai nustatyti susidarančius vandens skaitiklio tėkmės srautus, įvertinant susidarančius slėgio nuostolius, bei gautus rezultatus panaudoti skaitiklio patvirtinimui.

3. Pradiniai baigiamojo projekto duomenys –

- 3.1 Pradinis vandens skaitiklio korpuso ir įdėklo modelis;
- 3.2 Apribojimai galimoms skaitiklio korpuso ir įdėklo korekcijoms.

4. Pagrindiniai reikalavimai ir sąlygos –

- 4.1 Analizuojant konstrukcinių sprendimų įtaką suprojektuoti skaitiklio korpuso ir įdėklo modelį, kurį būtų galima išlieti liejimo formoje (turi būti galimybė konstrukciją su visais pridėtais komponentais išimti iš liejimo formos).
- 4.2 Analizuojant konstrukcinių sprendimų įtaką suprojektuoti skaitiklio korpuso ir įdėklo modelį, turintį kuo mažesnius slėgio nuostolius (ne didesnius nei 0,25 bar).
- 4.3 Analizuojant konstrukcinių sprendimų įtaką suprojektuoti skaitiklio korpuso ir įdėklo modelį, turintį pakankamą vandens tėkmės greitį matuojamojoje skaitiklio dalyje (maksimalų ne mažesnę nei 9,5 m/s ir minimalų nemažesnę nei -0,5 m/s).
- 4.4 Analizuojant konstrukcinių sprendimų įtaką suprojektuoti skaitiklio korpuso ir įdėklo modelį, turintį minimalius sukurius matuojamojoje skaitiklio dalyje.

Projekto autorius

Petras Vaitkevičius

(Vardas, Pavardė)

(parašas)

(data)

Baigiamojo projekto vadovas

Doc. dr. Paulius Griškevičius

(Vardas, Pavardė)

(parašas)

(data)

Krypties studijų programos vadovas

Doc. dr. Kęstutis Pilkauskas

(Vardas, Pavardė)

(parašas)

(data)

Vaitkevičius, Petras. Ultragarinio vandens skaitiklio tėkmės srautų analizė. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Paulius Griškevičius; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Studijų sritis (studijų krypčių grupė), studijų kryptis: Technologijos mokslai, Mechanikos inžinerija

Reikšminiai žodžiai: Ultragarinis vandens skaitiklis; slėgio nuostoliai; vandens tėkmės greitis; sukuriai matuojamoje zonoje.

Kaunas, 2020. 61 p.

Santrauka

Šio baigiamojo darbo tikslas – ištirti ultragarinio vandens skaitiklio tėkmės srautus bei atlikus alternatyvių konstrukcinių sprendimų analizę parinkti konstrukciją užtikrinančią minimalius slėgio nuostolius, pakankamą vandens tėkmės greitį ir minimalius sukurius matuojamoje skaitiklio dalyje. Temos aktualumas – naujos kartos ultragariniai skaitikliai palaipsniui išstumia iki šiol populiariais buvusius mechaninius skaitiklius. Vienas iš privalumų – R800 tikslumo klasė, į kurią turi patekti tiriamas skaitiklis. Šiame darbe palyginami keleto skirtingų veikimo tipų vandens skaitikliai, išskiriami jų pranašumai ir trūkumai, išsamiau išanalizuojami mechaniniai ir ultragariniai skaitikliai. Sudarytas ultragarinio vandens skaitiklio skaičiuojamasis modelis, atlikta užduotyje pateiktų parametų jautrumo analizė nagrinėjamiems rezultatams. Lengvesniam rezultatų įvertinimui panaudota pritaikomumo funkcija. Eksperimentiškai išmatuoti vandens skaitiklio slėgio nuostoliai, gauti rezultatai panaudoti skaitiklio modelio validavimui. Įvertinus pateiktus techninius apribojimus parinkti alternatyvūs skaitiklio konstrukcijos pakeitimai.

Vaitkevičius, Petras. Flow Analysis of an Ultrasonic Water Meter. Master's Final Degree Project / supervisor doc. dr. Paulius Griškevičius; The Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

Study area (study field group), study field: Technological Sciences, Mechanical Engineering

Key words: Ultrasonic Water Meter; Pressure drop; Speed of water flow; Steams in measuring zone.

Kaunas, 2020. 61 p.

Summary

The aim of this dissertation is to explore an ultrasonic water meter flow rate and after the analysis of alternative design solutions to select the construction that ensures minimum pressure loss, sufficient water flow rate and minimum vortices in the measuring zone of the meter. Relevance of the topic – the new generation of ultrasonic meters is gradually displacing the former mechanical meters. One of the advantages is the accuracy class R800, which must be included in the analyzed meter. In this work, several different types of water meters, their advantages and disadvantages, are compared. Mechanical and ultrasonic meters are analyzed in more detail. Also, a computational model of the ultrasonic water meter and sensitivity analysis of the parameters presented in the task were developed. For easier appreciation of results, the desirability function is used. The pressure loss of the water meter was measured experimentally, and the obtained results were used for the validation of the meter model. After evaluating the technical limitations, alternative changes to the meter design were selected.

Turinys

Paveikslų sąrašas	10
Lentelių sąrašas	12
Įvadas.....	14
1. Vandens skaitiklių tipai ir jų veikimo principai.....	15
1.1. Skirtingo veikimo metodo vandens skaitikliai	15
1.2. Skirtingų vandens skaitiklių privalumai ir trūkumai	19
1.3. Ultragarso bangos fiksacija ir įvertinimas	20
1.3.1. Pagrindiniai komponentai sudarantys ultragarsinį jutiklį.....	21
1.3.2. Minimalus jutiklio jutimo atstumas.....	21
1.3.3. Maksimalus jutiklio jutimo atstumas.....	21
1.3.4. Tarpai tarp ultragarso jutiklių.....	22
1.4. Vandens skaitiklio projektavimo etapai	22
2. Skaitiklio srautų analizės tyrimo metodika.....	24
2.1. Srautų analizė. Hidrauliniai nuostoliai	24
2.2. Eksperimentinės tyrimo dalies metodas (ISO 4064-1/OIML R 49-1, 6.5).....	25
2.2.1. Bandymo procedūra.....	27
2.3. Eksperimentinė tyrimo dalis	29
2.4. Skaitiklio alternatyvaus modelio parinkimo metodika.....	30
2.4.1. Objekto reikalavimų optimizavimas pageidaujamo funkcijos metodu	30
2.4.2. Pageidaujamo funkcijos panaudojimas alternatyvaus modelio parinkimui	31
3. Skaitiklio skaičiuojamojo modelio sudarymas ir verifikavimas	32
3.1. Skaitiklio skaičiuojamojo modelio sudarymas	32
3.1.1. Simuliacijoms naudota programa ir skaičiavimo metodas	32
3.1.2. Modelio pradinių sąlygų parinkimas	32
3.1.3. Baigtinių elementų tinkamo jautrumo analizė.....	32
3.2 Skaitiklio modelio validavimas	33
4. Skaitiklio srautų analizė ir alternatyvaus modelio parinkimas.....	36
4.1 Korekcijų grupės.....	36
4.1.1. Pirmoji korekcijų grupė – įdėklo geometrijos korekcijos	38
4.1.2. Antroji korekcijų grupė – vertikalių trikampių ir sparno formos elementų pridėjimas...	40
4.1.3. Trečioji korekcijų grupė – horizontalaus sparno pridėjimas	42
4.1.4. Ketvirtoji korekcijų grupė – įdėklo galinės dalies pakėlimas	44
4.1.5. Penktoji korekcijų grupė – kalnelio pridėjimas įdėklo vidurinėje dalyje.....	46
4.1.6. Šeštoji korekcijų grupė – geriausio modelio sudarymas	48
4.1.7. Visų korekcijų grupių geriausi gauti rezultatai.....	52
4.2 Simuliacijos ir eksperimentinio modelio palyginimas	55
Išvados	59
Literatūros sąrašas	60
Priedai.....	63

1 Priedas. Visų šešių grupių modifikacijos ir jų vaizdai	63
2 Priedas. Skaitiklio surinkimo ir modelio brėžiniai	76

Paveikslų sąrašas

1.1 pav. Stūmoklinis vandens skaitiklis: a) prietaiso vaizdas [2], b) skaitiklio veikimo schema [3]	15
1.2 pav. Svyruojančio disko skaitiklio tipo veikimo principas [4]	16
1.3 pav. Purškiamos srovės skaitiklis: a) vandens skaitiklio vaizdas [6], b) skaitiklio veikimo schema [7].....	16
1.4 pav. Turbininis vandens skaitiklis: a) „Woltman“ skaitiklio vaizdas [8], b) skaitiklio veikimo schema [9].....	17
1.5 pav. Magnetinis vandens skaitiklis: a) „Wicon Electronics“ skaitiklio vaizdas [10], b) skaitiklio veikimo schema [11]	17
1.6 pav. Ultragarsinis skaitiklis: a) „Aparator Ultrimis W“ vandens skaitiklio vaizdas [13], b) skaitiklio veikimo schema [14].....	18
1.7 pav. Palyginimas tradicinio ir išmanaus matavimo [17].....	20
1.8 pav. Ultragarinio jutiklio sandaros komponentai [24].....	21
1.9 pav. Jutiklio darbinės zonos [24]: a) jutiminis atstumas, b) priklausomai nuo atspindinčios medžiagos didžiausias jutiklio jautrumas	22
1.10 pav. Rekomenduojami tarpai tarp jutiklių [24] a) ir b)	22
2.1 pav. Tėkmės režimų tyrimo eksperimentinis stendas: 1 – rezervuaras, 2 – stiklinis horizontalus vamzdis, 3 – ventilis, 4 – dažų rezervuaras, 5 – dažų siauras vamzdelis, 6 – matomos dažų dalelės. Tėkmės režimai: a) laminarinis, b) neapibrėžtasis, c) turbulentinis [30]	24
2.2 pav. Tipinių hidraulinės sistemos kliūčių schemas: a) aštriomis briaunomis įvadas; b) užapvalintomis briaunomis įvadas; c) aštriomis briaunomis nuvedimas; d) susiaurėjimas – staigus; e) praplatėjimas – staigus; f) susiaurėjimas – sklandus; g) praplatėjimas – sklandus; h) kampas posūkyje; i) užapvalintas kampas posūkyje [30]	25
2.3 pav. Slėgio nuostolių bandymo matavimo atkarpos išdėstymas: 1 – tėkmės kryptis; 2 – diferencialinis manometras; 3 – matuojamoji sekcija; P_1 ir P_2 – slėgio jutikliai; C – vandens skaitiklis ir kolektoriai [31]	26
2.4 pav. Slėgio nuostolių nuostolių matavimo schema: a) pirminis matavimas be skaitiklio, b) matavimas sumontavus skaitiklį (1 – tėkmės kryptis; 2 – diferencialinis manometras; 3 – vandens skaitiklis išėjimo dalyje arba laikinas vamzdis; 4 – matuojamoji zona; 5 – vandens skaitiklis) [31]	28
2.5 pav. Stende sumontuotos slėgio matavimo įrangos su skaitikliu junginys skirtas eksperimentui atlikti.....	29
2.6 pav. Slėgio nuostolių bandymo matavimo atkarpos išdėstymas: 1 – tėkmės kryptis; 2 – diferencialinis manometras; 3 – matuojamoji sekcija; P_1 ir P_2 – slėgio jutikliai; C – vandens skaitiklis ir kolektoriai [31]	29
3.1 pav. Vandens tėkmės greičio pasiskirstymas skaitiklyje : a) pilnas skaitiklio vaizdas; b) tėkmės greičio skalė.....	32
3.2 pav. Vamzdžio su sklende, skirto skaičiuotino modelio validavimui, schema [40]	33
3.3 pav. Vamzdžio su sklende matmenys naudoti bandymui ir skaičiavimo simuliacijoms [41]	33
3.4 pav. Tėkmės trajektorijos nuspaltotos pagal absoliutinį slėgį, kai sklendė atidaryta 45° [41] ..	34
3.5 pav. Vožtuvo vandens tėkmės kontūrai ir kryptys, kai sklendė atidaryta 45° [41].....	34
3.6 pav. Simuliacijos ir eksperimentinio modelio paklaidų grafikas [41]	35
4.1 pav. Skaitiklio korpuso liejimo formos dalys	36
4.2 pav. Pirmoji korekcijų grupė – įdėklo geometrijos korekcijos. Slėgio nuostoliai ir ekstreminiai greičiai	39
4.3 pav. Pirmoji korekcijų grupė – įdėklo geometrijos korekcijos. Tinkamumo koeficientas	40

4.4 pav. Antroji korekcijų grupė – vertikalių trikampių ir sparno formos elementų pridėjimas. Slėgio nuostoliai ir ekstreminiai greičiai	41
4.5 pav. Pirmoji korekcijų grupė – įdėklo geometrijos korekcijos. Tinkamumo koeficientas	42
4.6 pav. Trečioji korekcijų grupė – horizontalaus sparno pridėjimas. Slėgio nuostoliai ir ekstreminiai greičiai	43
4.7 pav. Pirmoji korekcijų grupė – įdėklo geometrijos korekcijos. Tinkamumo koeficientas	44
4.8 pav. Ketvirtoji korekcijų grupė – įdėklo galinės dalies pakėlimas. Slėgio nuostoliai ir ekstreminiai greičiai	45
4.9 pav. Pirmoji korekcijų grupė – įdėklo geometrijos korekcijos. Tinkamumo koeficientas	46
4.10 pav. Penktoji korekcijų grupė – kalnelio pridėjimas įdėklo vidurinėje dalyje. Slėgio nuostoliai ir ekstreminiai greičiai	47
4.11 pav. Pirmoji korekcijų grupė – įdėklo geometrijos korekcijos. Tinkamumo koeficientas	48
4.12 pav. Šeštoji korekcijų grupė – geriausio modelio sudarymas. Slėgio nuostoliai ir ekstreminiai greičiai	52
4.13 pav. Pirmoji korekcijų grupė – įdėklo geometrijos korekcijos. Tinkamumo koeficientas	52
4.14 pav. Atliktų korpuso korekcijų grupių geriausi gauti rezultatai. Slėgio nuostoliai ir ekstreminiai greičiai	54
4.15 pav. Pirmoji korekcijų grupė – įdėklo geometrijos korekcijos. Tinkamumo koeficientas	54
4.16 pav. Vidutiniai eksperimento rezultatai su pasikliautinaisiais intervalais	56
4.17 pav. Simuliacijos ir eksperimento rezultatų palyginimas	57
4.18 pav. Eksperimento įranga.....	57
4.19 pav. Skaitiklio spausdintas įdėklas V6.10.....	57

Lentelių sąrašas

1.1 lentelė. Vandens skaitiklių grupių, matuojančių vandens poslinkį, privalumai ir trūkumai [15]	19
1.2 lentelė. Vandens skaitiklių grupių, matuojančių vandens tėkmės greitį, privalumai ir trūkumai [15].	19
2.3 lentelė. Pagrindiniai dydžiai reikalingi tinkamumo koeficiento nustatymui	31
3.1 lentelė. Baigtinių elementų tinkamo jautrumo analizė	33
3.2 lentelė. Simuliacijos ir eksperimento palyginimas [41]	34
4.1 lentelė. Sudarytos skaitiklio korekcijų grupės	37
4.2 lentelė. Pirmosios korekcijų grupės – įdėklo geometrijos korekcijų – rezultatai	38
4.3 lentelė. Pirmosios korekcijų grupės – įdėklo geometrijos korekcijų – modifikacijų vaizdai (pirmtakas ir geriausias modelis)	39
4.4 lentelė. Antrosios korekcijų grupės – vertikalių trikampių ir sparno formos elementų pridėjimo – rezultatai	40
4.5 lentelė. Antrosios korekcijų grupės – vertikalių ir sparno formos elementų pridėjimo – modifikacijų vaizdai (pirmtakas ir geriausias modelis)	41
4.6 lentelė. Trečiosios korekcijų grupės – horizontalaus sparno pridėjimo – rezultatai	42
4.7 lentelė. Trečiosios korekcijų grupės – horizontalaus sparno pridėjimo – modifikacijų vaizdai (pirmtakas ir geriausias modelis)	43
4.8 lentelė. Ketvirtosios korekcijų grupės – įdėklo galinės dalies pakėlimo – rezultatai	44
4.9 lentelė. Ketvirtosios korekcijų grupės – įdėklo galinės dalies pakėlimo – modifikacijų vaizdai (pirmtakas ir geriausias modelis)	45
4.10 lentelė. Penktosios korekcijų grupės – kalnelio pridėjimo įdėklo vidurinėje dalyje – rezultatai	46
4.11 lentelė. Penktosios korekcijų grupės – kalnelio pridėjimo įdėklo vidurinėje dalyje – modifikacijų vaizdai (modelio vertikaliuose pjūviuose, centre vertikali linija – įdėklo vidurio linija) (pirmtakas ir geriausias modelis)	47
4.12 lentelė. Pirmos – penktos grupių geriausių modelių rezultatai	49
4.13 lentelė. Pirmos – penktos grupių geriausių modelių rezultatai – modifikacijų vaizdai	49
4.14 lentelė. Šeštosios korekcijų grupės – geriausio modelio sudarymo, modifikacijų sugrupavimo schema	50
4.15 lentelė. Šeštosios korekcijų grupės – geriausio modelio sudarymo – rezultatai	50
4.16 lentelė. Šeštosios korekcijų grupės – geriausio modelio sudarymo – modifikacijų vaizdai (pirmtakas ir geriausias modelis)	51
4.17 lentelė. Korekcijų grupių geriausių rezultatų lentelė	53
4.18 lentelė. Korekcijų grupių geriausių rezultatų modifikacijų vaizdai	53
4.19 lentelė. Simuliacijos ir eksperimento rezultatai	55
4.20 lentelė. Statistinis eksperimento įvertinimas	56
4.21 lentelė. Simuliacijos ir eksperimento rezultatų palyginimas ir įvertinimas	56
4.22 lentelė. Pirmosios korekcijų grupės – įdėklo geometrijos korekcijų – modifikacijų vaizdai	63
4.23 lentelė. Antrosios korekcijų grupės – vertikalių ir sparno formos elementų pridėjimo – modifikacijų vaizdai	66
4.24 lentelė. Trečiosios korekcijų grupės – horizontalaus sparno pridėjimo – modifikacijų vaizdai	67
4.25 lentelė. Ketvirtosios korekcijų grupės – įdėklo galinės dalies pakėlimo – modifikacijų vaizdai	69

4.26 lentelė. Penktosios korekcijų grupės – kalnelio pridėjimo įdėklo vidurinėje dalyje – modifikacijų vaizdai (modelio vertikaliuose pjūviuose, centre vertikali linija – įdėklo vidurio linija)	71
4.27 lentelė. Šeštosios korekcijų grupės – geriausio modelio sudarymo – modifikacijų vaizdai	72

Ivadas

Vanduo yra svarbiausias vandenilio ir deguonies junginys susidarantis gamtoje, be kurio išgyventi negali joks gyvas organizmas. Taip pat vanduo sudaro net 70 % žemės paviršiaus. Panašus šio junginio kiekis yra ir mūsų organizme, todėl jame intensyviai vykstant medžiagų apykaitai žmogus privalo nuolat papildyti vandens kiekį. Sparčiai kylant žmonių populiacijai, vis sudėtingiau yra rasti žmonėms tinkamo, švaraus vandens, todėl vis plačiau yra pritaikomos ir naudojamos vandens valymo bei transportavimo technologijos. Siekiant išmatuoti suvartojamo vandens kiekį ir nustatyti švaraus tiekiamo vandens kainą vartotojui, būtina naudoti pratekančio vandens apskaitos prietaisus. Naudojami skaitikliai privalo atitikti ilgaamžiškumo, stiprumo, matavimo tikslumo ir sandarumo parametrus. Inžinieriaus darbas – dar projektavimo eigoje užtikrinti atitikimą šitų parametru ir konkurencingo įrenginio rinkoje užtikrinimą. Šiame baigiamajame darbe buvo atliktas ultragarsinio skaitiklio palyginimas su kitais metodais naudojančiais vandens skaitikliais ir aptariamas vandens skaitiklio slėgio nuostolių matavimas (išanalizuotas ISO/OIML standartas). Šio darbo pagrindinis tikslas – ištirti ultragarsinio vandens skaitiklio tėkmės srautus ir atlikus alternatyvių konstrukcinių sprendimų analizę parinkti konstrukciją užtikrinančią minimalius slėgio nuostolius (ne didesnius nei 0,25 bar), pakankamą vandens tėkmės greitį (maksimalų ne mažesnę nei 9,5 m/s ir minimalų nemažesnę nei -0,5 m/s) ir minimalius sukurius matuojamoje skaitiklio dalyje. Darbo metu sprendžiami uždaviniai: 1. Apžvelgti skirtingų vandens skaitiklių tipų privalumus ir trūkumus bei palyginti juos su esama konstrukcija; 2. Sudaryti skaičiuojamąjį vandens skaitiklio modelį, atlikti užduotyje pateiktų parametru jautrumo analizę nagrinėjamiems rezultatams ir juos palyginti su eksperimento metu nustatytais rezultatais; 3. Įvertinant pateiktus techninius apribojimus parinkti alternatyvius skaitiklio konstrukcijos pakeitimus, tolesnei vandens skaitiklio srautų analizei; 4. Eksperimentiškai nustatyti susidarančius vandens skaitiklio tėkmės srautus, įvertinant susidarančius slėgio nuostolius, bei gautus rezultatus panaudoti skaitiklio patvirtinimui. Išsamesniame tikslo aprašyme pateikti reikalavimai yra būtini vandens skaitikliui, norint pasiekti R800 skaitiklio tikslumo klasę. Slėgio nuostoliai įtakoja vandentiekio sistemos apkrovimo lygį. Kuo nuostoliai mažesni, tuo mažesnis apkrovimas siurbliams ir tuo mažesnės energijos sąnaudos, bei didesnis vandentiekio sistemos ilgaamžiškumas. Vandens tėkmės greitis įtakoja matavimo tikslumą. Didesnis greitis – stabilesnis matavimas. Minimalus, neigiamos krypties greitis informuoja apie susidarančius sukurius. Šie sukuriai mažina matavimo stabilumą, todėl projektavimo etape yra stengiamasi sukurius minimizuoti. Pagal pateiktus vandens skaitiklio reikalavimus buvo sudarytos šešios modifikacijų grupės. Šiose grupėse sudaryti nuo šešių iki šešiolikos skirtingų modelių iš kurių išrinkti geriausi modeliai labiausiai atitinkantys slėgio perkryčio ir vandens tėkmės greičio matuojamojoje zonoje reikalavimus. Suradus geriausią modelį, buvo atspausdintas realus modelis ir išmatuoti jo slėgio nuostoliai palyginti su simuliacijų rezultatais. Šiame darbe aprašomi ultragarsiniai skaitikliai iš rinkos pamažu išstumia populiariausius mechaninius skaitiklius, nes naujos kartos skaitikliai neturi greitai susidėvinčių mechaninių dalių, be to ultragarso skaitikliai gali ne tik persiųsti matavimo duomenis vandens tiekėjui, bet ir pranešti apie sutrikimus vandens tiekimo, skaitiklio defektus, o vartotojui parodyti gali jo kiekvieno mėnesio einamąjį vandens suvartojimą. Šiandieniniams ultragarsiniams vandens skaitikliams reikia dar nežymių patobulinimų, kad kiekvienas savo namuose, po plautuve, išvystume skaitiklį, skaitmeniniais simboliais pateikiantį pratekėjusio vandens kiekį.

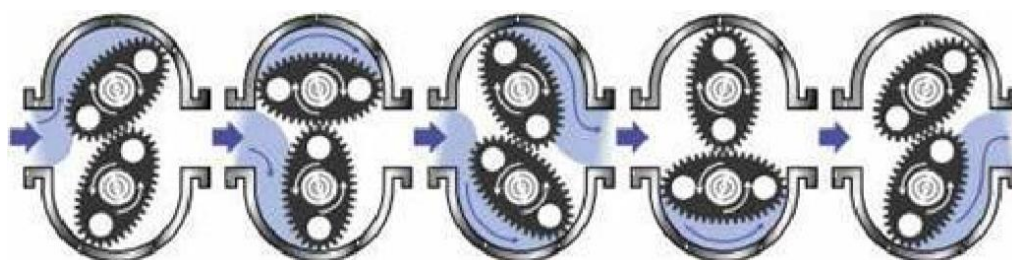
1. Vandens skaitiklių tipai ir jų veikimo principai

1.1. Skirtingo veikimo metodo vandens skaitikliai

Vandens skaitikliai yra skirstomi į du tipus: pratekėjusį vandens tūrį matuojantys tiesiogiai ir jį išskaičiuojantys pagal pratekančio vandens greitį. Pirmajam tipui yra priskiriami rotaciniai, stūmokliniai bei svyruojančio disko vandens skaitikliai [1]. Stūmoklinių skaitiklių veikimas gali būti palygintas su chronometru ir kibiru. Chronometro matavimas prasideda, kai paleidžiamas srautas, ir kibirui pasiekus ribas, sustabdomas. Kad matavimas nenutrūktų, reikia papildyti ir ištuštinti matuojamąją zoną, atskiriant matuojamus srautus ir neišleidžiant vandens iš vamzdžio. Skaitiklio viduje esantys krumpliaračiai yra nuolatos stabdomi ir paleidžiami, kol pripildoma matuojamoji zona (1.1 pav.).



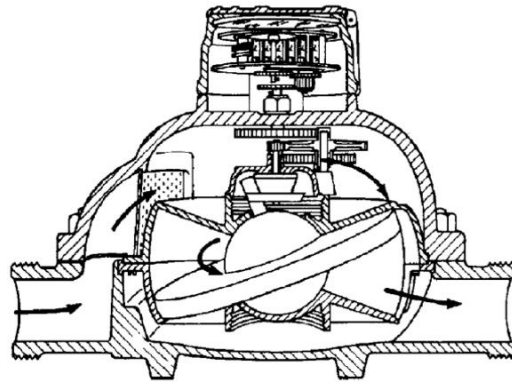
a)



b)

1.1 pav. Stūmoklinis vandens skaitiklis: a) prietaiso vaizdas [2], b) skaitiklio veikimo schema [3]

Vanduo, patekęs į svyruojančio disko tipo skaitiklį, subėga į diską, kuris sumontuotas ekscentriškai. Tada diskas ties vertikalia ašimi nulinksta, jame esanti pertvara atskiria įleidimo ir išleidimo zonas. Nulinkdamas diskas tiesiogiai parodo pratekėjusio vandens kiekį, nes jame įmontuotas registravimo įtaisas (1.2 pav.). Šio prietaiso paklaidos neviršija 1 %.

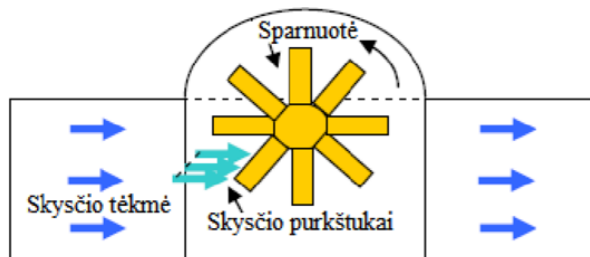


1.2 pav. Svyruojančio disko skaitiklio tipo veikimo principas [4]

Kitas matavimo metodas – vandens tėkmės greičio nustatymas. Naudojant šį metodą, pratekėjusio vandens tūris yra perskaičiuojamas iš pratekėjusio srauto [5]. Šį metodą sudaro keturių tipų vandens skaitikliai: purškiamos srovės skaitikliai, turbininiai sraigtiniai skaitikliai, magnetiniai ir ultragarsiniai skaitikliai. Purškiamos srovės skaitikliai pasižymi dideliu tikslumu ir yra naudojami mažo skersmens vandens vamzdžiuose. Šiuose prietaisuose yra sudaroma daug purškiamų srovių prieš sparnuotę ir jos sukimasis priklauso nuo pratekančio srauto. Šio tipo skaitiklių korpusas dažniausiai būna pagamintas iš bronzos lydinių, vidinės dalys – iš nerūdijančio plieno ir termoplastikų, taip pat šiems skaitikliams būtinas vidinis filtras (1.3 pav.).



a)



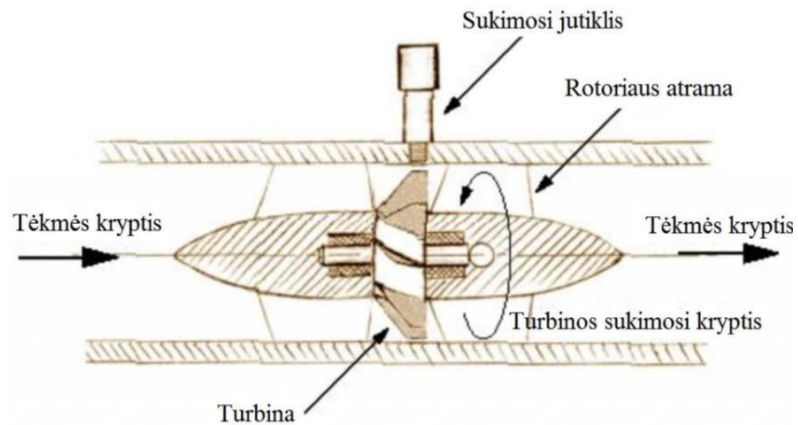
b)

1.3 pav. Purškiamos srovės skaitiklis: a) vandens skaitiklio vaizdas [6], b) skaitiklio veikimo schema [7]

Turbininiai vandens skaitikliai pasižymi tuo, kad visas vandens srautas į turbinos mentes yra paleidžiamas tiesiogiai ir vandens srautai juda visi kartu su jėgusiu srautu (1.4 pav.).



a)



b)

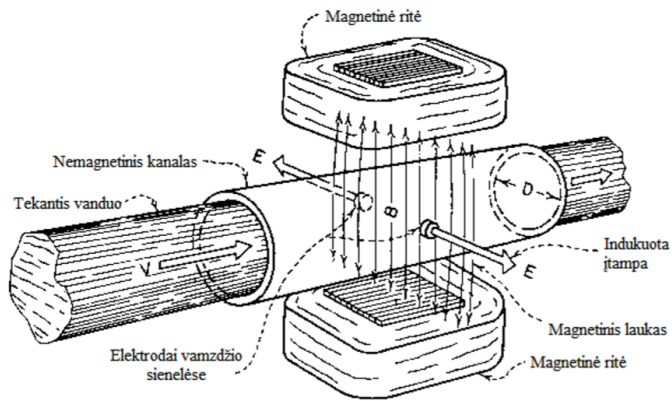
1.4 pav. Turbininis vandens skaitiklis: a) „Woltman“ skaitiklio vaizdas [8], b) skaitiklio veikimo schema [9]

Magnetiniai vandens srauto matuokliai yra vadinami „magmetrais“. Šie skaitikliai yra vien iš greičio tipo skaitiklių. (1.5 pav.). Šių skaitiklių privalumas – bet kurios krypties vandens srovė gali būti išmatuota, ir matuoti gali ne vien geriamąjį vandenį, bet ir kitus skysčius bei nuotekas, nes nėra kito tipo skaitikliuose matavimui būtino mechaninio elemento, kuris galėtų užstrigti ar užsikisti. Trūkumas – vamzdyje klaidžiojančios elektros energijos srautas pratekėdamas gali sukelti matavimo netikslumus, todėl dauguma skaitiklio magnetų yra montuojami su įžeminimo žiedais arba elektrodais, kad nuo jų nukreiptų elektros energiją.



a)

1.5 pav. Magnetinis vandens skaitiklis: a) „Wicon Electronics“ skaitiklio vaizdas [10], b) skaitiklio veikimo schema [11]



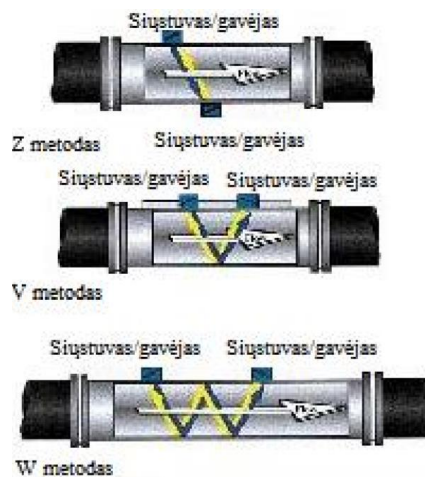
b)

1.5 pav. tęsinys

Paskutinis skaitiklių tipas – ultragarsiniai vandens skaitikliai. Šie prietaisai naudoja nuo vieno iki keleto jutiklių, siunčiančių ultragarso bangas skysčiui, tam, kad būtų nustatytas pratekančio vandens greitis (1.6 pav.). Keičiantis vandens temperatūrai, kinta jo tankis, todėl daugelis skaitiklių taip pat matuoja ir skysčio temperatūrą, kaip tūrio skaičiavimo proceso komponentą [12]. Ultragarsiniai skaitikliai pasižymi ilgaamžiskumu ir dideliu matavimo tikslumu, nes matuojamojo kanalo skerspjūvis yra nekintantis bei skaitiklio nesudaro judantys komponentai.



a)



b)

1.6 pav. Ultragarsinis skaitiklis: a) „Apator Ultrimis W“ vandens skaitiklio vaizdas [13], b) skaitiklio veikimo schema [14]

1.2. Skirtingų vandens skaitiklių privalumai ir trūkumai

Skirtingi vandens skaitikliai pasižymi savo privalumais ir trūkumais [15], kurie bus aptarti 1.1 ir 1.2 lentelėse.

1.1 lentelė. Vandens skaitiklių grupių, matuojančių vandens poslinkį, privalumai ir trūkumai [15]

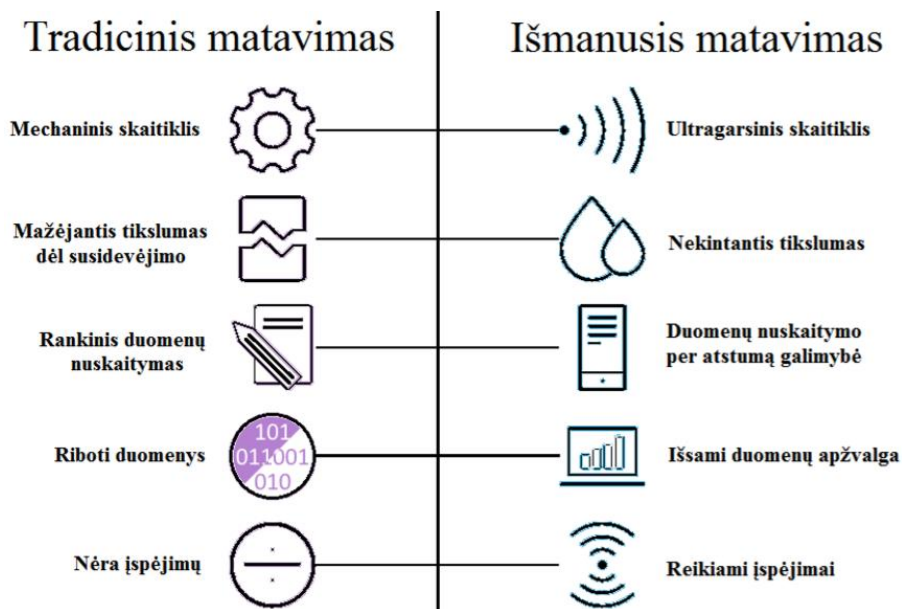
Skaitiklių grupė	Privalumai	Trūkumai
Rotaciniai stūmokliniai	<ul style="list-style-type: none"> Pulsuojantį srautą gali taip pat tiksliai išmatuoti Turi didelės klampos skysčių matavimo galimybę Prijungimas ant alkūnės ar vožtuvo nesudaro reikšmės matavimui, tiesus vamzdis neprivalomas Minimalus slėgio kitimas kanale nesudaro įtakos itin mažo srauto matavimui 	<ul style="list-style-type: none"> Švarumas – pagrindinis reikalavimas skysčiui Korozija – silpnoji skaitiklio savybė Šio tipo skaitikliai pasižymi itin dideliais matmenimis Judančios detalės neatsparios sparčiam dilimui Dideli skaitiklio slėgio nuostoliai
Svyruojančio disko	<ul style="list-style-type: none"> Aukštas slėgis (daugiau kaip 100 bar) šiems skaitikliams nėra kliūtis Prijungimas ant alkūnės ar vožtuvo nesudaro reikšmės matavimui, tiesus vamzdis neprivalomas 	<ul style="list-style-type: none"> Šio tipo skaitikliai pasižymi itin dideliais matmenimis Korozija – silpnoji skaitiklio savybė Dideli skaitiklio slėgio nuostoliai Judančios detalės neatsparios sparčiam dilimui

1.2 lentelė. Vandens skaitiklių grupių, matuojančių vandens tėkmės greitį, privalumai ir trūkumai [15]

Skaitiklių grupė	Privalumai	Trūkumai
Purškiamos srovės	<ul style="list-style-type: none"> Nedidelis slėgio perkrytis skaitiklyje. Nebrangus pagaminimas. Mažos priežiūros išlaidos. 	<ul style="list-style-type: none"> Judančios detalės neatsparios sparčiam dilimui. Žemas tikslumas matuojant itin mažus srautus.
Turbininiai – sraigtiniai	<ul style="list-style-type: none"> Tikslus matuojant itin mažus srautus. Plati matavimo apimtis. Pritaikomas vandens temperatūros kompensavimas. Mažos priežiūros išlaidos. 	<ul style="list-style-type: none"> Judančios detalės neatsparios sparčiam dilimui. Jautrus nedidelei turbulencijai. Švarumas – pagrindinis reikalavimas skysčiui.
Magnetiniai	<ul style="list-style-type: none"> Galima matuoti tiek vandenį, tiek nuotekas, nes skaitiklio nesudaro mechaniniai matavimo komponentai. Įtakos matuojamo skysčio tėkmei nesudaro. Matavimo kanale nėra slėgio kitimo. 	<ul style="list-style-type: none"> Labai didelės pradinės išlaidos, bet pasižymi dideliu ilgaamžiškumu (iki 75 metų). Laidumas elektrai – būtina matuojamų skysčių savybė. Darbinėje vamzdžio dalyje oro buvimas negalimas.
Ultragarsiniai	<ul style="list-style-type: none"> Didelis matavimo ilgaamžiškumas ir tikslumas, nes skaitiklio nesudaro judantys komponentai ir skerspjūvis nekintantis. Galima matuoti kietas daleles. Skysčio savybės įtakos matavimo tikslumui neturi. 	<ul style="list-style-type: none"> Švarumas montuojamų vamzdžių paviršiui būtinas. Darbinėje vamzdžio dalyje oro buvimas negalimas. Matavimo tikslumui įtakos gali turėti skystyje esančios pašalinės dalelės.

Iš informacijos, pateiktos šiose lentelėse matoma, kad esminis poslinkį matuojančių vandens skaitiklių privalumas – jie geba matuoti skysčius, pasižyminčius dideliu klampumu, bei sugeba dirbti aplinkose, apkrautose dideliu slėgiu, pagrindinis trūkumas – dideli gabaritai ir slėgio nuostoliai. Skaitikliai, matuojantys vandens tėkmės greitį, pasižymi gerokai mažesniais slėgio nuostoliais.

Palyginant ultragarsinius ir mechaninius skaitiklius, pirmieji prilygsta ne vien tuo, kad yra gerokai tikslesni, bet taip pat jų eksploataavimo laikas ilgesnis (1.7 pav.). Šių laikų ultragarsiniai apskaitos prietaisai taip pat leidžia gauti renkamus duomenis, apdoroti bei įvairiais aspektais nagrinėti nuotoliniu būdu – tiek internetu, tiek radijo bangomis [16]. Pažangi įspėjimų sistema, pvz., įmontuota ultragarsiniame skaitiklyje, padeda efektyviai aptikti pratekėjimus ir operatyviai juos nutraukti, taip ši sistema padeda pamažinti vartotojų išlaidas.



1.7 pav. Palyginimas tradicinio ir išmanaus matavimo [17]

1.3. Ultragarso bangos fiksacija ir įvertinimas

Matavimui ultragarsu pritaikomi ultragarsiniai jutikliai, kuriais pritaikomos naudojimui ultragarsinės bangos. Jomis galima ištirti medžiagas bei įvairias jų savybes. Ultragarsinio jutiklio darbinė terpė, kuria pagrįstas keitiklio veikimas yra ultragarsas [18]. Tai garso banga, kurios skidimo dažnis viršija 20 kHz, viršutinę žmogaus ausimi girdimo garso dažnio ribą [19]. Ultragarsas pasižymi tokiomis pačiomis savybėmis kaip ir žemojo dažnio bangos – sugeba atsispindėti ir lūžti, taip pat gali būti fokusuojamos pritaikant akustinius lęšius bei reflektorius. Sklindančios bangos greitis priklauso ir nuo medžiagos tamprumo, ir nuo tankio [20]. Taipogi ultragarsas turi ir greičio dispersijos savybę: ultragarso greitis tiesiogiai priklauso ir nuo bangų dažnio. Aukšto dažnio garso bangos pasižymi didesniu slopinimu nei žemojo dažnio bangos. Dėl mažo bangos ilgio ir didelio bangos dažnio, ultragarsą nesunku valdyti panaudojant nesudėtingas technines priemones, bangą sufokusuoti bei spinduliavimo energiją pakreipti reikiama kryptimi [21]. Ultragarsinės bangos sugeba sklirti įvairiose medžiagose (neskaidriose ir skaidriose, dielektrikuose, laidininkuose ir t.t.). Ši savybė leidžia ultragarsines bangas pritaikyti metalų, skysčių, dujų, polimerų bei kitų medžiagų savybėms tirti ir poveikiui joms nustatyti [22].

1.3.1. Pagrindiniai komponentai sudarantys ultragarsinį jutiklį

Ultragarso atstumo jutiklis susidaro iš keturių pagrindinių komponentų (1.8 pav.):

- Daviklio/imtuvo – siunčiančio garso bangas tolyn nuo jutiklio priekinės darbinės dalies. Daviklis taipogi gauna aidus bangų, atsispindėjusių nuo objekto.
- Komparatoriaus (pailgintojo) ir detektoriaus grandinės – gavus atsispindėjusį aidą, apskaičiuojamas atstumą lyginant išėjimo-grįžimo laiko terminus su bangos greičiu.
- Kietosios būsenos, išvesties – generuojamas elektrinis signalas, kuris yra iššifruojamas sąsajos pagrindinio įrenginio, pvz. programuojamo loginio valdiklio (PLC). Iš skaitmeninių jutiklių gaunamas signalas parodo tiriamo objekto buvimą arba nebuvimą darbinėje daviklio srityje. Iš analoginių daviklių gaunamas signalas parodo atstumą iki tiriamojo objekto daviklio srityje.

Pačios pagrindinės jutiklio matavimo savybės: jutiklio jutimo diapazonas visada yra tarpe minimalaus ir maksimalaus matavimo jutimo ribų plotų (1.9 a) pav.).

1.3.2. Minimalus jutiklio jutimo atstumas

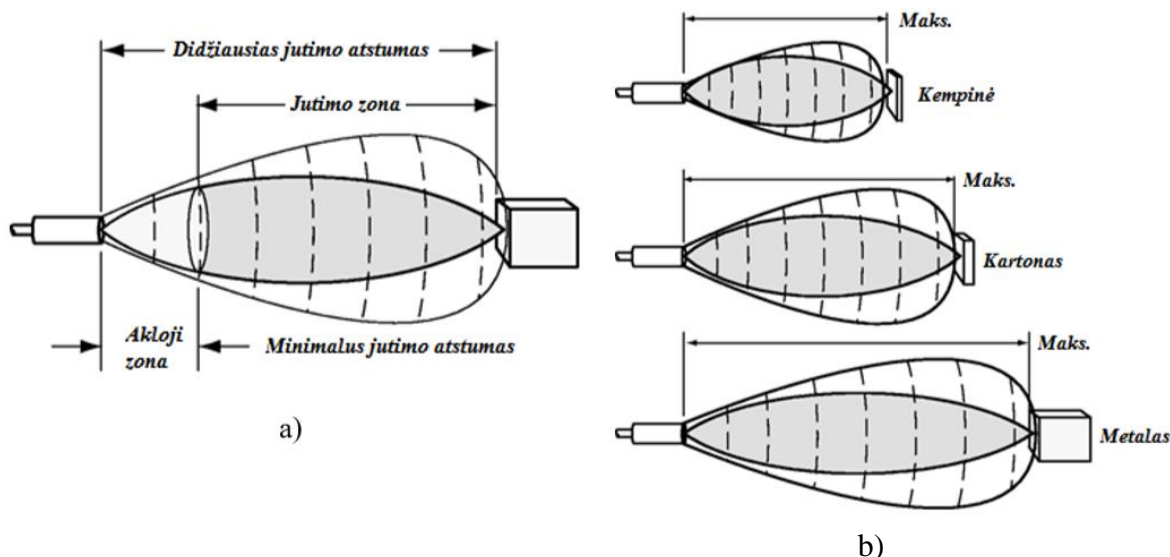
Ultragarsiniai jutikliai šalia priekinės jutiklio dalies turi nenaudotino ploto [23]. Kai spindulys palieka ultragarsinį jutiklį, atsimuša nuo tiriamojo objekto ir grįžta atgal iki jutiklio, jam dar nepabaigus savo transliavimo, jutiklis tikslaus aidą gauti negali. Tai yra nenaudingas plotas ir vadinamas jutiklio akląją zona. Išorinis aklosios zonos kraštas yra mažiausias atstumas iki objekto, kada į jutiklį nebegrįžta atsispindėję aidai [24].



1.8 pav. Ultragarsinio jutiklio sandaros komponentai [24]

1.3.3. Maksimalus jutiklio jutimo atstumas

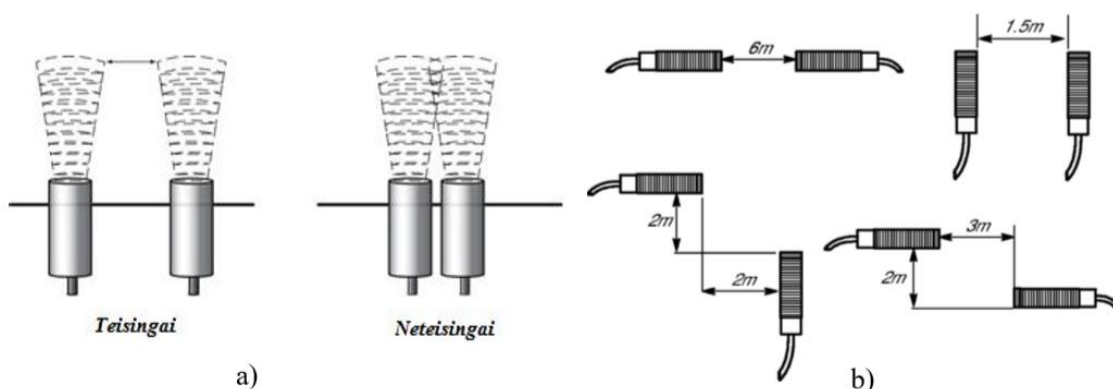
Tiriamąjį objektą – „Taikinio“ dydis ir medžiaga apibrėžia didžiausią jutiklio darbinį atstumą, kuriame jutiklis dar pajėgia užfiksuoti objektą [25]. Kuo sudėtingiau objektas yra jutikliui pastebimas, tuo didžiausias stebėjimo atstumas tampa trumpesniu. Medžiagos, kurios absorbuoja garsą - medvilnė, guma, putos, ir pan. - yra gerokai sunkiau jutiklio aptinkamos nei garsą gerai atspindinčios medžiagos, pvz.: plienas, stiklas ar plastikas (1.9 b) pav.). Jeigu aptinkami ne visi siųsti signalai, tada sugeriamosios medžiagos apriboja maksimalų jutiklio jutimo atstumą.



1.9 pav. Jutiklio darbinės zonos [24]: a) jutiminis atstumas, b) priklausomai nuo atspindinčios medžiagos didžiausias jutiklio jautrumas

1.3.4. Tarpai tarp ultragarso jutiklių

Tarpai tarp ultragarso jutiklių yra nustatomi atsižvelgiant į jų jutiminius kampus. Šie jutikliai privalo būti išdėstyti, kad jų sklaidimo bangos nesikirstų (1.10 a) pav.). Kai yra panaudojamas daugiau nei vienas jutiklis, keletas eksperimentų turi būti atlikta norint nustatyti optimalų atstumą tarp jutiklių. 1.10 b) paveikslėlyje nurodyti dydžiai gali būti pritaikyti tik kaip rekomendacija:



1.10 pav. Rekomenduojami tarpai tarp jutiklių [24] a) ir b)

1.4. Vandens skaitiklio projektavimo etapai

Nuo produkto funkcijos yra pradedamas projektavimas – numatoma produkto paskirtis – vandens srauto matavimas [26]. Šis žingsnis yra būtinas, nes vartotojo poreikiai paverčiami sąlygomis projektavimo užduočiai. Tolimesnis etapas smulkesnių funkcijų sudarymas, kurios nors ir nėra esminės, tačiau būtinos tinkamam projektuojamojo produkto darbui [27]. Šio projekto atveju, tai prietaiso rodmenų sklandus pateikimas vartotojui, vandens skaitiklio korpuso sandarumas, ilgaamžiškumas ir kt. [28]. Tolesnis projektavimo žingsnis, projektuojamojo produkto vidaus sandaros kūrybinių etapų užpildymas (identifikuojami maži produkto moduliai padės kūrėjams lengviau apdoroti naujus produktų projektus bei paskirstyti projektui reikiamas lėšas) [29]:

1 etapas – sudaryti funkcinę produkto struktūrą Ji vaizduoja produkto įvesties bei išvesties schemą. Schemoje pateikiama, kokie materialūs ir energijos ištekliai patenka į skaitiklį, bei koks gautas produktas išeina iš jo.

2 etapas – elementų grupių sudarymas į modulio pagrindines dalis. Sukūrus struktūrą, funkcijos sugrupuojamos į modelio dalis, kurios ateityje bus produkto moduliai arba rinkiniai. Tai būtina siekiant pateikti išsamią prietaiso komponentų paskirtį bei jų darbo metu pateikiant laiko tarpsnį, būtent kada kuris komponentas atliks savo darbą.

3 etapas – apytikrės geometrinės schemos sukūrimas. Šioje schemoje pateikiama kuriamo produkto sandaros esminė hierarchija, kuri skirta apibrėžti pagrindinius komponentus. Šie reikalingi vykdyti darbinėms modulio funkcijoms.

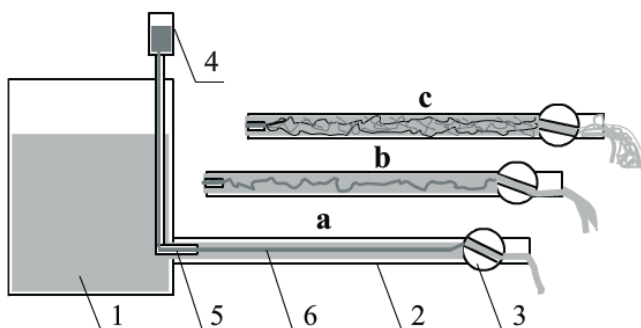
4 etapas – išdėstyti veikimo charakteristikas ir apibrėžti sąveikas. Etapo tikslai: sukurti sąlygas kiekvienam moduliui kurti, įgyvendinti, sukurti prototipą ir išbandyti, taip pat projektuojančiųjų bendradarbiavimą ugdyti.

Šiame skyriuje aptarta įvairovė skaitiklių matuojančių vandens poslinkį ir tėkmę, pateikti jų pranašumai ir trūkumai. Palyginus mechaninius vandens skaitiklius su ultragarsiniais, nustatyta, kad pastarieji pranašesni tikslumu matuojant, duomenų nuskaitymu per atstumą bei galimybe įspėti apie nuotėkį. Toliau buvo aprašyta detekcija ultragarsinės bangos, jos įvertinimas ir jutiklio sandaros komponentai. Šio skyriaus pabaigoje pateiktas buvo vandens skaitiklio projektavimo planas, kurį sudaro keturi etapai: funkcinės šio produkto struktūros sudarymas, elementų sugrupavimas į modelio pagrindines grupes, geometrinės schemos sudarymas ir veikimo charakteristikų išdėstymas.

2. Skaitiklio srautų analizės tyrimo metodika

2.1. Srautų analizė. Hidrauliniai nuostoliai

Skysčio tekėjimo dėsningumus pirmasis eksperimentiškai ištyrė anglų mokslininkas O. Reynoldsas [30]. Eksperimentiniame stende (2.1 pav.) skystis tekėjo išilgai skaidraus horizontalaus vamzdžio. Buvo stebimos dažų dalelių trajektorijos, jas įvedus į skysčio tėkmę. Pagal tai buvo nustatyta, kad esant nedideliems skysčio tėkmės greičiams, dalelės juda tiesiai vamzdžiu – matoma dažų linija (2.1 a) pav.). Tai rodo, kad tekančio skysčio dalelių judėjimo trajektorijos yra lygiagrečios, o nevienodu greičiu judantys skysčio tėkmės sluoksniai nesimaišo tarpusavyje. Toks stabilus skysčio tekėjimo režimas pavadintas laminariniu. Eksperimentiniame stende labiau atidarant ventilių ir taip padidinant tėkmės greitį (2.1 b) pav.), dažų dalelių skystyje trajektorijos keičiasi – tiesios linijos tampa vingiuotomis. Dar padidinus tėkmės greitį (2.1 c) pav.) matoma, kad dažų dalelės pradeda judėti netvarkingai ne tik išilgai, bet ir maišytis skersai vamzdžiui. Toks skysčio judėjimo režimas vadinamas turbulentinu. Tarp laminarinio ir turbulentinio esantis tekėjimas vadinamas tarpiniu.



2.1 pav. Tėkmės režimų tyrimo eksperimentinis stendas. 1 – rezervuaras, 2 – stiklinis horizontalus vamzdis, 3 – ventilis, 4 – dažų rezervuaras, 5 – dažų siauras vamzdelis, 6 – matomos dažų dalelės. Tėkmės režimai: a) laminarinis, b) neapibrėžtasis, c) turbulentinis [30]

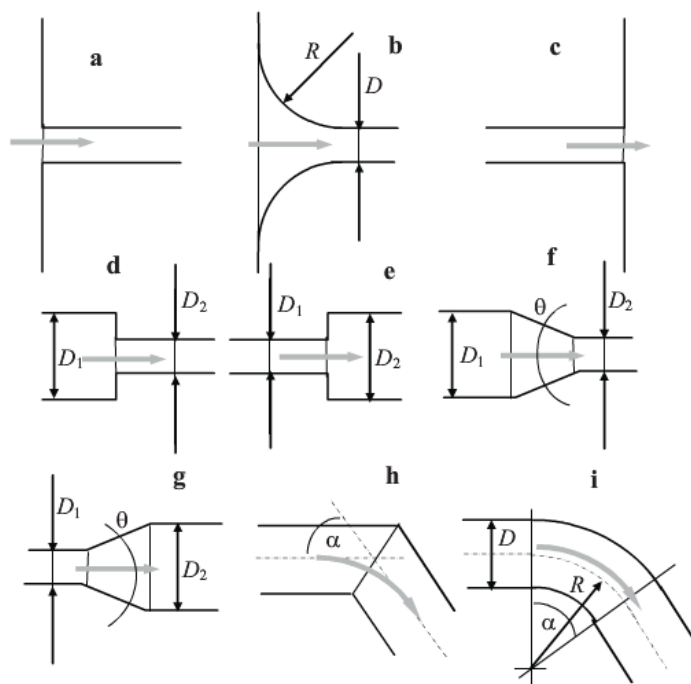
Tekėdamas skystis vamzdyje nesugeba išlaikyti to paties greičio įtekėjimo ir ištekėjimo dalyse, susidaro hidrauliniai nuostoliai. Šiuos nuostolius h_v sukelia įvairios kliūtys (pvz.: vamzdžio skersmens pakitimai, sklendės, posūkiai, diafragmos ir t. t.). Tų kliūčių vietose staiga pasikeičia tėkmės greičių pasidalijimo laukas, atsiranda sūkurių zonos, taip yra netenkama dalies tėkmės energijos. Dažniausiai ši energijos dalis tampa šilumine energija ir skystyje, bei kliūtyje išsisklaido. Vietiniai nuostoliai apskaičiuojami pagal Veisbacho formulę (1):

$$h_v = \zeta \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (1)$$

čia ζ – vietinių nuostolių koeficientas (bedimensis dydis); v – vidutinis tėkmės skerspjūvyje greitis už kliūtis; g – laisvasis kritimo pagreitis.

Kiekvienu atskiru atveju aptekėjimas aplink kliūtis yra gana sudėtingas reiškinys, kurį sunkoka aprašyti analitinėmis lygtimis. Vietinių energijos nuostolių koeficiento reikšmės dažnu atveju yra nustatomos eksperimentiškai, tada pateikiamos žinyuose. Kai hidraulinę sistemą sudaro daug kliūčių, jų susidarantys vietiniai nuostoliai yra sumuojami. Tačiau tai daryti galima tik tada, kai distancija tarp gretimų kliūčių nėra mažesni nei $L = (20 \div 30)D$. Kitu atveju jos viena kitą veikia ir sistemoje dirba kaip viena didelė ir sudėtinga kliūtis, kurios ζ reikšmė nustatyta gali būti tik eksperimento būdu.

Norint energijos nuostolius sumažinti, skysčiui aptekant kliūtį, reikia minimizuoti tėkmės nuo sienelių atitrūkimą, išvengiant susidarymo sūkurinių zonų, todėl dažnai kliūčių briaunos yra užapvalinamos, posūkliai padaromi ne tokie staigūs. Tipinių kliūčių, dažnu atveju pasitaikančių hidraulinėse sistemose pavyzdžius pateikiu 2.2 pav.



2.2 pav. Tipinių hidraulinės sistemos kliūčių schemas: a) aštriomis briaunomis įvadas; b) užapvalintomis briaunomis įvadas; c) aštriomis briaunomis nuvedimas; d) susiaurėjimas – staigus; e) praplatėjimas – staigus; f) susiaurėjimas – sklandus; g) praplatėjimas – sklandus; h) kampas posūkyje; i) užapvalintas kampas posūkyje [30]

Projektuojant hidraulinės sistemos yra naudojama Bernulio lygtis (2). Pagal ją galima nustatyti slėgio pokytį skirtingose hidraulinės sistemos skerspjūvių zonose įvertinant tėkmės greičių kitimą. Hidrauliniai kelio ir vietiniai nuostoliai, tiksliausiai yra nustatomi eksperimentiniu būdu.

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + \sum h_k + \sum h_v \quad (2)$$

čia z – skerspjūvio centro aukštis nuo koord. sistemos pradžios; p – skysčio slėgis; α - Koriolio koeficientas (juo apibūdinamos kinetinės energijos pasiskirstymo skysčio tėkmės skerspjūvyje savybės); $\sum h_k$ – hidrauliniai kelio nuostoliai; $\sum h_v$ – vietiniai nuostoliai.

2.2. Eksperimentinės tyrimo dalies metodas (ISO 4064-1/OIML R 49-1, 6.5)

Eksperimento tikslas – nustatyti ultragarsinio skaitiklio slėgio nuostolius. Šiam eksperimentui naudojamas ISO 4064-1/OIML R 49-1, 6.5 slėgio nuostolių nustatymo standartas, pagal kurį sudaroma matavimo įranga [31].

Taip pat nustatyti didžiausią slėgio nuostolį per vandens skaitiklį esant bet kokiam srautui tarp Q_1 ir Q_3 , bei patikrinti ar maksimalūs slėgio nuostoliai yra mažesni nei 0,063 MPa (0,63 baro). Slėgio nuostolių apibrėžimas – tai slėgis, kurį per bandomąjį vandens skaitiklį, matuoklius, su bandymu susijusius kolektorius ir jungtis praranda tekantis skystis (išskyrus vamzdynus, sudarančius bandymo

sekcija). Bandymui skaitikliai montuojami srauto tėkme į priekinę skaitiklio dalį, bet jei reikia, gali būti sumontuojami ir atvirkštiniam srautui.

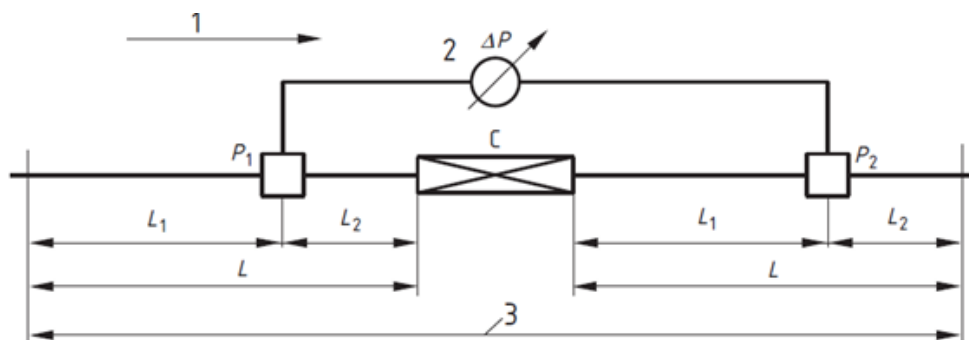
Slėgio nuostolių bandymo įranga

Įranga reikalinga atlikti slėgio nuostolių bandymams, susideda iš vamzdyno (kuriame yra bandomasis vandens skaitiklis), matavimo atkarpos ir priemonių, kuriomis nustatomas pastovus srautas per skaitiklį. Matavimo atkarpą sudaro viršutinis ir apatinis tam tikrų ilgių vamzdžiai, jų galiniai sujungimai ir slėgio regulatoriai, taip pat vandens skaitiklis bandymo metu. Prie matavimo atkarpos įleidimo ir išleidimo vamzdžių turi būti pritvirtintos panašios konstrukcijos ir matmenų slėgio regulatoriai. Slėgio kanalai turi būti išgręžti reikiamu kampu prie vamzdžio sienelės. Čiaupai turi būti ne didesni kaip 4 mm arba mažesni kaip 2 mm. Jei vamzdžio skersmuo yra mažesnis arba lygus 25 mm, čiaupai turi būti kuo arčiau 2 mm skersmens. Skylės skersmuo turi išlikti pastovus ne mažiau, kaip per du ištraukimo vamzdžio skersmenis, prieš srautui patenkant į vamzdį. Per vamzdžio sienelę išgręžtos skylės turi būti be užvartų kraštuose. Skylės briaunos turi būti aštrios, be užvartų ar nuožulų.

Vieną slėgio matavimo įrenginį galima naudoti daugumai bandymų. Kad būtų pateikti patikimesni duomenys, kiekvienoje matavimo plokštumoje aplink vamzdžio vamzdį galima sumontuoti keturis ar daugiau slėgio čiaupų. Jie turi būti sujungti tarpusavyje, naudojant vamzdžių formos jungtis, kad būtų gautas tikrasis statinis slėgis vamzdžio skerspjūvyje.

Matuoklis turi būti sumontuotas pagal gamintojo instrukcijas tarp įtekėjimo ir ištekėjimo vamzdžių, kurie jungiami su vandens skaitikliu, ir jie turi turėti tokį patį vidinį vardinį skersmenį, atitinkantį skaitiklio jungtį. Jungiamųjų vamzdžių ir skaitiklio skersmens skirtumas gali įtakoti matavimo tikslumą.

Abu vamzdžiai turi būti apvalūs ir lygūs, kad būtų maksimaliai sumažinti slėgio nuostoliai vamzdyje. Minimalūs matmenys čiaupų montavimui pavaizduoti 2.3 pav. Įeinančio vamzdžio ilgis turi būti mažiausiai dešimties vamzdžių skersmenų ilgio ($L_1 \geq 10 D$, čia D – vamzdžio diametras), kad būtų išvengta klaidų įėjimo jungtyje ir mažiausiai penkių vamzdžių skersmenų ilgio prieš skaitiklį ($L_2 \geq 5 D$), kad išvengtume klaidų, atsiradusių įvedant į skaitiklį. Skaitiklio srauto išėjimo pusėje vamzdžio ilgis turi būti ne mažesnis kaip dešimt skersmenų pasroviui nuo matuoklio ($L_1 \geq 10 D$), kad būtų galima sureguliuoti slėgį pagal bet kokius matuoklio apribojimus ir mažiausiai penkių skersmenų ilgio prieš bandymo atkarpos galą ($L_2 \geq 5 D$), kad būtų išvengta bet kokio tolesnių jungčių poveikio.



2.3 pav. Slėgio nuostolių bandymo matavimo atkarpos išdėstymas. 1 – tėkmės kryptis; 2 – diferencialinis manometras; 3 – matuojamoji sekcija; P_1 ir P_2 – slėgio jutikliai; C – vandens skaitiklis ir kolektoriai [31]

Šiose specifikacijose pateikiami minimalūs ir didesni ilgiai, tačiau reikia vengti pernelyg didelio slėgio nuostolio dėl ilgų vamzdžių ilgių. Kiekviena toje pačioje plokštumoje esanti slėgio perpylimo grupė sujungiama be nuotėkio vamzdžio į vieną diferencinio slėgio matavimo prietaiso pusę, pvz. diferencinio slėgio siūstuvą arba manometrą. Taip pat turi būti numatytas oro išleidimas iš matavimo prietaiso ir jungiamųjų vamzdžių. Diferencinio slėgio įtaisas turi turėti neapibrėžtį, leidžiančią nustatyti didžiausią slėgio nuostolį, kai padidinta neapibrėžtis yra ne didesnė kaip 5% ($k = 2$).

2.2.1. Bandymo procedūra

Skaitiklis turi būti įrengtas bandymo įrenginio matavimo sekcijoje. Srautas nustatomas ir visas oras išvalomas (nuorinimo būdu) iš bandymo atkarpos. Taip pat visas oras turi būti pašalintas ir iš slėgio nuėmiklių bei siūstuvo jungiamųjų vamzdžių. Tam, kad būtų išvengta kavitacijos ar oro išsiskyrimo, turi būti užtikrintas bent 100kPa (1 bar) slėgis. Skystis turėtų stabilizuotis reikiamoje temperatūroje. Stebint diferencinį slėgį, srautas turėtų būti keičiamas tarp Q_1 ir Q_3 . Srautas rodo didžiausią slėgio nuostolį Q_t , jį reikia pažymėti kartu su išmatuotu slėgio nuostoliu ir skysčio temperatūra. Paprastai Q_t bus išmatuotas ir lygus Q_3 . Kombinuotiems matuokliams didžiausias slėgio nuostolis, atsirandantis prieš pat O_{x2} .

Didžiausias slėgio sumažėjimas turėtų būti matuojamas maksimaliu išplėsto neapibrėžtumo koeficientu $k = 5\%$, su aprėpties koeficientu $k = 2$.

Kadangi dalis slėgio nuostolių susidaro bandymo atkarpos vamzdyje ir tarpinėse jungtyse, šie nuostoliai turėtų būti nustatyti ir atimami iš išmatuotų slėgio nuostolių, gautų matuojant su skaitikliu. Jei yra žinomas vamzdžio skersmens šiurkštumas ir ilgis tarp tarpiklių, slėgio nuostoliai gali būti apskaičiuojami pagal standartinę slėgio nuostolių formulę, tačiau veiksmingesnis būdas yra slėgio nuostolius matuojant per vamzdžius. Bandymo sekcija gali būti pertvarkyta taip, kaip parodyta 2.4 paveiksle.

Šis bandymas atliekamas prijungiant srauto įtekėjimo ir ištekėjimo vamzdžius kartu su slėgio matuokliu (atsargiai išvengiant jungties iškyšos į vamzdžio angą arba nesuderinus dviejų paviršių), ir matuojant vamzdžio atkarpos slėgio nuostolius nurodytam srautui) (2.4 pav. a)) (3).

$$\Delta P_1 = \Delta PL_1 + \Delta PL_2 \quad (3)$$

čia ΔP_1 – slėgio nuostoliai matuojamame ruože be skaitiklio; ΔPL_1 – slėgio nuostoliai ištekėjimo vamzdyje; ΔPL_2 – slėgio nuostoliai įtekėjimo vamzdyje.

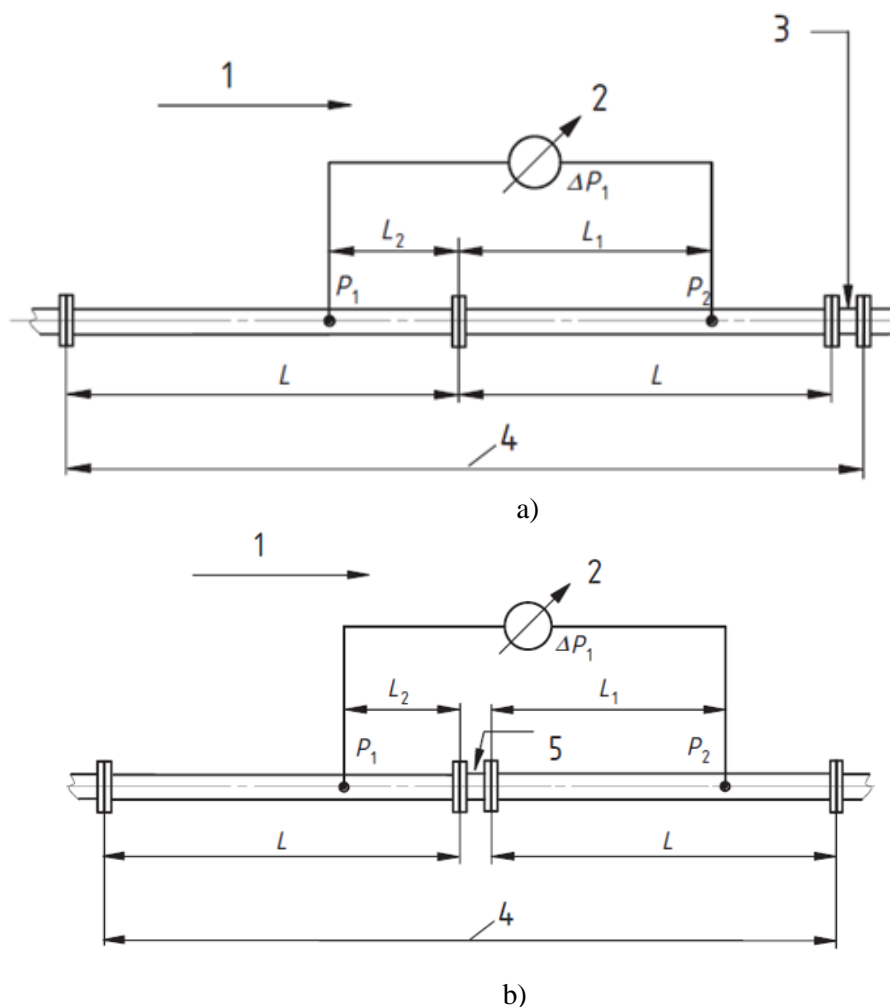
PASTABA Vandens skaitiklio nebuvimas sutrumpins matavimo sekciją. Jei teleskopinės atkarpos nėra sumontuotos ant bandymų įrenginio, tarpas gali būti užpildytas įterpiančią laikiną vamzdžio atkarpą, kurios ilgis yra toks pats kaip vandens skaitiklis, arba pats vandens skaitiklis (2.4 pav. a)) (4) ir (5).

$$\Delta P_2 = \Delta PL_1 + \Delta PL_2 + \Delta P_{skaitiklio} \quad (4)$$

$$\Delta P_2 - \Delta P_1 = (\Delta PL_1 + \Delta PL_2 + \Delta P_{skaitiklio}) - (\Delta PL_1 + \Delta PL_2) = \Delta P_{skaitiklio} \quad (5)$$

čia ΔP_2 – slėgio nuostoliai matuojamame ruože su skaitikliu; $\Delta P_{skaitiklio}$ – skaitiklio slėgio nuostoliai.

Vamzdžio ilgio slėgio nuostolius galime nustatyti pagal anksčiau nustatytą srautą Q_t .



2.4 pav. Slėgio nuostolių nuostolių matavimo schema: a) pirminis matavimas be skaitiklio, b) matavimas sumontavus skaitiklį (1 – tėkmės kryptis; 2 – diferencialinis manometras; 3 – vandens skaitiklis išėjimo dalyje arba laikinas vamzdis; 4 – matuojamoji zona; 5 – vandens skaitiklis) [31]

Faktinio vandens skaitiklio ΔP skaičiavimas

Vandens skaitiklio slėgio nuostoliai (ΔP_t) apskaičiuojami pagal (6) formulę:

$$\Delta P_t = \Delta P_{m+p} - \Delta P_p \quad (6)$$

čia ΔP_{m+p} – išmatuotas slėgio sumažėjimas Q_t su sumontuotu vandens skaitikliu; ΔP_p – slėgio nuostoliai, išmatuoti be skaitiklio Q_t atveju.

Jei išmatuotas srautas per bandymą arba nustatant vamzdžio slėgio nuostolius nėra lygus pasirinktam bandymo srautui, išmatuotas slėgio sumažėjimas gali būti koreguojamas pagal numatomą Q_t , atsižvelgiant į kvadratinės taisyklės (7) formulę:

$$\Delta P_t = \frac{Q_t^2}{Q_m^2} \cdot \Delta P_m \quad (7)$$

čia Q_m – išmatuotas srautas; ΔP_m – išmatuoti slėgio nuostoliai.

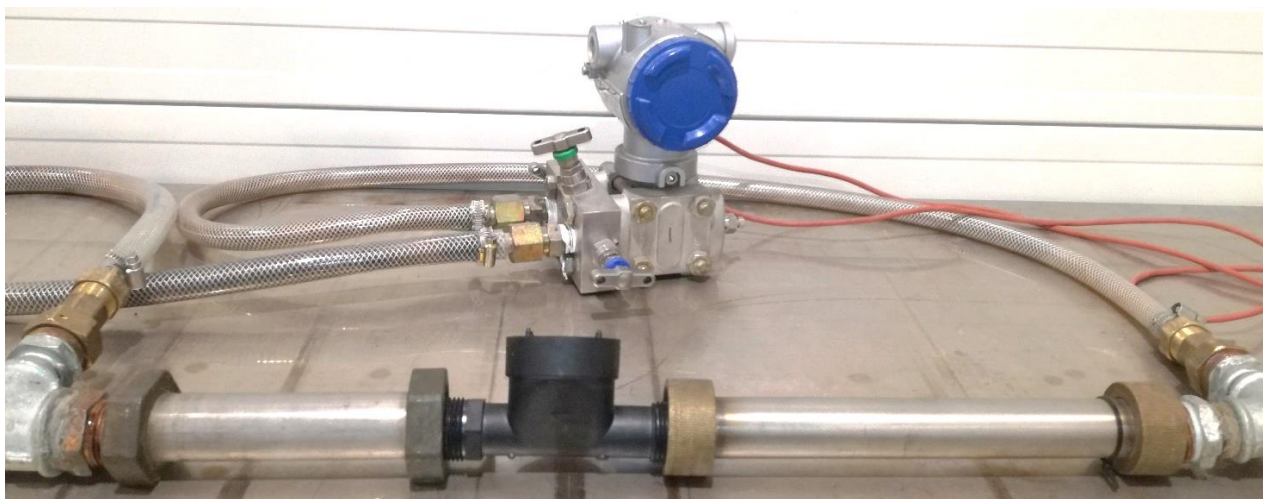
Jei slėgio nuostoliai matuojami per kombinuotą matuoklį, ši formulė taikoma tik tada, kai perjungimo įtaiso būklė lygi Q_t srautui, kaip ir išmatuotam srautui. Atkreipiame dėmesį, kad vamzdžio slėgio

nuostoliai ir slėgio vamzdžio slėgio nuostoliai turi būti koreguojami iki to paties srauto, prieš skaičiuojant skaitiklio slėgio nuostolius ΔP .

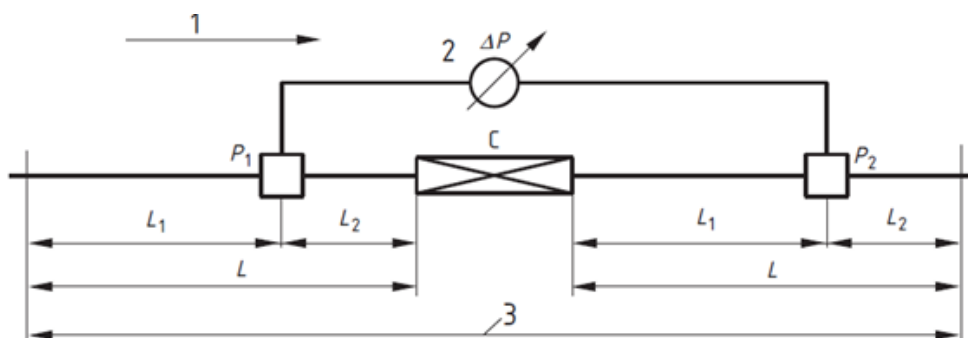
Bet kokio srauto tarp Q_1 ir Q_3 , įskaitant imtuvą, slėgio praradimas neturi viršyti 0,063 MPa (0,63 baro).

2.3. Eksperimentinė tyrimo dalis

Eksperimento tikslas – išmatuoti ultragarsinio vandens skaitiklio slėgio nuostolius (šiuos rezultatus palyginsiu su kompiuteriu atliekamomis simuliacijomis). Bandymui panaudotas įmonės „Axioma Metering“ suprojektuotas vandens skaitiklių kalibravimo stendas. Eksperimentas atliktas pagal ISO 4064-1/OIML R49-1, 6.5 standartą, kuris buvo aprašytas 2.1 skyriuje. Eksperimentui naudojamas diferencialinis skaitmeninis manometras – INERIS 01 ATEX 0074 X. Stende sumontuotos slėgio matavimo įrangos su skaitikliu junginys pateiktas 2.5 pav. Jis buvo surinktas pagal 2.6 pav. pateiktą schemą.



2.5 pav. Stende sumontuotos slėgio matavimo įrangos su skaitikliu junginys skirtas eksperimentui atlikti



2.6 pav. Slėgio nuostolių bandymo matavimo atkarpos išdėstymas: 1 – tėkmės kryptis; 2 – diferencialinis manometras; 3 – matuojamoji sekcija; P_1 ir P_2 – slėgio jutikliai; C – vandens skaitiklis ir kolektorai [31]

Surinkto stendo veikimo principas (2.6 pav): Stendo jungčių ilgiai L atitinka 2.1 skyriuje aprašyto standarto reikalavimus. Vandens tėkmė – iš kairės pusės į dešinę (1). Bandymo metu, vanduo teka pro skaitiklį C . Tekėdamas vanduo pro trišakius kairėje ir dešinėje pusėje pasiekia skaitmeninį diferencialinį manometrą. Juo yra nustatomas vandens slėgio skirtumas tarp skaitiklio tėkmės įėjimo ir išėjimo pusės. Bandymo metu, matavimai buvo atlikti du kartus. Matavimo patikimumas vertinamas kalibruoto diferencialinio manometro atliktu slėgio skirtumo matavimu. Šio prietaiso

kalibravimas atliekamas kas vienerius metus. Eksperimentą atlieku tik su geriausius rezultatus pasiekusiu modeliu, todėl eksperimento rezultatus pateiksiu 4.2 skyriuje.

2.4. Skaitiklio alternatyvaus modelio parinkimo metodika

2.4.1. Objekto reikalavimų optimizavimas pageidaujamo funkcijos metodu

Pageidaujamo funkcija yra skirta skirtingų lygčių optimizavimui. Šios funkcijos apibrėžimą sukūrė Harrington'as 1965 metais. Funkcines formas aprašė Derringer'is ir Suich'as 1980 metais [32]. Pageidaujamo funkcija naudojama įprastų funkcijų pavertimui į skalę tarp 0 ir 1, šias funkcijas sujungiant panaudojus geometrinį vidurkį ir bendrą lygtį optimizuojant. Pagrindinis funkcijos privalumas, keleto funkcijų vienu metu optimizavimas siekiant gauti geriausią rezultatą [33]. Tarkime, kad yra R lygtis arba funkcija, kuri yra vienu metu optimizuojama žymima $f_r(x)$ ($r = 1...R$). Kiekvienai iš R funkcijai yra sukonstruojama individuali pageidaujamo funkcija pagal siekiamą reikšmę: maksimalią, minimalią arba tikslinę [34].

Kai siekiama gauti kuo didesnę reikšmę, yra naudojama (8) formulė:

$$d_r^{max} = \begin{cases} 0 & \text{jei } f_r(x) \leq L \\ \left(\frac{f_r(x) - L}{T - L} \right) & \text{jei } L \leq f_r(x) \leq T \\ 1 & \text{jei } f_r(x) \geq T \end{cases} \quad (8)$$

čia $f_r(x)$ – optimizuojama lygtis; L – apatinė riba; T – tikslas.

Kai siekiama gauti kuo mažesnę reikšmę, yra naudojama (9) formulė:

$$d_r^{min} = \begin{cases} 0 & \text{jei } f_r(x) \geq L \\ \left(\frac{U - f_r(x)}{U - T} \right) & \text{jei } T \leq f_r(x) \leq U \\ 1 & \text{jei } f_r(x) \leq T \end{cases} \quad (9)$$

čia U – viršutinė riba.

Kai siekiama gauti nominalią vertę, yra naudojama (10) formulė:

$$d_r^T = \begin{cases} 0 & \text{jei } f_r(x) \geq U \text{ arba } f_r(x) \leq L \\ \left(\frac{U - f_r(x)}{U - T} \right) & \text{jei } T \leq f_r(x) \leq U \\ \left(\frac{f_r(x) - L}{T - L} \right) & \text{jei } L \leq f_r(x) \leq T \end{cases} \quad (10)$$

Atsižvelgiant į tai, kad R pageidaujamo funkcijos $d_1...d_r$ yra $[0,1]$ skalėje, jas galima sujungti į bendrą pageidaujamo funkciją D [35]. Vienas iš būdų šią funkciją sudaryti, yra geometrinis vidurkis (11):

$$D = \left(\prod_{r=1}^R d_r \right)^{\frac{1}{R}} \quad (11)$$

Geometrinis vidurkis pasižymi tuo, kad jei kuris iš modelių yra nepageidaujamas ($d_r = 0$), tai bendras pageidaujamumas taip pat bus nepriimtinas ($D = 0$). Kitu atveju mes gauname vertę skalėje $[0,1]$ ir pagal didžiausią gaunamą reikšmę įvertiname, kuris modelių rinkinys mums yra priimtinausias [36].

2.4.2. Pageidaujamo funkcijos panaudojimas alternatyvaus modelio parinkimui

Šiame projekte tinkamiausias rezultatas bus parinktas įvertinus tris reikalavimus:

- 1) Kuo mažesnius slėgio nuostolius (ne didesnius nei 0,25 bar);
- 2) Pakankamą maksimalų vandens tėkmės greitį (ne mažesnę nei 9,5 m/s);
- 3) Pakankamą minimalų vandens tėkmės greitį (ne mažesnę nei -0,5 m/s).

Šiems reikalavimams tinkamai įvertinti naudoju pageidaujamo funkciją. Pagal pagrindinius vandens skaitiklio reikalavimus ir įvardintų sąlygų tarpusavio įtaką, sudarau lentelę (2.3 lentelė), kurioje pateikti pagrindiniai dydžiai reikalingi tinkamumo koeficientui nustatyti.

2.3 lentelė. Pagrindiniai dydžiai reikalingi tinkamumo koeficiento nustatymui

Tiriamas parametras	Svarbos koeficientas	Tobulinimo kryptis	Tikslas	Ribinė vertė	Tikslas - viršutinė ar apatinė riba
Slėgio perkrytis, bar	6	Kuo mažesnė vertė	0,25	0,35	Viršutinė
Maksimalus tėkmės greitis, m/s	1	Kuo didesnė vertė	9,5	8	Apatinė
Minimalus tėkmės greitis, m/s	3	Kuo didesnė vertė	-0,5	-3,5	Apatinė

3. Skaitiklio skaičiuojamojo modelio sudarymas ir verifikavimas

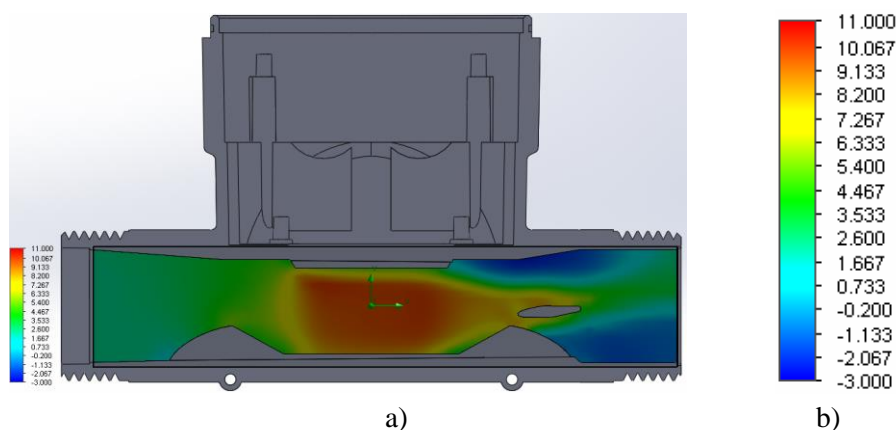
3.1. Skaitiklio skaičiuojamojo modelio sudarymas

3.1.1. Simuliacijoms naudota programa ir skaičiavimo metodas

SolidWorks Flow Simulation yra programinis simuliacijų paketas, skirtas spręsti skaičiuojamosios skysčių dinamikos (Computational Fluid Dynamics – CFD) uždavinius kompiuteriu, taip sutaupant sąnaudas realių modelių gaminimui, bei bandinių testavimo įrangai [37]. Naudodamos šią programą, įmonės gali įvesti savo produktus į rinką, neaukojant kokybės ar našumo [38]. Naudodamas SolidWorks Flow Simulation paketą, atlieku ultragarso vandens skaitiklio korpuso ir įdėklo srautų tėkmės analizę, siekdamas nustatyti ir užtikrinti minimalius slėgio nuostolius, pakankamą vandens tėkmės greitį ir minimalius sukurius matuojamoje skaitiklio dalyje. Simuliacijai naudoju skaitiklio korpusą ir įdėklą, nes vandens srautą matuojamoje zonoje formuoja abu šie elementai.

3.1.2. Modelio pradinių sąlygų parinkimas

Atlikdamas vandens skaitiklio korpuso ir įdėklo srautų tėkmės analizę, naudoju vidinės srautų analizės tipą, nes vandens tėkmė yra tiriama uždaramame vamzdyje [39]. Tiriamąjį skystį parenku vandenį. Vamzdžio galams uždaryti panaudoju „Create Lids“ komandą. Prie „Boundary Conditions“ įvedu skaičiuojamąjį vandens srautą: $6,944 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ ($2,5 \text{ m}^3/\text{h}$ pavertęs į m^3/s gaunu šią vertę). Prie skaičiavimo rezultatų nurodau vidutinių įėjimo ir išėjimo plotų slėgių nustatymą, bei jų skirtumo apskaičiavimą [40]. Slėgio nuostolius nustatau iš simuliacijų lango atlikęs skaičiavimus, o tėkmės greičio pasiskirstymo vaizdą iš skerspjūvio vaizdų skilties (3.1 pav. a)). Tėkmės srautų pasiskirstymo vaizduose imu tik kanalo vaizdus. Visuose vaizduose greičių pasiskirstymo skalę paimu tarp -3 m/s ir 11 m/s (3.1 pav. b)). Į rezultatų lentelę pateikiu ekstremines greičių reikšmes ultragarso signalo matuojamojoje zonoje.



3.1 pav. Vandens tėkmės greičio pasiskirstymas skaitiklyje : a) pilnas skaitiklio vaizdas; b) tėkmės greičio skalė

3.1.3. Baigtinių elementų tinkelio jautrumo analizė

Siekdamas optimizuoti skaičiavimų laiką neprarandant rezultatų tikslumo, atlieku baigtinių elementų tinkelio įtakos rezultatui jautrumo analizę. Šiai užduočiai paimu vieną modelį ir atlieku jo skaičiavimus keisdamas skaičiavimo tinkliuko lygmenį nuo trečio iki septinto, bei įvertinu gautus rezultatus: skaičiavimo trukmę, slėgio perkrytį ir ekstreminius (min ir max) greičius (3.1 lentelė). Taip pat suskaičiuoju paklaidą nuo 7 skaičiavimo tinkliuko reikšmės. Remdamasis gautais rezultatais,

skaičiavimams parenku penktąjį skaičiavimo lygmenį, nes su juo paklaidos neviršija 5% vertės ir skaičiavimo trukmė yra trumpiausia.

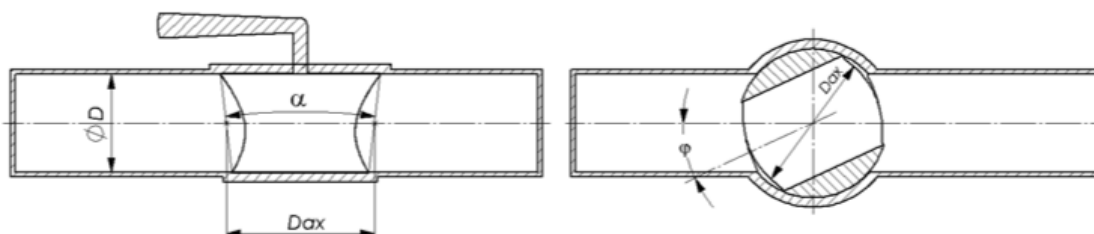
3.1 lentelė. Baigtinių elementų tinklelio jautrumo analizė

Skaičiavimo tinkliuko lygmuo	Skaičiavimo trukmė	Slėgio perkrytis, bar	Kraštutiniai greičiai, m/s		Paklaida, %
			Maks.	Min.	
3	0 min 20 s	0,3254	10,11	-3,057	5,581
4	1 min 02 s	0,3314	9,978	-3,624	7,528
5	3 min 15 s	0,3041	9,964	-3,465	-1,330
6	12 min 06 s	0,3081	9,984	-3,681	-0,032
7	36 min 46 s	0,3082	9,973	-3,572	0

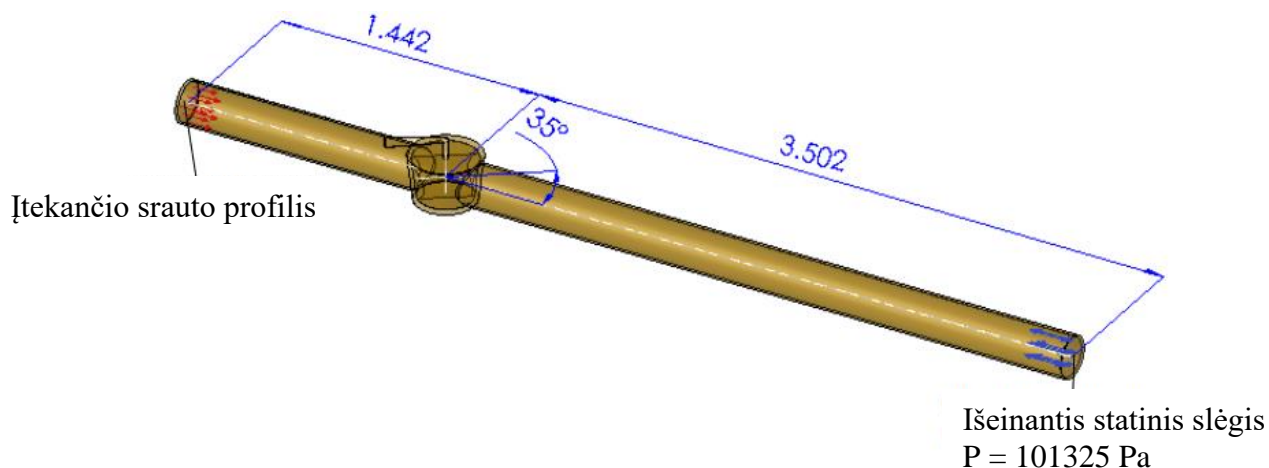
3.2 Skaitiklio modelio validavimas

Siekiant patvirtinti skaičiuotinių modelių atitikimą su realiais modeliais, būtina atlikti skaičiuotinio modelio validavimą. Šis procesas yra būtinas tam, kad galėtume patvirtinti simuliacijų rezultatų teisingumą ir tolimesniam modifikacijų atlikimui naudoti CFD programinę įrangą išvengdami realių modelių gamybos kiekvienai modifikacijai.

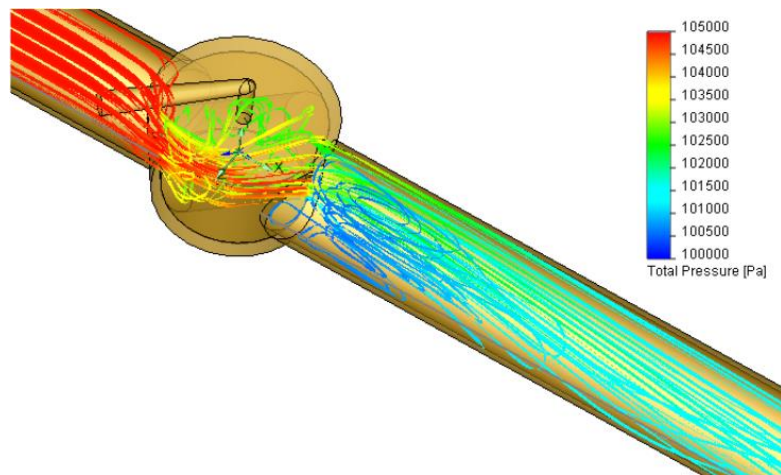
Skaičiuotinio modelio validavimui panaudojame vamzdį su reguliuojamo kampo sklende [41]. Šiame modelyje yra zonų, kuriose srautas yra sparčiai suspaudžiamas ir atleidžiamas keičiant sklendės atidarymo kampus (3.2 pav.). Vamzdžio abiejų galų diametrai vienodi ($D = 206 \text{ mm}$, $D_{ax} = 1,515D$, $\alpha = 13^{\circ}40'$), modelio matmenys pateikti 3.3 pav. sklendės pasukimo kampas yra keičiamas nuo 15° iki 55° [42]. Bandymui imtas srautas – $25 \text{ m}^3/\text{h}$. Tėkmės trajektorijos pagal slėgį ir pagal greitį pateiktos 3.4 pav. ir 3.5 pav. 3.2 lentelėje pateikti dviejų matavimų rezultatai. Taip pat skirtumo įvertinimas tarp realaus ir simuliuoto modelio.



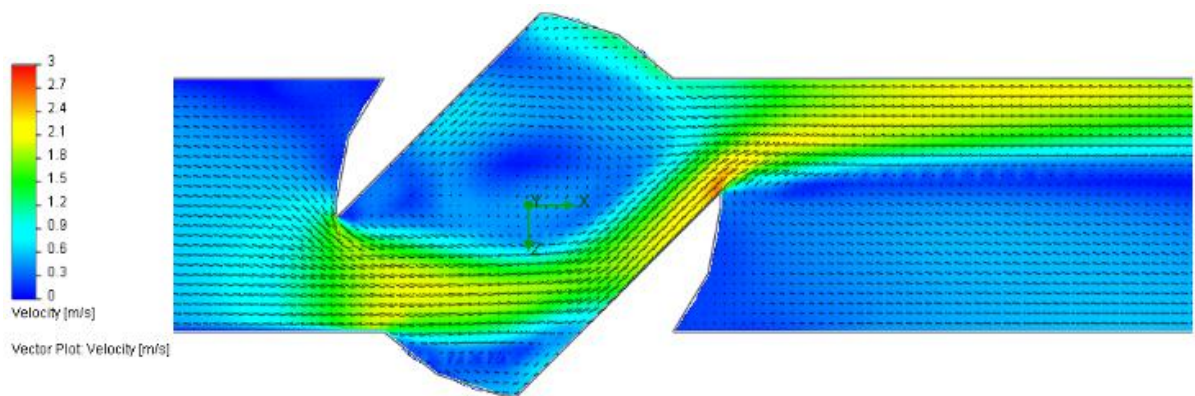
3.2 pav. Vamzdžio su sklende, skirto skaičiuotinio modelio validavimui, schema [40]



3.3 pav. Vamzdžio su sklende matmenys naudoti bandymui ir skaičiavimo simuliacijoms [41]



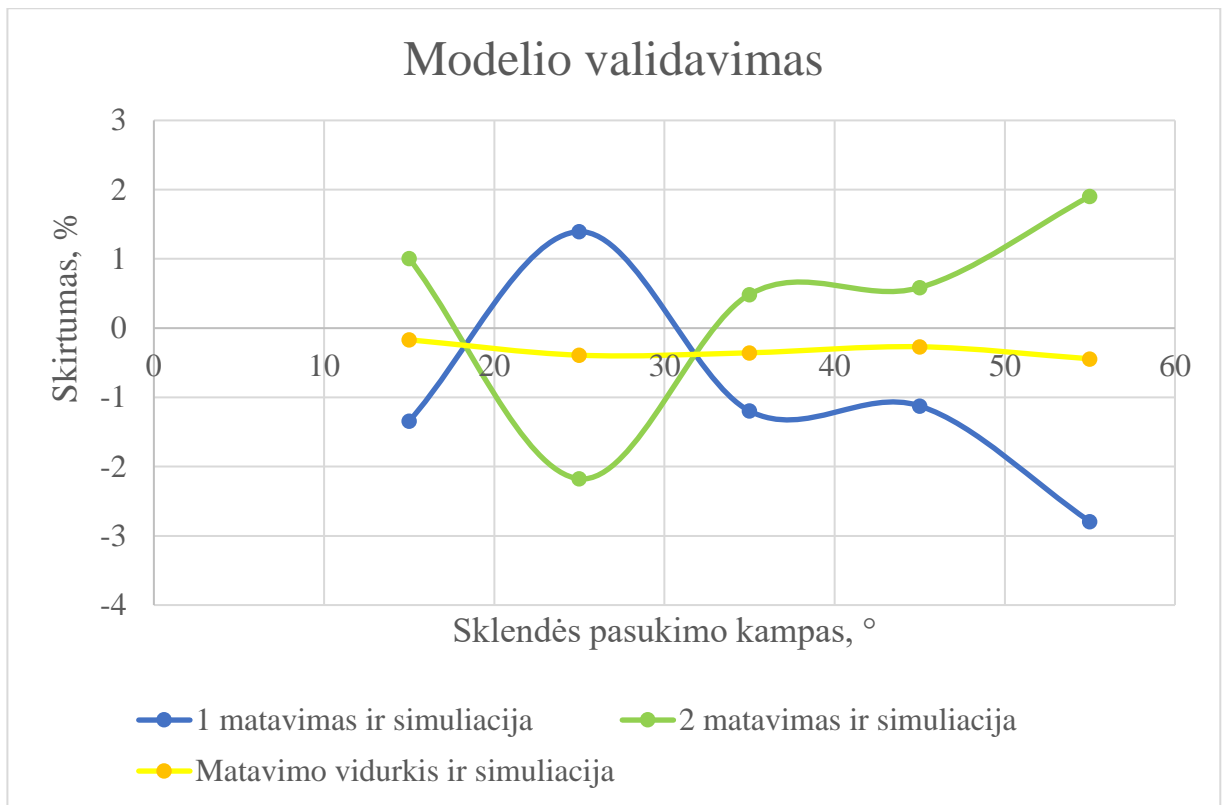
3.4 pav. Tėkmės trajektorijos nuspaldvotos pagal absoliutinį slėgį, kai sklendė atidaryta 45° [41]



3.5 pav. Vožtuvo vandens tėkmės kontūrai ir kryptys, kai sklendė atidaryta 45° [41]

3.2 lentelė. Simuliacijos ir eksperimento palyginimas [41]

Sklendės pasukimo kampas, °	Slėgio nuostoliai, mbar			Skirtumas, %		
	Realūs		Simuliacija	Tarp simuliacijos ir 1 matavimo	Tarp simuliacijos ir 2 matavimo	Tarp simuliacijos matavimo vidurkio
	1 matavimas	2 matavimas				
15	0,294	0,301	0,298	-1,342	1,006	-0,168
25	0,764	0,737	0,754	1,393	-2,176	-0,391
35	2,014	2,049	2,039	-1,196	0,486	-0,356
45	5,515	5,611	5,578	-1,124	0,586	-0,269
55	16,45	17,25	16,92	-2,794	1,905	-0,443



3.6 pav. Simuliacijos ir eksperimentinio modelio paklaidų grafikas [41]

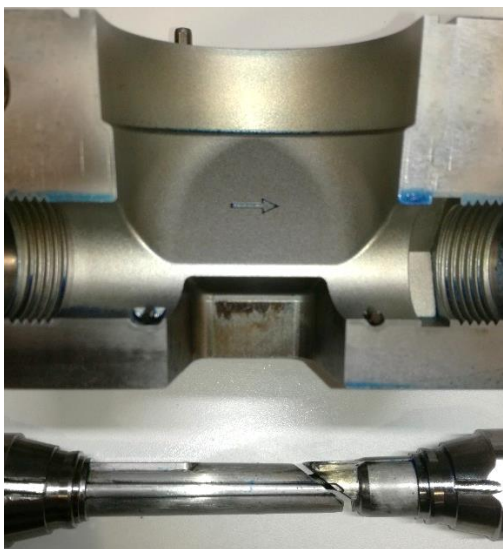
Iš 3.2 lentelės ir 3.6 pav. matome, kad realių matavimų skirtumas tarp rezultatų yra nežymus, kas sudaro 2,79 % padidėjimą tarp simuliacijos ir realių rezultatų, bei 0,44 % tarp simuliacijų ir matavimo rezultatų vidurkio.

4. Skaitiklio srautų analizė ir alternatyvaus modelio parinkimas

4.1 Korekcijų grupės

Vandens skaitiklio modelis turi atitikti reikalavimus ir sąlygas:

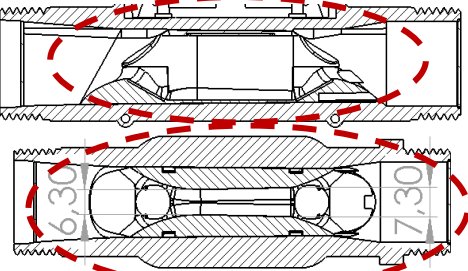
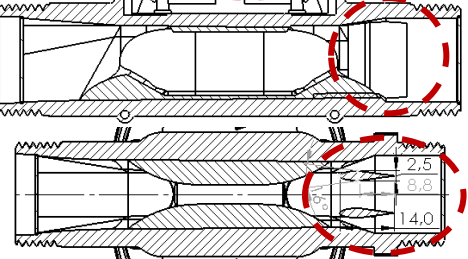
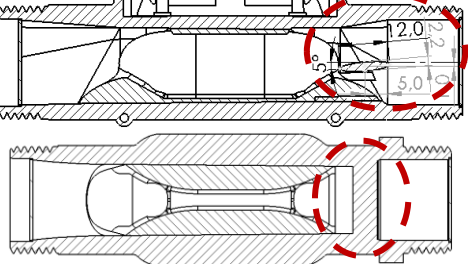
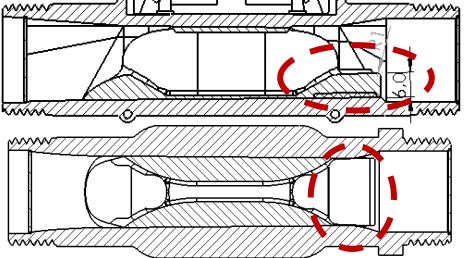
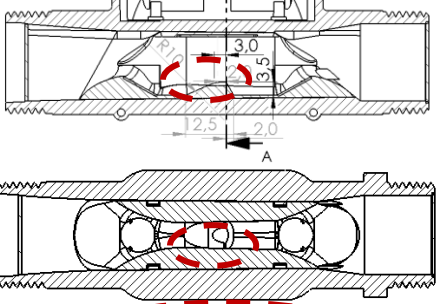
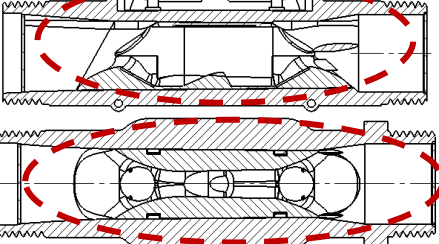
1. Analizuojant konstrukcinių sprendimų įtaką suprojektuoti skaitiklio korpuso ir įdėklo modelį, kurį būtų galima išlieti liejimo formoje (turi būti galimybė konstrukciją su visais pridėtais komponentais išimti iš liejimo formos) (4.1 pav.).
2. Analizuojant konstrukcinių sprendimų įtaką suprojektuoti skaitiklio korpuso ir įdėklo modelį, turintį kuo mažesnius slėgio nuostolius (ne didesnius nei 0,25 bar).
3. Analizuojant konstrukcinių sprendimų įtaką suprojektuoti skaitiklio korpuso ir įdėklo modelį, turintį pakankamą vandens tėkmės greitį matuojamojoje skaitiklio dalyje (maksimalų ne mažesnę nei 9,5 m/s ir minimalų nemažesnę nei -0,5 m/s).
4. Analizuojant konstrukcinių sprendimų įtaką suprojektuoti skaitiklio korpuso ir įdėklo modelį, turintį minimalius sukurius matuojamojoje skaitiklio dalyje.



4.1 pav. Skaitiklio korpuso liejimo formos dalys

Pagal pateiktus reikalavimus buvo sudarytos šešios korekcijų grupės (4.1 lentelė). Jose buvo sukurta nuo šešių iki šešiolikos skirtingų skaitiklio modelių siekiant surasti geriausią rezultatą. Šie modeliai buvo sudaromi atlikus hidrodinamikos elementų įtakos slėgio perkryčiui vamzdyje literatūros analizę ir prieš patvirtinant kiekvienos versijos elementų dydį atlikus jų optimizavimą. Keletas modelio variantų buvo įkelta ir iš tarpinių optimizavimo rezultatų. Iš viso buvo sudaryti šešiasdešimt trys skirtingi variantai. Rezultatų įvertinimui buvo įvestas tinkamumo koeficientas (pageidaujamo funkcijos rezultatas, išskaičiuotas pagal pateiktus reikalavimus).

4.1 lentelė. Sudarytos skaitiklio korekcijų grupės

Korekcijos grupė	Atlikta korekcija	Korekcijos zona
1	Įdėklo geometrijos korekcijos	
2	Vertikalių trikampių ir sparno formos elementų pridėjimas	
3	Horizontalaus sparno pridėjimas	
4	Įdėklo galinės dalies pakėlimas	
5	Kalnelio pridėjimas įdėklo vidurinėje dalyje	
6	Geriausio modelio sudarymas	

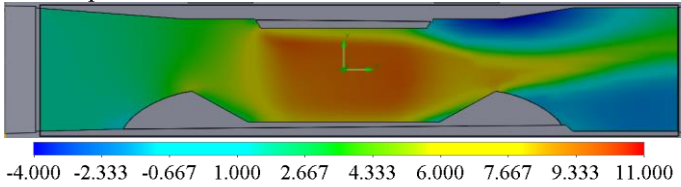
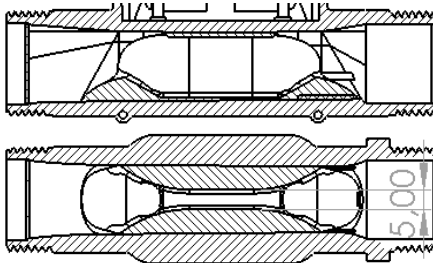
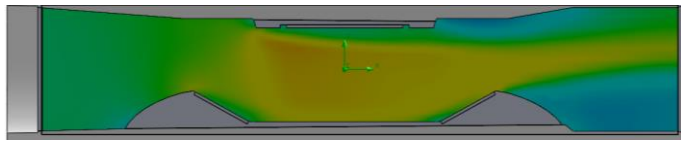
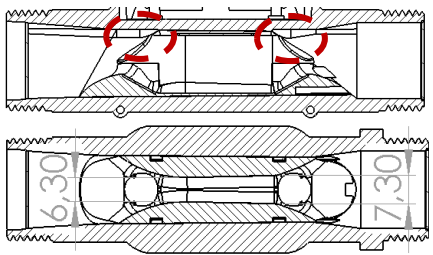
4.1.1. Pirmoji korekcijų grupė – įdėklo geometrijos korekcijos

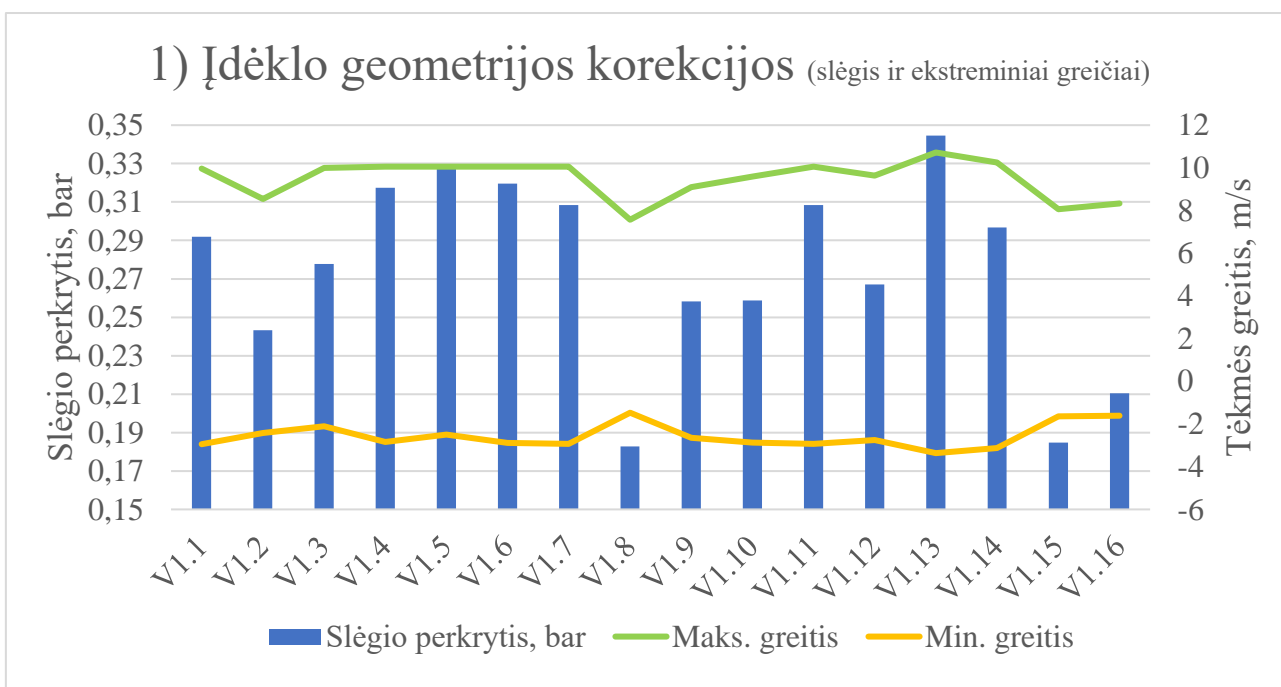
Pirmoje korekcijų grupėje – įdėklo geometrijos korekcijos, buvo sudaryta šešiolika skirtingų variantų. Atliktos korekcijos aprašytos 4.22 lentelėje 1 priede, (santrauka 4.3 lentelėje), rezultatai pateikti 4.2 lentelėje, bei 4.2 ir 4.3 paveikslėliuose, grafikuose.

4.2 lentelė. Pirmosios korekcijų grupės – įdėklo geometrijos korekcijų – rezultatai

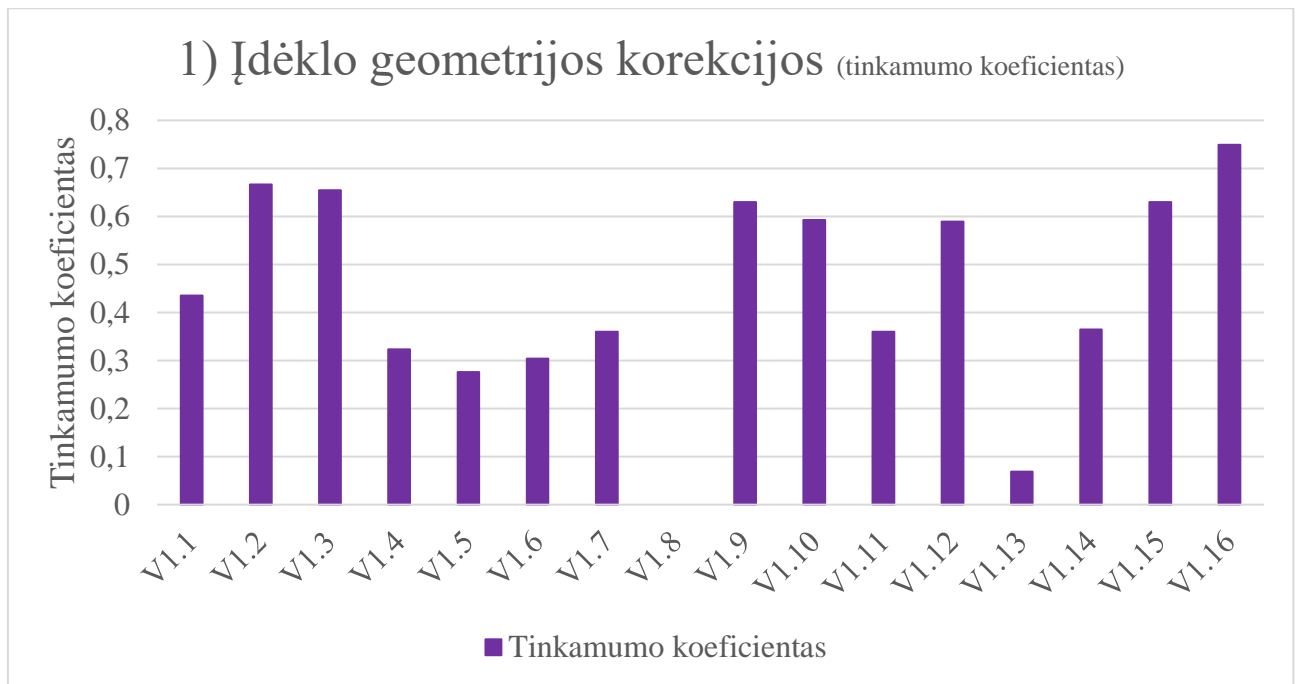
Modelio versija	Tinkamumo koeficientas	Slėgio perkrytis, bar	Kraštutiniai greičiai, m/s	
			Maks.	Min.
V1.1	0,4356	0,2919	9,963	-2,943
V1.2	0,6665	0,2433	8,547	-2,414
V1.3	0,6545	0,2777	9,997	-2,103
V1.4	0,3235	0,3174	10,05	-2,844
V1.5	0,2757	0,3298	10,06	-2,497
V1.6	0,3040	0,3195	10,05	-2,891
V1.7	0,3599	0,3084	10,05	-2,925
V1.8	0	0,1828	7,57	-1,472
V1.9	0,6300	0,2582	9,097	-2,653
V1.10	0,5923	0,2587	9,586	-2,872
V1.11	0,3599	0,3084	10,05	-2,925
V1.12	0,5893	0,2671	9,642	-2,751
V1.13	0,0685	0,3446	10,72	-3,365
V1.14	0,3646	0,2968	10,25	-3,133
V1.15	0,6297	0,1847	8,062	-1,643
V1.16	0,7490	0,2105	8,333	-1,609

4.3 lentelė. Pirmosios korekcijų grupės – įdėklo geometrijos korekcijų – modifikacijų vaizdai (pirmtakas ir geriausias modelis)

Modelio versija/ Pirmtako versija	Atlikta korekcija ir tėkmės srautų pasiskirstymas	Modelio horizontalus ir vertikalus pjūvis
V1.1/ V1.1	Kanalo plotis 5 mm 	
V1.16/V 1.1	Platėjantis kanalas iš 6,3 mm į 7,3 mm; Įdėklo viršutinė dalis pataisyta 	



4.2 pav. Pirmoji korekcijų grupė – įdėklo geometrijos korekcijos. Slėgio nuostoliai ir ekstreminiai greičiai



4.3 pav. Pirmoji korekcijų grupė – įdėklo geometrijos korekcijos. Tinkamumo koeficientas

Iš 4.2 pav., 4.3 pav., 4.2 ir 4.3 lentelių matome, kad geriausias rezultatas gaunamas atlikus V1.16 modelio skaičiavimus, jo tinkamumo koeficientas šioje grupėje didžiausias. Tėkmės srautų pasiskirstymo dalyje greičių skalės pateiktos tarp -3 ir 11 m/s.

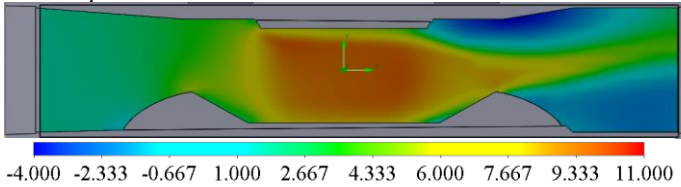
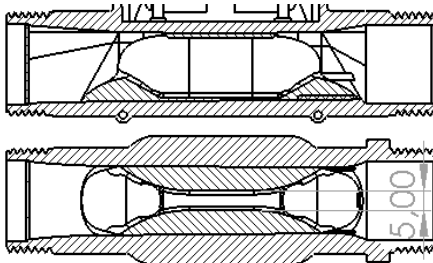
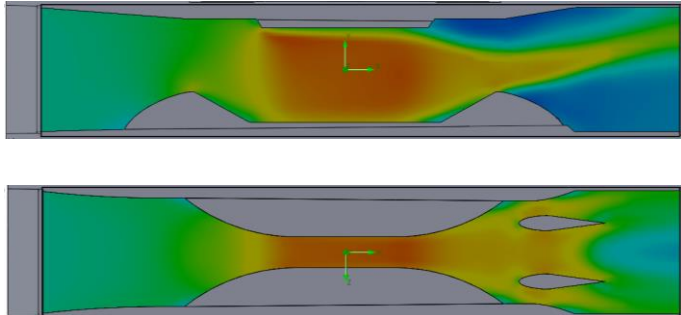
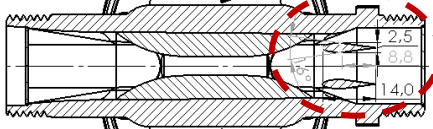
4.1.2. Antroji korekcijų grupė – vertikalių trikampių ir sparno formos elementų pridėjimas

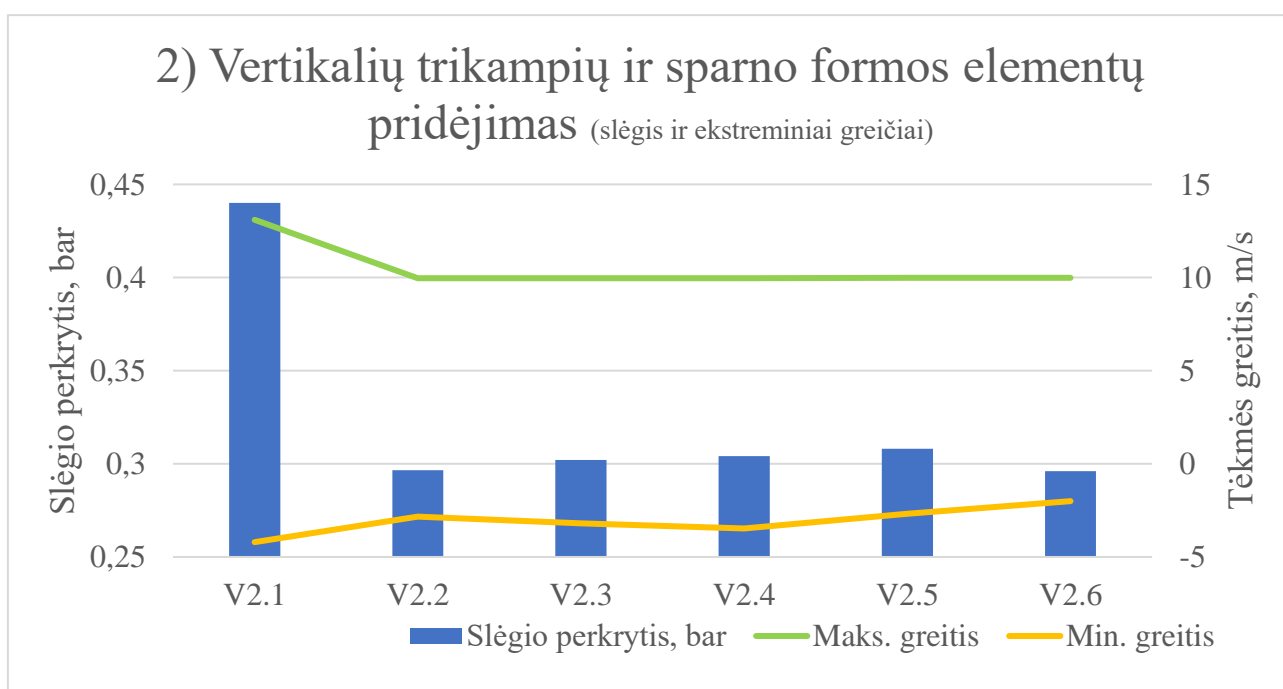
Antrojoje korekcijų grupėje – vertikalių trikampių ir sparno formos elementų pridėjimas, buvo sudaryti šeši skirtingi variantai. Atliktos korekcijos aprašytos 4.23 lentelėje 1 priede, (santrauka 4.5 lentelėje), rezultatai pateikti 4.4 lentelėje, bei 4.4 ir 4.5 paveikslėliuose, grafikuose.

4.4 lentelė. Antrosios korekcijų grupės – vertikalių trikampių ir sparno formos elementų pridėjimo – rezultatai

Modelio versija	Tinkamumo koeficientas	Slėgio perkrytis, bar	Kraštutiniai greičiai, m/s	
			Maks.	Min.
V2.1	0	0,4400	13,10	-4,204
V2.2	0,4380	0,2965	9,964	-2,831
V2.3	0,3220	0,3020	9,964	-3,202
V2.4	0,1649	0,3041	9,964	-3,465
V2.5	0,4012	0,3081	9,985	-2,686
V2.6	0,5600	0,2961	9,985	-2,005

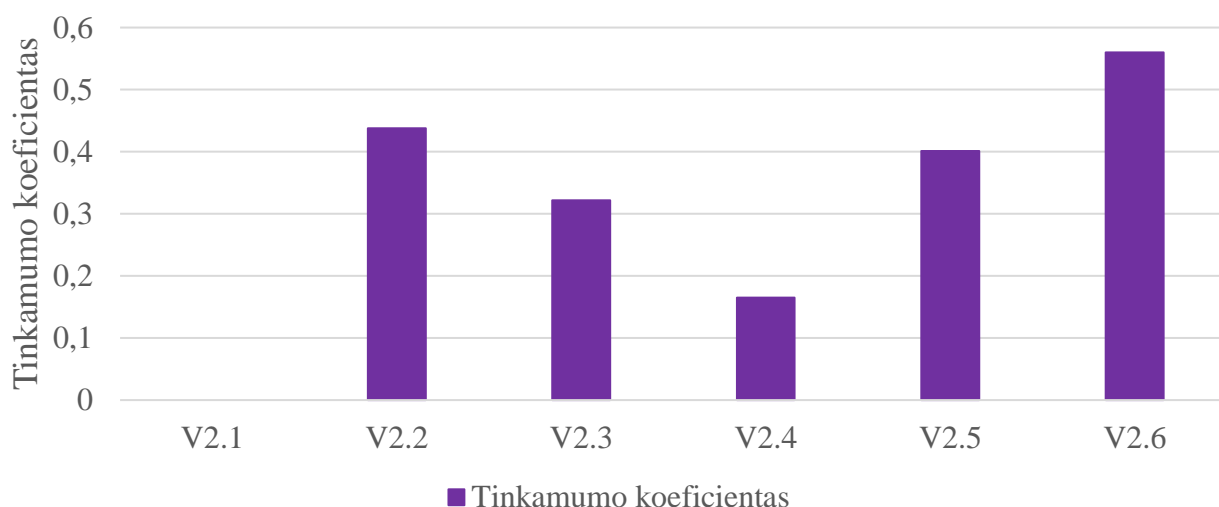
4.5 lentelė. Antrosios korekcijų grupės – vertikalių ir sparno formos elementų pridėjimo – modifikacijų vaizdai (pirmtakas ir geriausias modelis)

Modelio versija/ Pirmtako versija	Atlikta korekcija ir tėkmės srautų pasiskirstymas	Modelio horizontalus ir vertikalus pjūvis
V1.1/ V1.1	Kanalo plotis 5 mm 	
V2.6/ V1.1	Sparneliai V5 per visą skaitiklio aukštį 	



4.4 pav. Antroji korekcijų grupė – vertikalių trikampių ir sparno formos elementų pridėjimas. Slėgio nuostoliai ir ekstreminiai greičiai

2) Vertikalių trikampių ir sparno formos elementų pridėjimas (tinkamumo koeficientas)



4.5 pav. Pirmoji korekcijų grupė – įdėklo geometrijos korekcijos. Tinkamumo koeficientas

Iš 4.4 pav., 4.5 pav., 4.4 ir 4.5 lentelių matome, kad geriausias rezultatas gaunamas atlikus V2.6 modelio skaičiavimus, jo tinkamumo koeficientas šioje grupėje didžiausias.

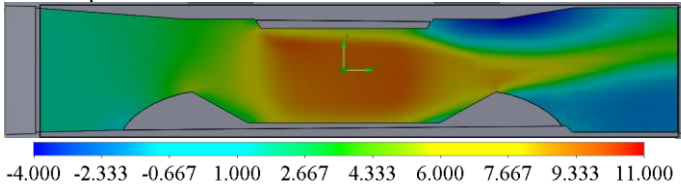
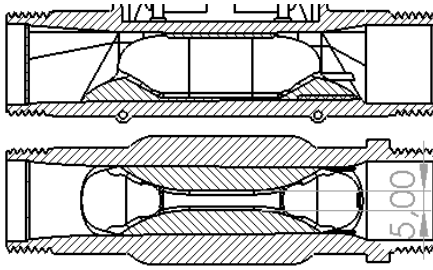
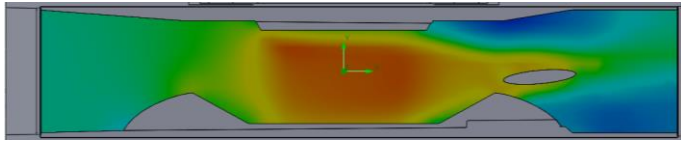
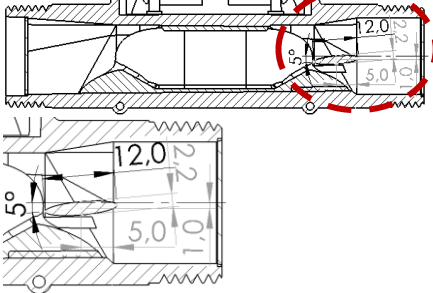
4.1.3. Trečioji korekcijų grupė – horizontalaus sparno pridėjimas

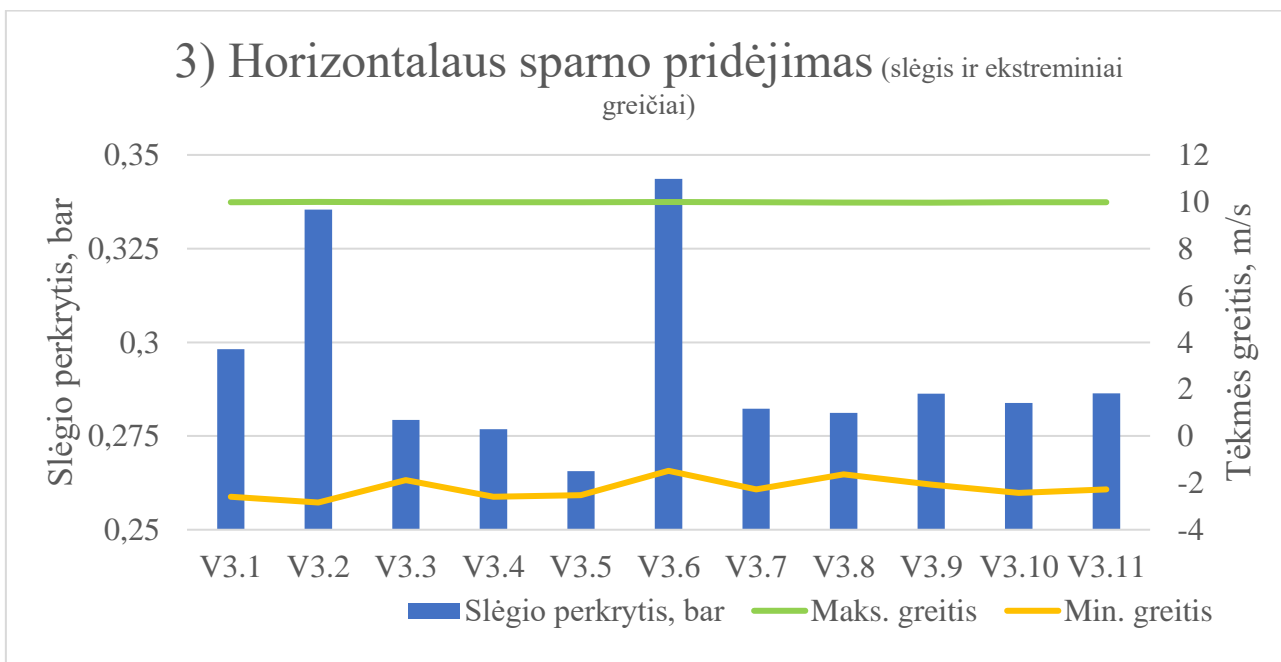
Trečiojoje korekcijų grupėje – horizontalaus sparno pridėjimas, buvo sudaryta vienuolika skirtingų variantų. Atliktos korekcijos aprašytos 4.24 lentelėje 1 priede, (santrauka 4.7 lentelėje), rezultatai pateikti 4.6 lentelėje, bei 4.6 ir 4.7 paveikslėliuose, grafikuose.

4.6 lentelė. Trečiosios korekcijų grupės – horizontalaus sparno pridėjimo – rezultatai

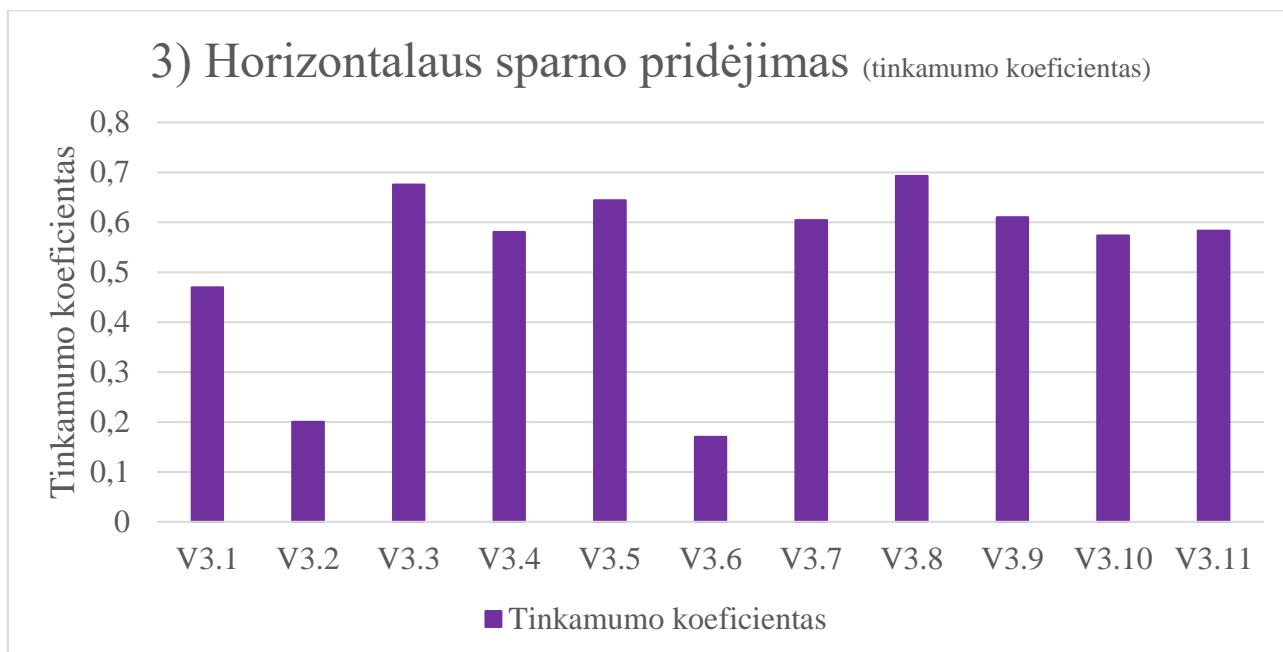
Modelio versija	Tinkamumo koeficientas	Slėgio perkrytis, bar	Kraštutiniai greičiai, m/s	
			Maks.	Mín.
V3.1	0,4698	0,2982	9,981	-2,599
V3.2	0,2002	0,3354	9,987	-2,839
V3.3	0,6754	0,2793	9,977	-1,878
V3.4	0,5804	0,2768	9,982	-2,587
V3.5	0,6439	0,2656	9,979	-2,529
V3.6	0,1705	0,3436	9,99	-1,486
V3.7	0,6044	0,2823	9,975	-2,278
V3.8	0,6928	0,2812	9,967	-1,635
V3.9	0,6101	0,2863	9,961	-2,076
V3.10	0,5734	0,2838	9,979	-2,428
V3.11	0,5830	0,2864	9,981	-2,272

4.7 lentelė. Trečiosios korekcijų grupės – horizontalaus sparno pridėjimo – modifikacijų vaizdai (pirtakas ir geriausias modelis)

Modelio versija/ Pirtako versija	Atlikta korekcija ir tėkmės srautų pasiskirstymas	Modelio horizontalus ir vertikalus pjūvis
V1.1/ V1.1	Kanalo plotis 5 mm 	
V3.8/ V1.1	Sparnas ovalus V3 (ovalo centras 1 mm žemiau nuo centro plokštumos) 	



4.6 pav. Trečioji korekcijų grupė – horizontalaus sparno pridėjimas. Slėgio nuostoliai ir ekstreminiai greičiai



4.7 pav. Pirmoji korekcijų grupė – įdėklo geometrijos korekcijos. Tinkamumo koeficientas

Iš 4.6 pav., 4.7 pav., 4.6 ir 4.7 lentelių matome, kad geriausias rezultatas gaunamas atlikus V4.8 modelio skaičiavimus, jo tinkamumo koeficientas šioje grupėje didžiausias.

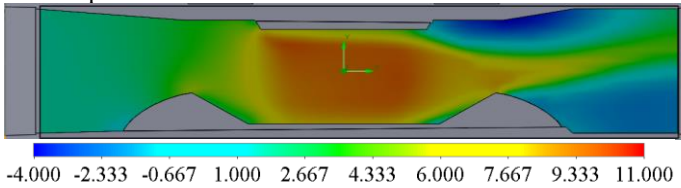
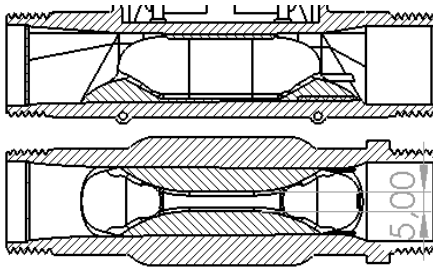
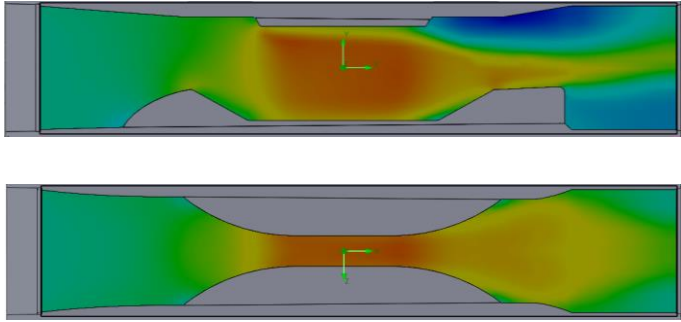
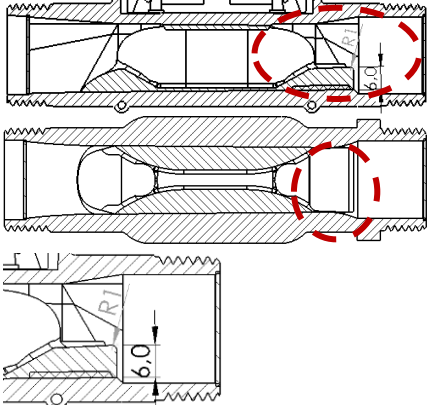
4.1.4. Ketvirtoji korekcijų grupė – įdėklo galinės dalies pakėlimas

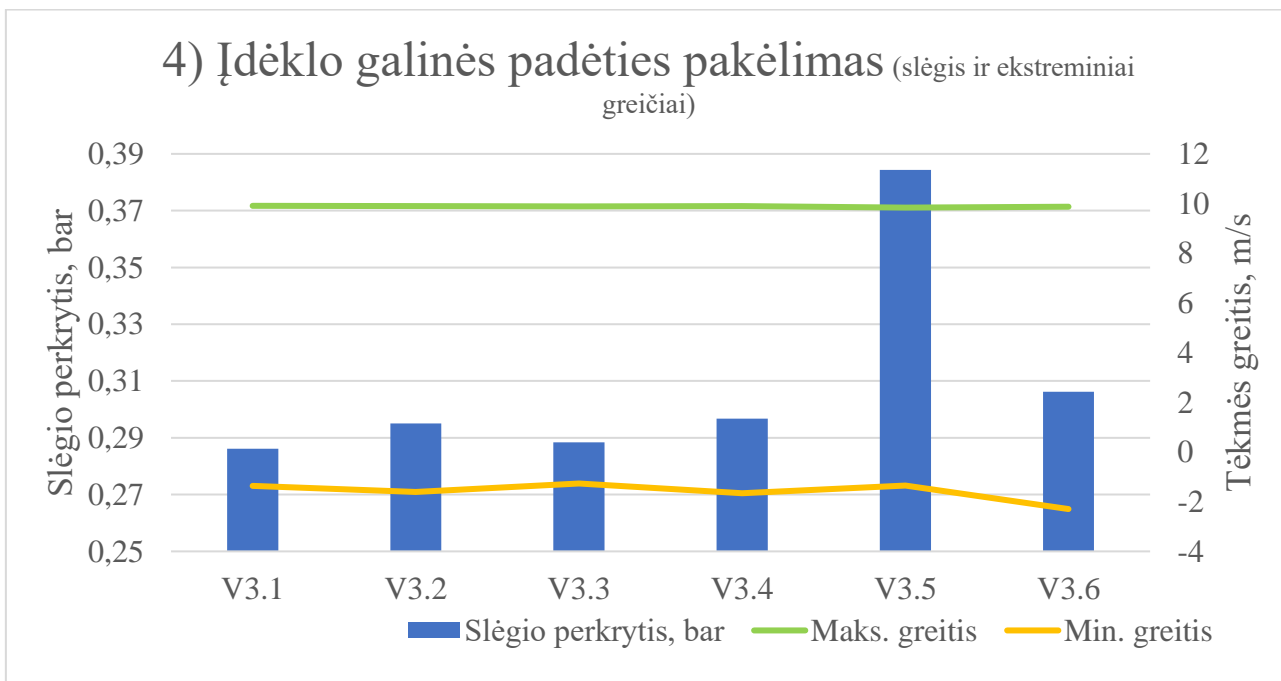
Ketvirtojoje korekcijų grupėje – horizontalaus sparno pridėjimas, buvo sudaryti šeši skirtingi variantai. Atliktos korekcijos aprašytos 4.25 lentelėje 1 priede, (santrauka 4.9 lentelėje), rezultatai pateikti 4.8 lentelėje, bei 4.8 ir 4.9 paveikslėliuose, grafikuose.

4.8 lentelė. Ketvirtosios korekcijų grupės – įdėklo galinės dalies pakėlimo – rezultatai

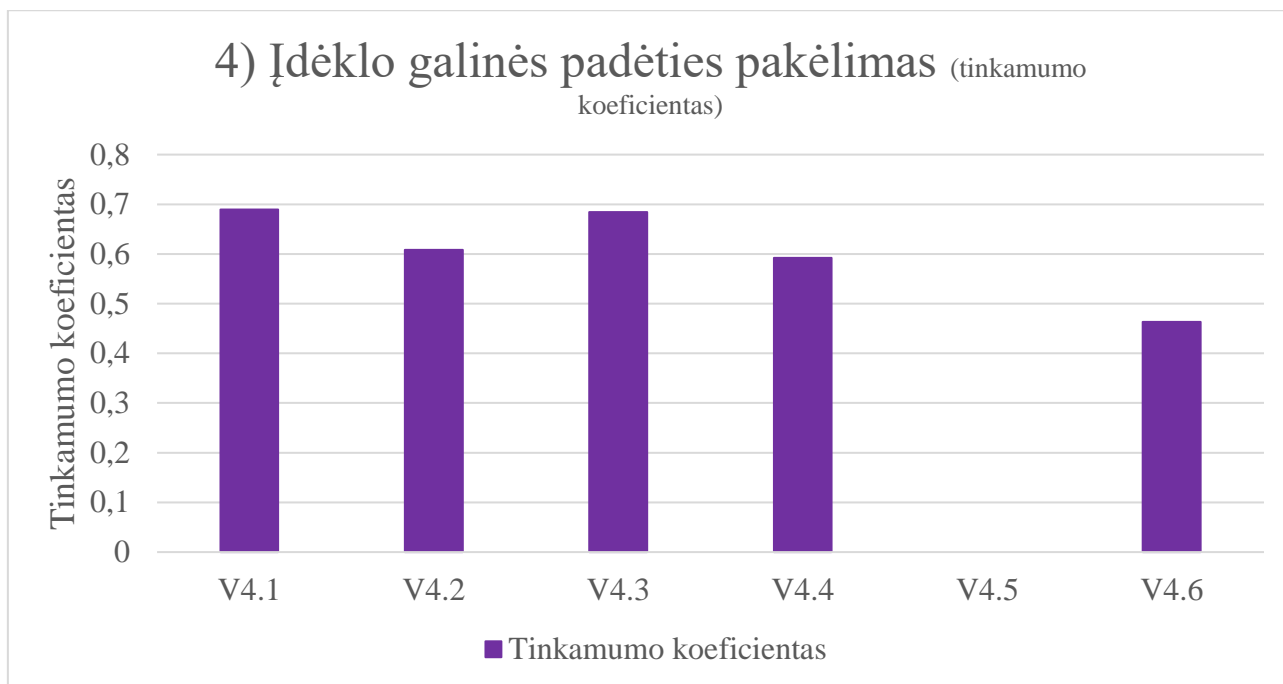
Modelio versija	Tinkamumo koeficientas	Slėgio perkrytis, bar	Kraštutiniai greičiai, m/s	
			Maks.	Min.
V4.1	0,6895	0,2862	9,91	-1,366
V4.2	0,6084	0,2950	9,902	-1,608
V4.3	0,6843	0,2884	9,892	-1,268
V4.4	0,5923	0,2967	9,901	-1,657
V4.5	0	0,3843	9,838	-1,354
V4.6	0,4633	0,3062	9,874	-2,297

4.9 lentelė. Ketvirtosios korekcijų grupės – įdėklo galinės dalies pakėlimo – modifikacijų vaizdai (pirmtakas ir geriausias modelis)

Modelio versija/ Pirmtako versija	Atlikta korekcija ir tėkmės srautų pasiskirstymas	Modelio horizontalus ir vertikalus pjūvis
V1.1/ V1.1	Kanalo plotis 5 mm 	
V4.1/ V1.1	Kalnelis V1 (ilgis iki korpuso plėtimosi ribos) 	



4.8 pav. Ketvirtoji korekcijų grupė – įdėklo galinės dalies pakėlimas. Slėgio nuostoliai ir ekstreminiai greičiai



4.9 pav. Pirmoji korekcijų grupė – įdėklo geometrijos korekcijos. Tinkamumo koeficientas

Iš 4.8 pav., 4.9 pav., 4.8 ir 4.9 lentelių matome, kad geriausias rezultatas gaunamas atlikus V4.1 modelio skaičiavimus, jo tinkamumo koeficientas šioje grupėje didžiausias.

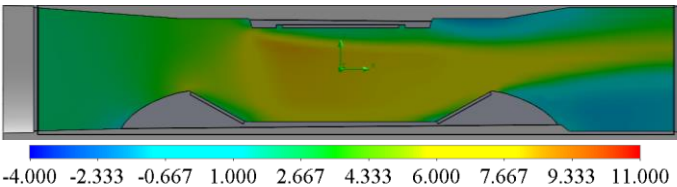
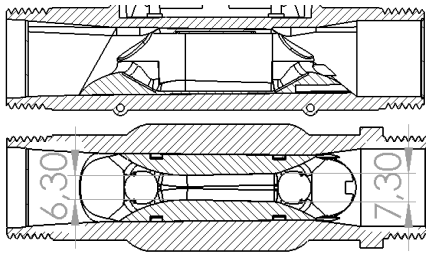
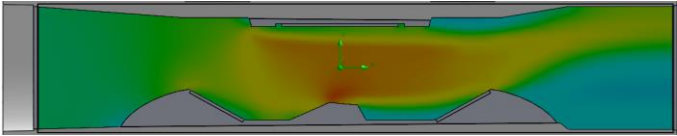
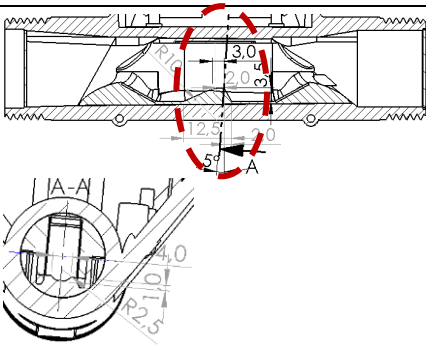
4.1.5. Penktoji korekcijų grupė – kalnelio pridėjimas įdėklo vidurinėje dalyje

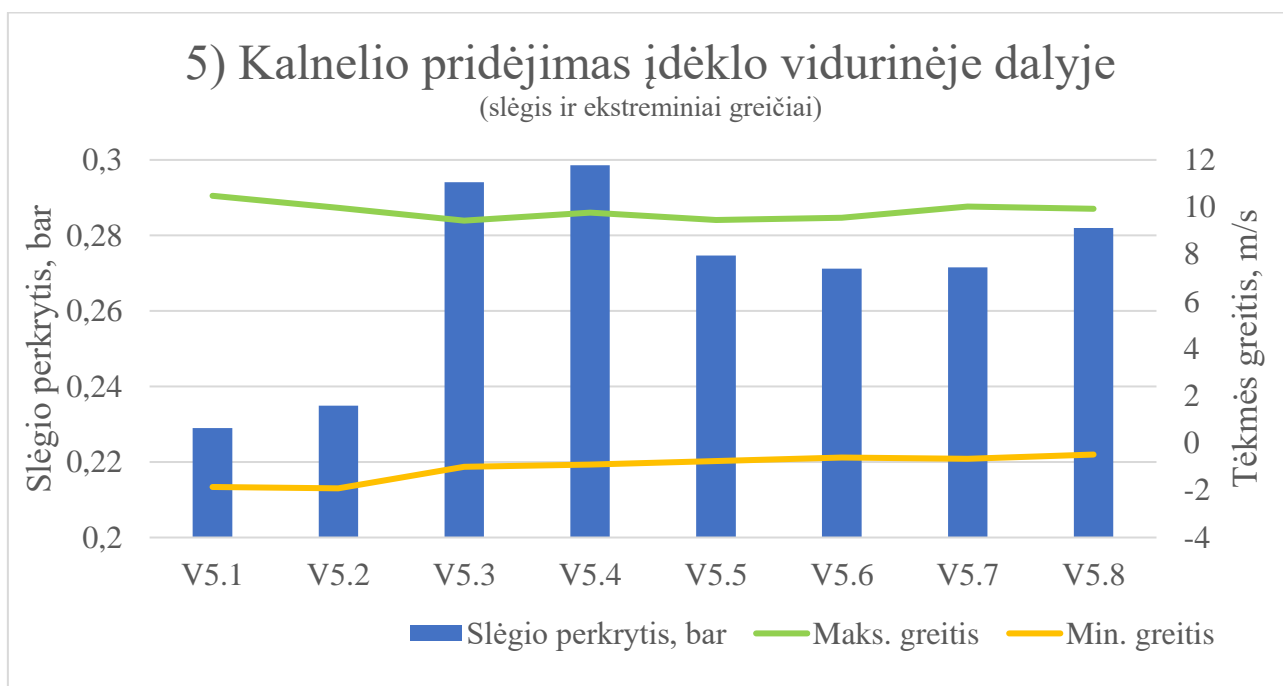
Penktojoje korekcijų grupėje – kalnelio pridėjimas įdėklo vidurinėje dalyje, buvo sudaryti aštuoni skirtingi variantai. Atliktos korekcijos aprašytos 4.26 lentelėje 1 priede, (santrauka 4.11 lentelėje), rezultatai pateikti 4.10 lentelėje, bei 4.10 ir 4.11 paveikslėliuose, grafikuose.

4.10 lentelė. Penktosios korekcijų grupės – kalnelio pridėjimo įdėklo vidurinėje dalyje – rezultatai

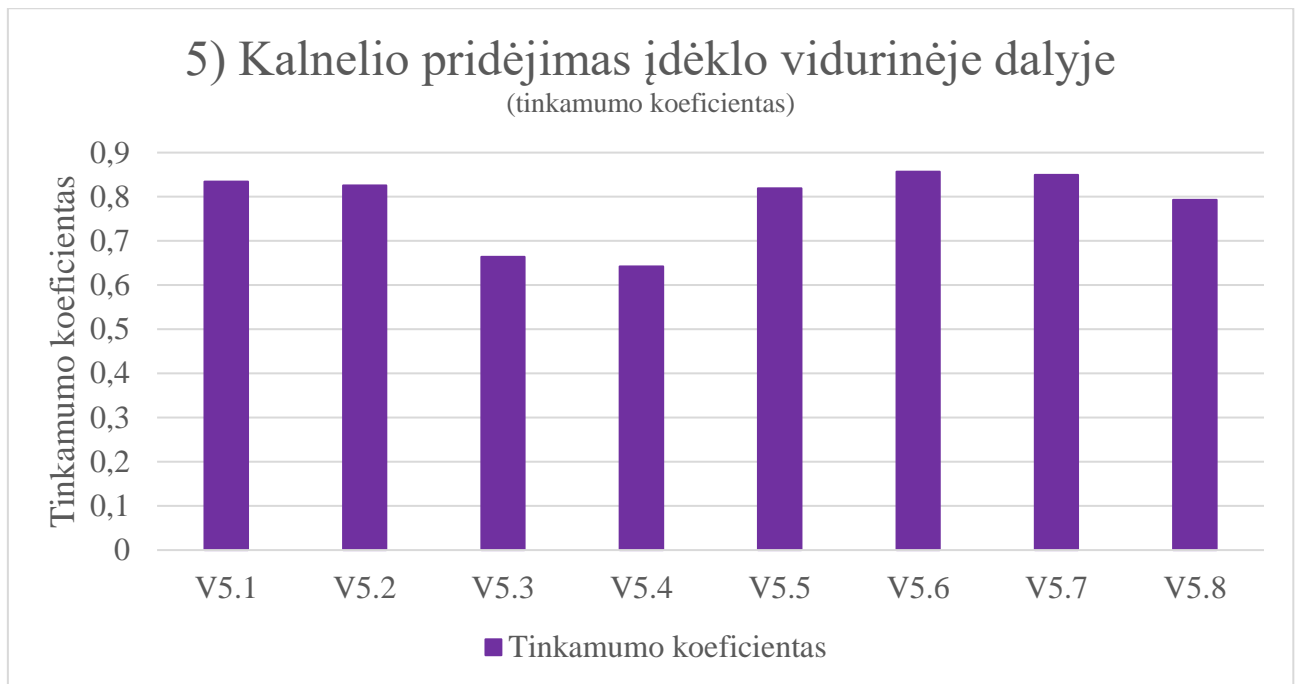
Modelio versija	Tinkamumo koeficientas	Slėgio perkrytis, bar	Kraštutiniai greičiai, m/s	
			Maks.	Mín.
V5.1	0,8346	0,2290	10,48	-1,858
V5.2	0,8255	0,2349	9,969	-1,917
V5.3	0,6640	0,2941	9,427	-1,011
V5.4	0,6425	0,2986	9,77	-0,903
V5.5	0,8188	0,2747	9,461	-0,759
V5.6	0,8567	0,2712	9,552	-0,615
V5.7	0,8499	0,2715	10,03	-0,667
V5.8	0,7934	0,2820	9,926	-0,484

4.11 lentelė. Penktosios korekcijų grupės – kalnelio pridėjimo įdėklo vidurinėje dalyje – modifikacijų vaizdai (modelio vertikaliuose pjūviuose, centre vertikali linija – įdėklo vidurio linija) (pirmtas ir geriausias modelis)

Modelio versija/ Pirmtako versija	Atlikta korekcija ir tėkmės srautų pasiskirstymas	Modelio horizontalus ir vertikalus pjūvis
V1.16/V 1.15	Įdėklo viršutinė dalis pataisyta 	
V5.6/ V1.16	Kalnelis V4, išpjova V1 paversta 5° 	



4.10 pav. Penktoji korekcijų grupė – kalnelio pridėjimas įdėklo vidurinėje dalyje. Slėgio nuostoliai ir ekstreminiai greičiai



4.11 pav. Pirmoji korekcijų grupė – įdėklo geometrijos korekcijos. Tinkamumo koeficientas

Penktoje įdėklų korekcijų grupėje pirmtaku buvo paimta ne V1.1 korpuso ir įdėklo kombinacija, o geriausio pirmos grupės modelio – V1.16. Taip buvo pasirinkta dėl to, kad šioje įdėklo korekcijų grupėje yra modifikuojama įdėklo vidinė dalis, kuri yra tarp veidrodėlių. Šioje skaitiklio dalyje skerspjūvis mažiausias, todėl ir korekcijų įtakos turi didesnę reikšmę, nei kitose skaitiklio dalyse. V1.1 ir V1.16 esminis skirtumas šioje įdėklo dalyje yra kanalų plotis. V1.1 plotis yra 5mm, tuo tarpu V1.16 kanalas yra platus iš 6,3 mm į 7,3 mm, todėl šio kanalo skerspjūvio plotas yra žymiai didesnis ir pridėjimo kalnelio viduryje dydis turi šiek tiek mažesnę reikšmę. Taip pat, kad iš skirtingų korekcijų grupių surenkant geriausią modelį, sutaupytime laiko iš naujo atiderindami kalnelio dydį ir formą. Penktosios grupės rezultatai: iš 3.10 pav., 3.11 pav., 3.10 ir 3.11 lentelių matome, kad geriausias rezultatas gaunamas atlikus V5.6 modelio skaičiavimus, jo tinkamumo koeficientas šioje grupėje didžiausias.

4.1.6. Šeštoji korekcijų grupė – geriausio modelio sudarymas

Šeštoji korekcijų grupė – geriausio modelio sudarymas, bus sudaryta iš geriausių pirmų penkių grupių modelių. Pirmų penkių grupių apibendrintus rezultatus pateikiu 4.12 ir 4.13 lentelėje. Kaip jau minėjau praeitame skyriuje, korekcijoms pagrindą parenkame V1.16 modelį, kurio kanalas žymiai skiriasi nuo V1.1 modelio. Geriausių modelių apjungimo schemą pateikiu 4.14 lentelėje. Galimų modifikacijų skaičių nustatome panaudodami kėlinių apskaičiavimo (10) formulę:

$$P_n = n! \tag{10}$$

čia P – kėlinių skaičius; n – aibę sudarančių elementų skaičius.

Kadangi galimos korekcijų grupės liko keturios, tai šeštos grupės modifikacijų skaičių gauname lygu šešiolikai. V6.1 modelis sutampa su V1.16 modeliu ir V6.5 modelis sutampa su V5.6 modeliu (nes penktos grupės pirmtakas buvo V1.16 modelis). Atliktos korekcijos aprašytos 4.27 lentelėje 1 priede, (santrauka 4.16 lentelėje), rezultatai pateikti 4.15 lentelėje, bei 4.12 ir 4.13 paveikslėliuose, grafikuose.

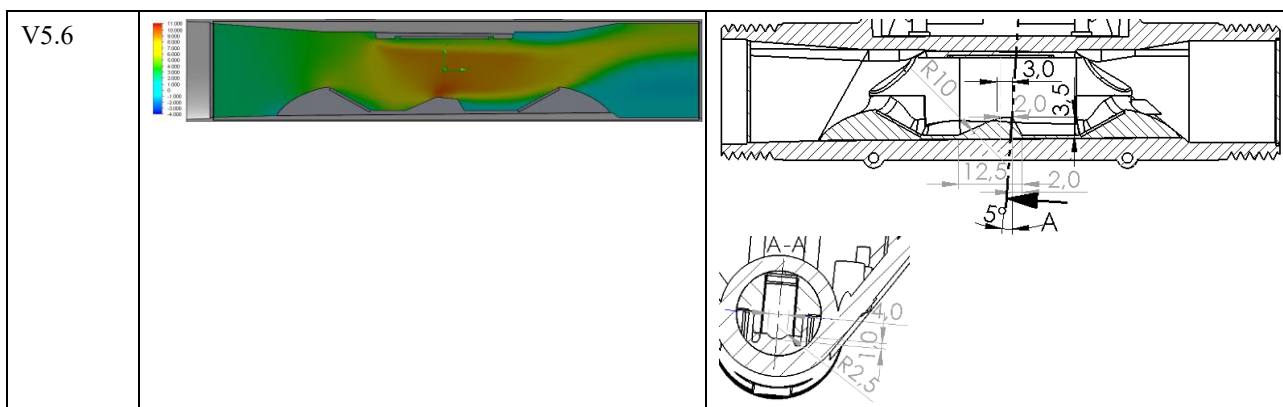
4.12 lentelė. Pirmos – penktos grupių geriausių modelių rezultatai

Modelio versija	Tinkamumo koeficientas	Slėgio perkritis, bar	Kraštutiniai greičiai, m/s	
			Maks.	Min.
V1.16	0,7490	0,2105	8,333	-1,609
V2.6	0,5600	0,2961	9,985	-2,005
V3.8	0,6928	0,2812	9,967	-1,635
V4.1	0,6895	0,2862	9,91	-1,366
V5.6	0,8567	0,2712	9,552	-0,615

4.13 lentelė. Pirmos – penktos grupių geriausių modelių rezultatai – modifikacijų vaizdai

Modelio versija	Tėkmės srautų pasiskirstymas	Modelio horizontalus ir vertikalus pjūvis
V1.16		
V2.6		
V3.8		
V4.1		

4.13 lentelė. (tęsinys)



4.14 lentelė. Šeštosios korekcijų grupės – geriausio modelio sudarymo, modifikacijų sugrupavimo schema

Versija	V1.16	V2.6	V3.8	V4.1	V5.6
Sumažintas modifikacijos vaizdas					
V6.1	+	–	–	–	–
V6.2	+	+	–	–	–
V6.3	+	–	+	–	–
V6.4	+	–	–	+	–
V6.5	+	–	–	–	+
V6.6	+	+	+	–	–
V6.7	+	+	–	+	–
V6.8	+	+	–	–	+
V6.9	+	–	+	+	–
V6.10	+	–	+	–	+
V6.11	+	–	–	+	+
V6.12	+	+	+	+	–
V6.13	+	+	+	–	+
V6.14	+	+	–	+	+
V6.15	+	–	+	+	+
V6.16	+	+	+	+	+

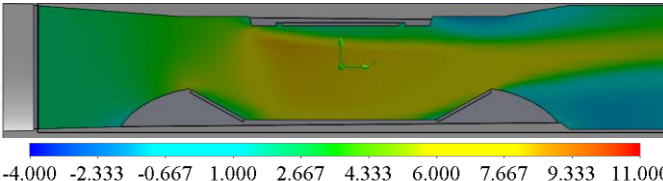
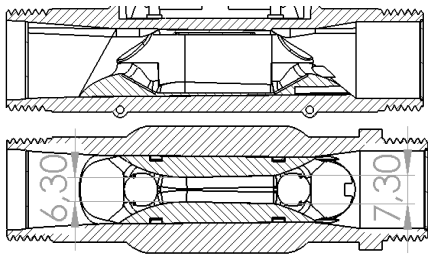
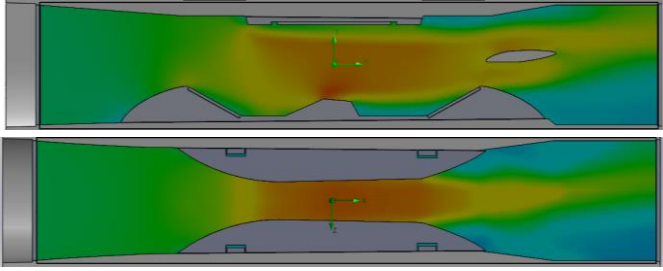
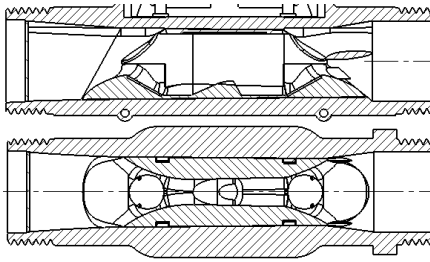
4.15 lentelė. Šeštosios korekcijų grupės – geriausio modelio sudarymo – rezultatai

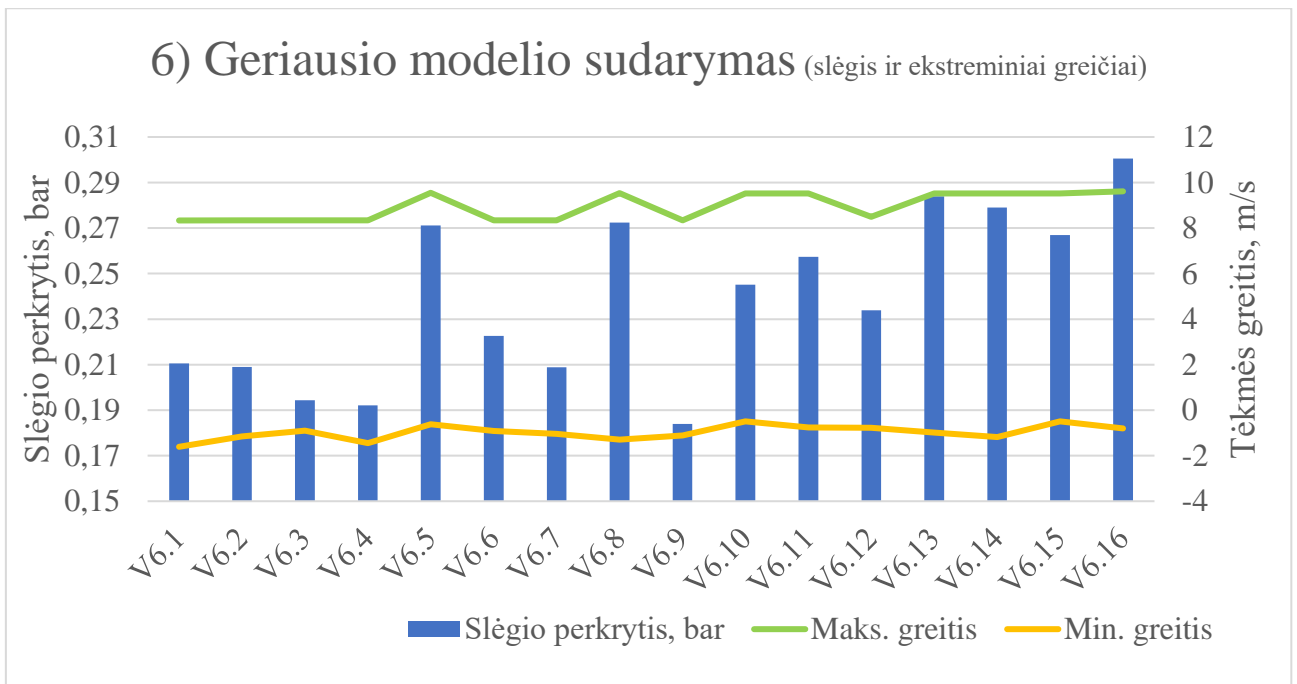
Modelio versija	Tinkamumo koeficientas	Slėgio perkritis, bar	Kraštutiniai greičiai, m/s	
			Maks.	Min.
V6.1	0,7490	0,2105	8,333	-1,609
V6.2	0,8014	0,209	8,34	-1,148
V6.3	0,8260	0,1943	8,341	-0,901
V6.4	0,7688	0,1921	8,337	-1,446

4.15 lentelė. (tęsinys)

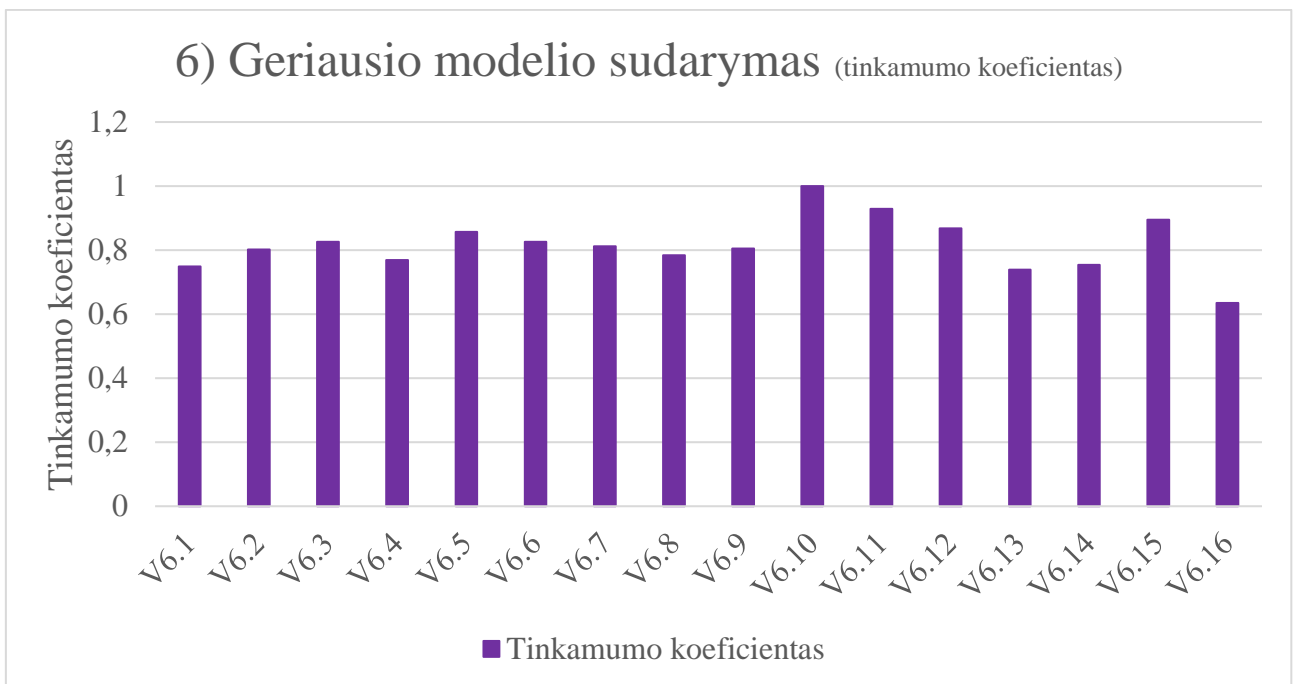
V6.5	0,8567	0,2712	9,552	-0,615
V6.6	0,8254	0,2226	8,341	-0,907
V6.7	0,8122	0,2088	8,341	-1,043
V6.8	0,7834	0,2724	9,539	-1,29
V6.9	0,8044	0,184	8,337	-1,111
V6.10	1,000	0,2451	9,524	-0,494
V6.11	0,9287	0,2574	9,518	-0,766
V6.12	0,8677	0,2339	8,487	-0,78
V6.13	0,7390	0,284	9,521	-0,989
V6.14	0,7536	0,279	9,525	-1,184
V6.15	0,8948	0,2669	9,515	-0,492
V6.16	0,6354	0,3005	9,613	-0,805

4.16 lentelė. Šeštosios korekcijų grupės – geriausio modelio sudarymo – modifikacijų vaizdai (pirmtakas ir geriausias modelis)

Modelio versija	Atlikta korekcija ir tėkmės srautų pasiskirstymas	Modelio horizontalus ir vertikalus pjūvis
V1.16/V1.1	<p>Platėjantis kanalas iš 6,3 mm į 7,3 mm; Įdėklo viršutinė dalis pataisyta</p>  <p>-4.000 -2.333 -0.667 1.000 2.667 4.333 6.000 7.667 9.333 11.000</p>	
V6.10/V1.16	<p>Platėjantis kanalas + horizontalus sparnas + kalnelis įdėklo viduryje (V1.16 + V3.8 + V5.6)</p> 	



4.12 pav. Šeštoji korekcijų grupė – geriausio modelio sudarymas. Slėgio nuostoliai ir ekstreminiai greičiai



4.13 pav. Pirmoji korekcijų grupė – įdėklo geometrijos korekcijos. Tinkamumo koeficientas

Šeštojoje korekcijų grupėje atlikus kitų korekcijos grupių rezultatų apjungimą, geriausias rezultatas gautas V6.10 modeliu. Šį modelį sudaro modifikuoto įdėklo (V1.6), horizontalaus sparno (V3.8) ir kalnelio įdėklo viduryje (V5.6) kompleksas. Šis modelis vienintelis iš visų bandytų 63 modelių atitiko visus reikalavimus.

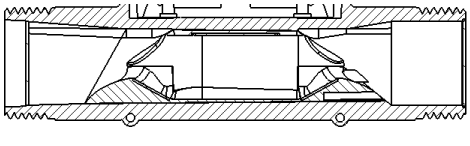
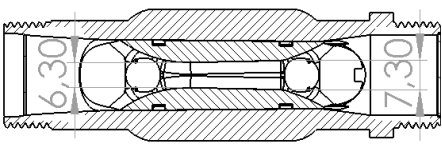
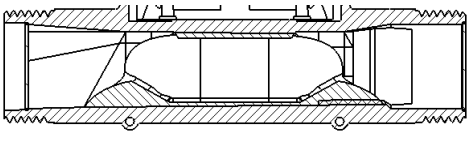
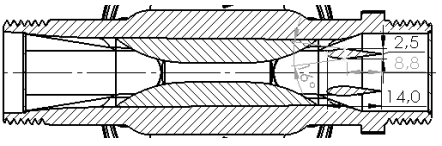
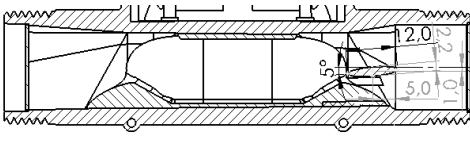
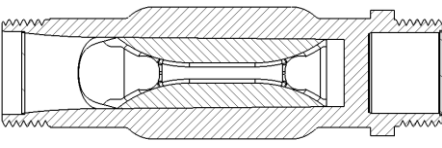
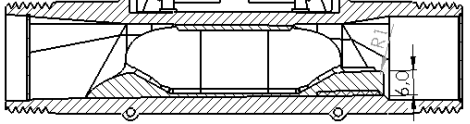
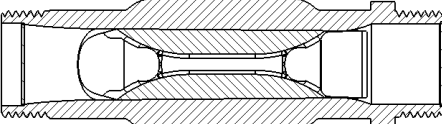
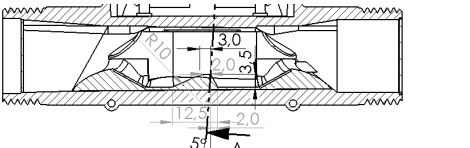
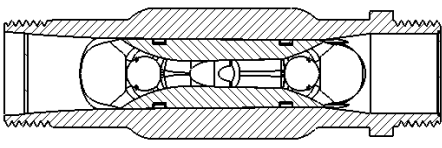
4.1.7. Visų korekcijų grupių geriausi gauti rezultatai

Šiame skyriuje buvo atliktas visų geriausių korekcijų apibendrinimas. Rezultatai pateikti 4.17 lentelėje, modifikacijų vaizdai 4.18 lentelėje ir rezultatų grafikai 4.14 ir 4.15 pav.

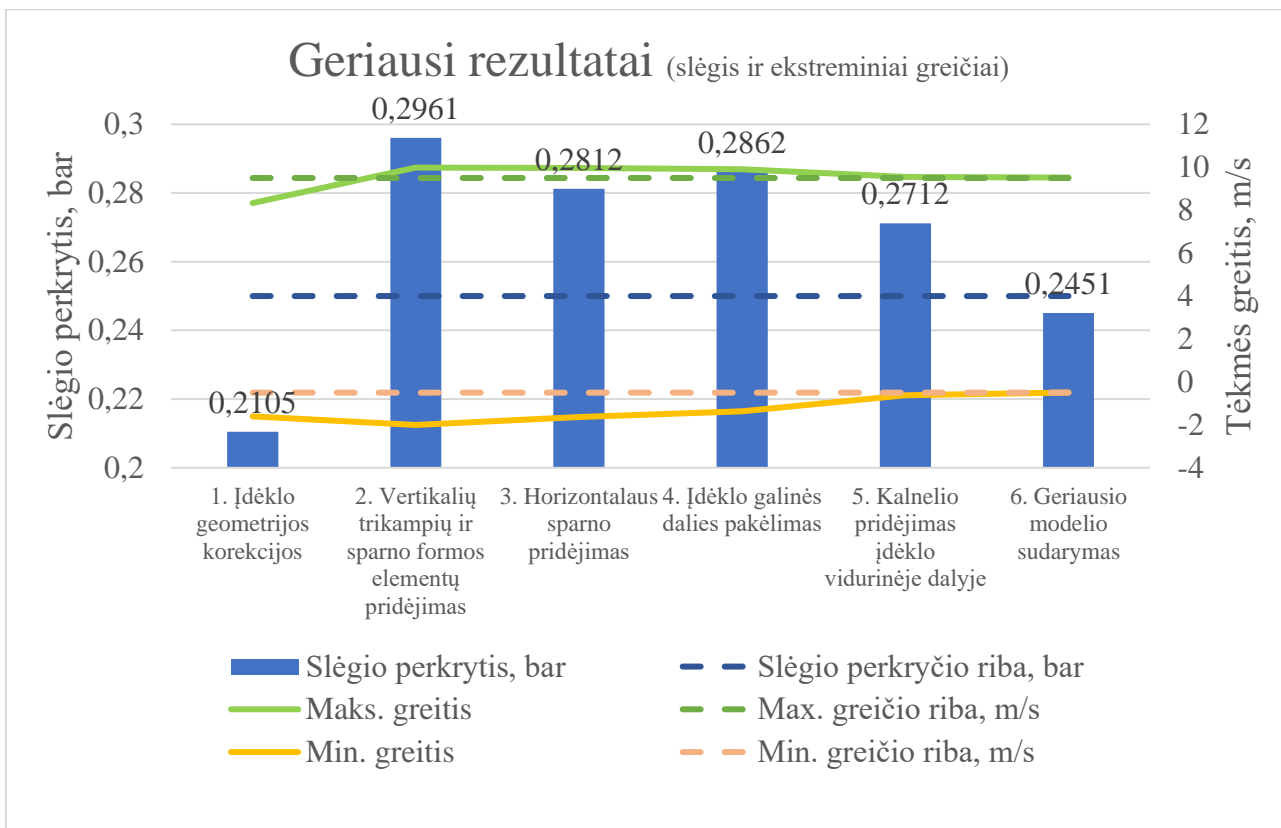
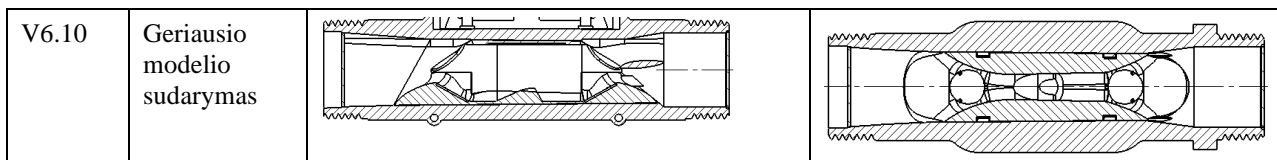
4.17 lentelė. Korekcijų grupių geriausių rezultatų lentelė

Korekcijos grupė	Atlikta korekcija	Modelio versija	Tinkamumo koeficientas	Slėgio perkrytis, bar	Kraštutiniai greičiai, m/s	
					Maks.	Min.
1	Įdėklo geometrijos korekcijos	V1.16	0,7490	0,2105	8,333	-1,609
2	Vertikalių trikampių ir sparno formos elementų pridėjimas	V2.6	0,5600	0,2961	9,985	-2,005
3	Horizontalaus sparno pridėjimas	V3.8	0,6928	0,2812	9,967	-1,635
4	Įdėklo galinės dalies pakėlimas	V4.1	0,6895	0,2862	9,91	-1,366
5	Kalnėlio pridėjimas įdėklo vidurinėje dalyje	V5.6	0,8567	0,2712	9,552	-0,615
6	Geriausio modelio sudarymas	V6.10	1,0000	0,2451	9,524	-0,494

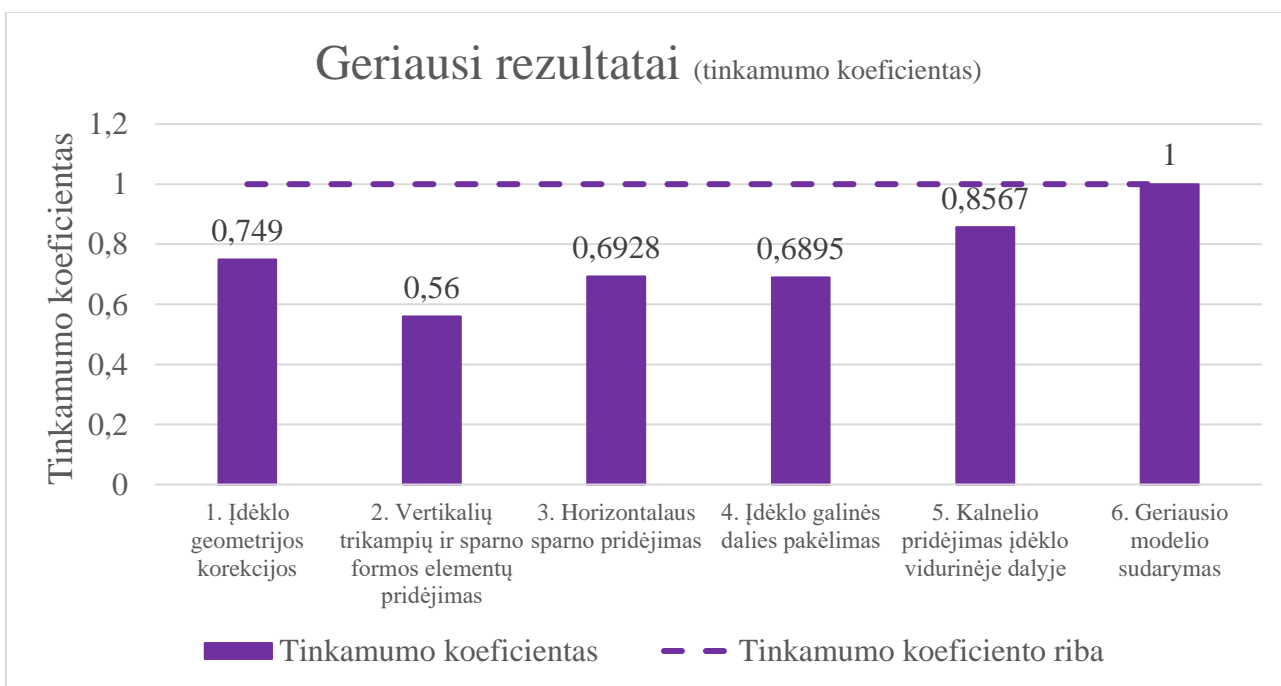
4.18 lentelė. Korekcijų grupių geriausių rezultatų modifikacijų vaizdai

Modelio versija	Atlikta korekcija	Modelio išilginio pjūvio vaizdas	
		Vertikalus	Horizontalus
V1.16	Įdėklo geometrijos korekcijos		
V2.6	Vertikalių trikampių ir sparno formos elementų pridėjimas		
V3.8	Horizontalaus sparno pridėjimas		
V4.1	Įdėklo galinės dalies pakėlimas		
V5.6	Kalnėlio pridėjimas įdėklo vidurinėje dalyje		

4.18 lentelė. (tęsinys)



4.14 pav. Atliktų korpuso korekcijų grupių geriausi gauti rezultatai. Slėgio nuostoliai ir ekstreminiai greičiai



4.15 pav. Pirmoji korekcijų grupė – įdėklo geometrijos korekcijos. Tinkamumo koeficientas

Šeštojoje korekcijų grupėje atlikus kitų korekcijos grupių rezultatų apjungimą, geriausias rezultatas gautas V6.10 modeliu. Šį modelį sudaro modifikuoto įdėklo (V1.6), horizontalaus sparno (V3.8) ir kalnelio įdėklo viduryje (V5.6) komplektas. Šis modelis vienintelis iš visų bandytų 63 modelių atitiko visus reikalavimus. Geriausio modelio brėžiniai ir specifikacija pateikti 2 priede.

4.2 Simuliacijos ir eksperimentinio modelio palyginimas

Geriausias gautas V6.10 modelis buvo atspausdintas 3D spausdintuvu naudojant Hi-Temp dervą (4.19 pav.) ir jo slėgio nuostolių matavimo rezultatus palyginime su skaičiuojamojo modelio rezultatais (4.19 lentelė, 4.21 lentelė ir 4.17 pav.). Eksperimento rezultatų įvertinimui (4.20 lentelė) panaudoju pagrindines statistines analizės formules [43]: vidurkiui (12), dispersijai (13), standartiniam nuokrypiui (14) ir pasikliautinajam intervalui (15) apskaičiuoti. Eksperimento įranga pateikta 4.18 pav. Eksperimento įrangos aprašymas pateiktas 2.3 skyriuje.

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (12)$$

čia \bar{X} – vidurkis; n – eksperimentų skaičius; X_i – eksperimento rezultatas.

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \quad (13)$$

čia S^2 – dispersija.

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2} \quad (14)$$

čia S – standartinis nuokrypis.

$$P(\mu) = \left(\bar{X} - \frac{S}{\sqrt{n}} t_{1-\frac{\alpha}{2}; n-1} < \mu < \bar{X} + \frac{S}{\sqrt{n}} t_{\frac{\alpha}{2}; n-1} \right) \quad (15)$$

čia P – tikimybė; μ – į intervalą patenkanti reikšmė; t_{α} – Stjudento skirstinio reikšmė.

4.19 lentelė. Simuliacijos ir eksperimento rezultatai

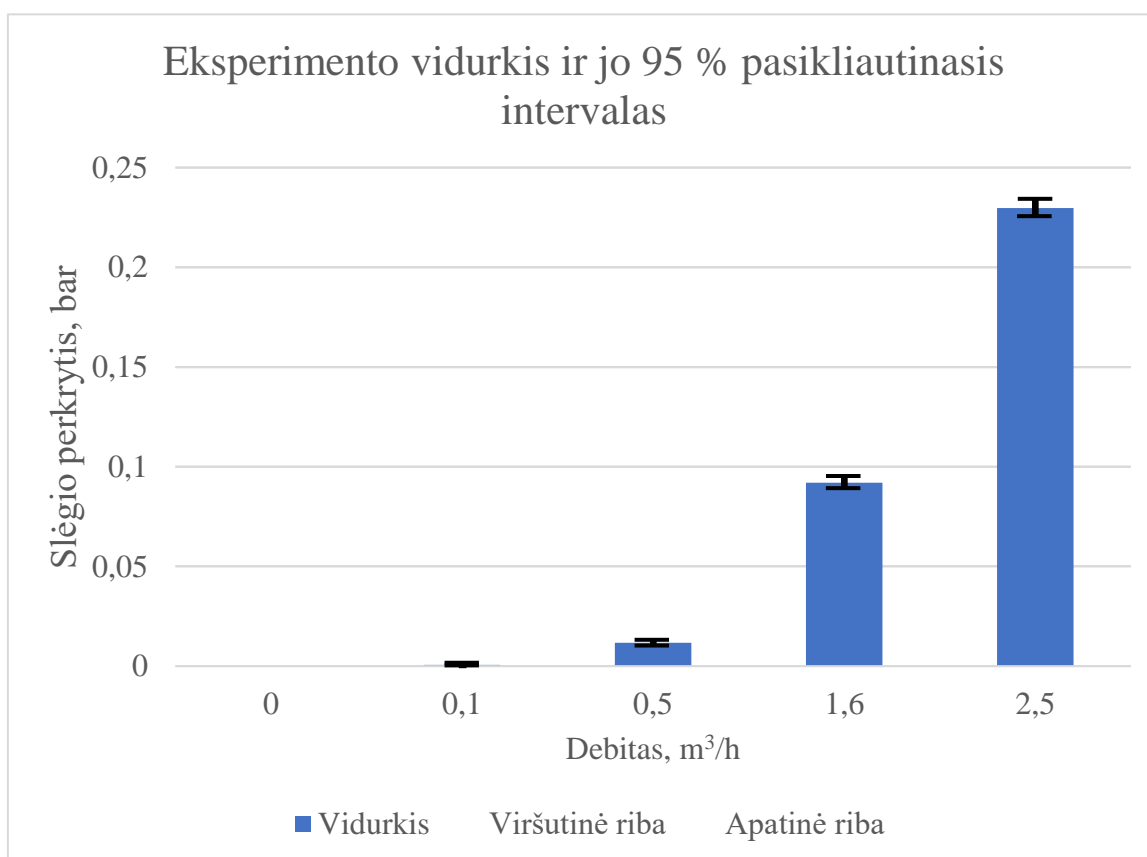
Debitas, m ³ /h	Slėgio nuostoliai, bar					
	1 matavimas	2 matavimas	3 matavimas	4 matavimas	5 matavimas	Simuliacija
0	0	0	0	0	0	0
0,1	6,85·10 ⁻⁴	6,8·10 ⁻⁴	7·10 ⁻⁴	6,9·10 ⁻⁴	6,95·10 ⁻⁴	6,9·10 ⁻⁴
0,5	1,192·10 ⁻²	1,186·10 ⁻²	1,153·10 ⁻²	1,168·10 ⁻²	1,179·10 ⁻²	1,178·10 ⁻²
1,6	9,138·10 ⁻²	9,289·10 ⁻²	9,232·10 ⁻²	9,104·10 ⁻²	9,247·10 ⁻²	9,152·10 ⁻²
2,5	2,318·10 ⁻¹	2,325·10 ⁻¹	2,275·10 ⁻¹	2,304·10 ⁻¹	2,262·10 ⁻¹	2,288·10 ⁻¹

4.20 lentelė. Statistinis eksperimento įvertinimas

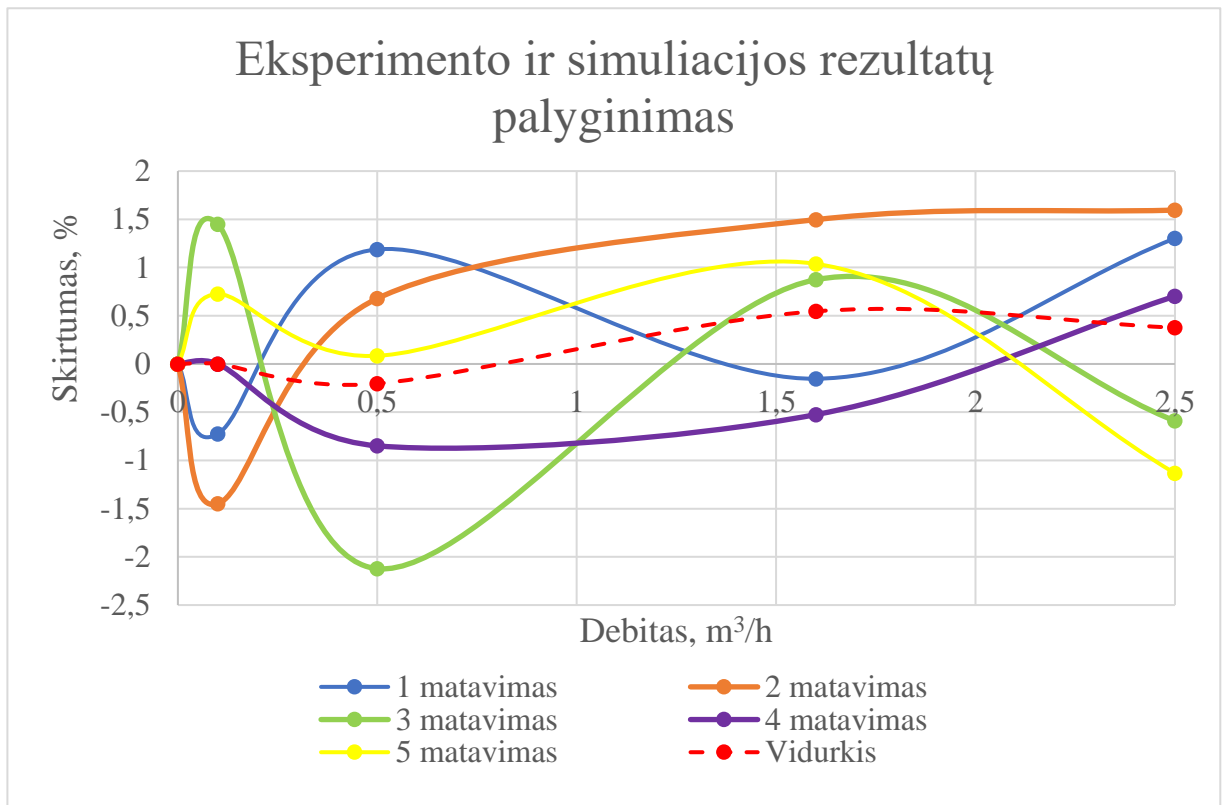
Debitas, m ³ /h	Vidurkis, bar	Dispersija, bar	Standartinis nuokrypis, bar	Pasikliautinis intervalas	
				Apatinė riba, bar	Viršutinė riba, bar
0	0	0	0	0	0
0,1	$6,9 \cdot 10^{-4}$	$6,25 \cdot 10^{-11}$	$7,906 \cdot 10^{-6}$	$6,97 \cdot 10^{-4}$	$6,83 \cdot 10^{-4}$
0,5	$1,18 \cdot 10^{-2}$	$2,393 \cdot 10^{-8}$	$1,547 \cdot 10^{-4}$	$1,19 \cdot 10^{-2}$	$1,16 \cdot 10^{-2}$
1,6	$9,2 \cdot 10^{-2}$	$6,049 \cdot 10^{-7}$	$7,777 \cdot 10^{-4}$	$9,27 \cdot 10^{-2}$	$9,13 \cdot 10^{-2}$
2,5	$2,297 \cdot 10^{-1}$	$7,407 \cdot 10^{-6}$	$2,722 \cdot 10^{-3}$	$2,320 \cdot 10^{-1}$	$2,273 \cdot 10^{-1}$

4.21 lentelė. Simuliacijos ir eksperimento rezultatų palyginimas ir įvertinimas

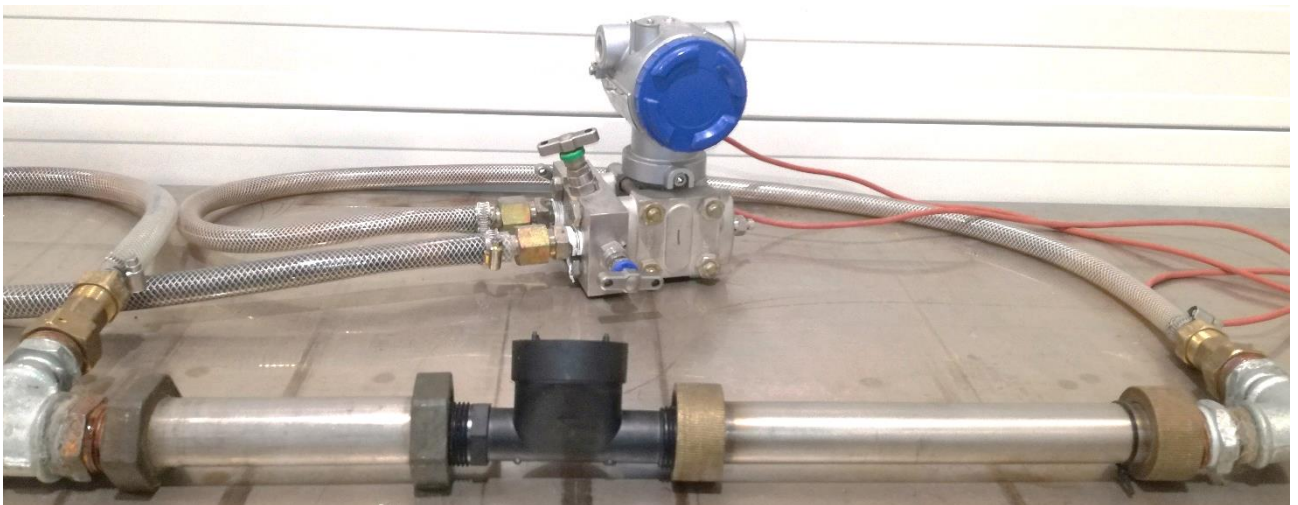
Debitas, m ³ /h	Simuliacijos ir matavimo skirtumas, %					
	1 matavimas	2 matavimas	3 matavimas	4 matavimas	5 matavimas	Vidurkis
0	0	0	0	0	0	0
0,1	-0,7246	-1,449	1,449	0	0,7246	0
0,5	1,189	0,6791	-2,122	-0,8489	0,0849	-0,2037
1,6	-0,153	1,497	0,8741	-0,5245	1,038	0,5463
2,5	1,302	1,595	-0,59	0,7037	-1,132	0,3759



4.16 pav. Vidutiniai eksperimento rezultatai su pasikliautiniais intervalais



4.17 pav. Simuliacijos ir eksperimento rezultatų palyginimas



4.18 pav. Eksperimento įranga



4.19 pav. Skaitiklio spausdintas įdėklas V6.10

Iš 4.21 lentelės ir 4.17 pav. matome, kad skirtumas tarp eksperimento ir simuliacijos rezultatų yra nežymus: tarp $-2,122\%$ ir $1,595\%$ (vidutinis $0,5463\%$). Kadangi paklaida neviršija 5% (yra ribose tarp $-2,5\%$ ir $2,5\%$), tai eksperimento matavimus galima laikyti tinkamais ir spausdinto modelio įvertinimą laikyti atliktu tinkamai.

Išvados

1. Apžvelgus skirtingų vandens skaitiklių tipų privalumus ir trūkumus bei palyginus su parinkta ultragarso bangas naudojančia konstrukcija nustatyta, kad šie išskirti skaitikliai pasižymi ilgaamžiškumu, duomenų per atstumą nuskaitymo bei išpėjimo apie nuotėkį galimybe ir nekintančiu matavimo tikslumu vidutiniškai net penkiolikos metų laikotarpyje. Šių skaitiklių trūkumai: švaros reikalavimai vamzdžių paviršiams, privaloma apsauga nuo į matuojamąją zoną patenkančio oro.
2. Buvo sudarytas skaičiuojamasis ultragarsinio vandens skaitiklio modelis, atlikta užduotyje nurodytų parametrų pakeitimo įtakos analizė tiriamiems rezultatams. Šiuos rezultatus palyginus su eksperimento metu gautais rezultatais nustatytas 2,8 % slėgio perkyčio neatitikimas.
3. Įvertinus techninius apribojimus iš šešių korekcijų grupių, viso šešiasdešimt trijų skirtingų korpuso ir įdėklo variantų buvo surinkta konstrukcija, apjungus didžiausią teigiamą įtaką turėjusius rezultatus (slėgio nuostoliai 0,245 bar; ekstreminiai greičiai 9,52 m/s ir -0,494m/s), atitinkanti pateiktus reikalavimus. Lengvesniam rezultatų įvertinimui buvo panaudota pageidaujamos funkcija.
4. Eksperimentiškai nustatytas susidarantis vandens skaitiklio tėkmės srautas, įvertinant susidarantį slėgio nuostolius, bei gauti rezultatai panaudoti skaitiklio patvirtinimui. Šiuos rezultatus palyginus su eksperimento metu gautais rezultatais, slėgio perkyčio neatitikimas nustatytas tarp -2,1 % ir 1,6 % (vidutinis 0,55 %).

Literatūros sąrašas

1. FURNESS, Richard A. Fluid flow measurement. Harlow: Longman in association with the Institute of Measurement and Control, 1989, 27-28. ISBN 0582031656.
2. Oval gear meter [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2019-04-14]. Prieiga per: https://howlingpixel.com/wiki/Flow_measurement
3. Rotating positive displacement meters [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2019-03-20]. Prieiga per: <https://www.omega.com/technical-learning/positive-displacement-flow-meter.html>
4. Nutating-disk flowmeter [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2020-03-21]. Prieiga per: <http://benvalle.com/Flow.htm>
5. HOLMAN, J. Alan. Experimental methods for engineers. Boston: McGraw-Hill, 2001, 78-79. ISBN 978-0-07-366055-4.
6. Impeller flow meter [interaktyvus]. 2017 [žiūrėta 2019-04-11]. Prieiga per: <https://www.badgermeter.com/articles/pros-cons-of-common-water-meteringtechnologies/>
7. Multiple jet flow meter [interaktyvus]. 2011 [žiūrėta 2020-03-25]. Prieiga per: <http://www.enggcylopedia.com/2011/07/mechanical-flow-measurement-devices/>
8. Turbine Flow Meters: The types and Fundamentals [interaktyvus]. 2015 [žiūrėta 2020-03-22]. Prieiga per: <https://flowmetersource.wordpress.com/tag/turbine-flow-meters/>
9. Turbine flow meters information [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2019-03-20]. Prieiga per: https://www.globalspec.com/learnmore/sensors_transducers_detectors/flow_sensing/turbine_flow_meters
10. Magnetic Flow Meter [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2019-03-23]. Prieiga per: <https://www.indiamart.com/wiconelectronics/flow-meter.html>
11. Construction of Magnetic flow meter [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2019-03-26]. Prieiga per: <http://instrumentationandcontrollers.blogspot.lt/2011/01/how-to-measure-flow-usingmagnetic-flow.html>
12. MA L., LIU J., WANG J. Study of the Accuracy of Ultrasonic Flowmeters fo Liquid [interaktyvus]. China: ScienceDirect, 2013, 5-8 [žiūrėta 2020-03-13]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.aasri.2012.11.004>
13. Ultrimis W – Ultrasonic water meter [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2019-03-26]. Prieiga per: <http://www.apator.com/en/offer/water-and-heat-metering/water-meters/ultrasonicwater-meters/ultrimis-w>
14. Ultrasound path methods [interaktyvus]. 2017 [žiūrėta 2020-03-30]. Prieiga per: <https://www.yamathosupply.com/blogs/news/tagged/facilities?page=3>
15. Pros & cons of common water metering technologies [interaktyvus]. 2017 [žiūrėta 2020-03-16]. Prieiga per: <https://www.badgermeter.com/articles/pros-cons-of-common-water-metering-technologies/>
16. SANDERSON M. L., YEUNG H. Guidelines for the use of ultrasonic non-invasive metering techniques [interaktyvus]. UK: ScienceDirect, 2002, 10-12 [žiūrėta 2020-03-13]. Prieiga per: doi: [https://doi.org/10.1016/S0955-5986\(02\)00043-2](https://doi.org/10.1016/S0955-5986(02)00043-2)
17. Smart Metering vs Tradicional Metering [interaktyvus]. 2015 [žiūrėta 2019-04-03]. Prieiga per: <https://www.kamstrup.com/en-uk/business-areas/water-metering/mechanicalvs-ultrasonic>

18. ASHER R. C. Ultrasonic sensors in the chemical and process industries [interaktyvus]. UK: ScienceDirect, 1983, 4-6 [žiūrėta 2020-02-04]. Prieiga per: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0022-3735/16/10/004/pdf>
19. Ultragarsas ir jo panaudojimas [interaktyvus]. 2015 [žiūrėta 2019-04-03]. Prieiga per: <http://mokslo.lt/referatai/fizika/ultragarsas-ir-jo-panaudojimas.html>
20. EITUTIS, A. ir KIAUŠINIS, S. Mechaninių dydžių matavimai: vadovėlis. Vilnius: Vilniaus pedagoginio universiteto leidykla, 2008, 75-77. ISBN 978-9955-20-262-2.
21. QIAN Y., SALEHIAN A., HAN S. W., KWON H. J. Design and analysis of an ultrasonic tactile sensor using electro- mechanical analogy [interaktyvus]. Canada: ScienceDirect, 2020, 2-4 [žiūrėta 2020-04-17]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.ultras.2020.106129>
22. Neišsemiamos ultragarso galimybės: nuo gręžimo iki suvirinimo [interaktyvus]. 2012 [žiūrėta 2020-04-06]. Prieiga per: http://www.technologijos.lt/n/svietimas/kurstoti/kur_ir_ka_studijuoti/specialybes/tyrimai/straipsnis?name=S-25924
23. KHARI M. T. M., IBRAHIM S., YUNUS M. A. M., FARAMARZI M., SEAN G. P., PUSPPANATHAN J., ABID A. Ultrasound computed tomography for materials inspection: Principles, design and applications [interaktyvus]. Malaysia: ScienceDirect, 2019, 6 [žiūrėta 2020-01-31]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.06.053>
24. Ultrasonic Sensing [interaktyvus]. 2017 [žiūrėta 2019-03-28]. Prieiga per: <http://www.ab.com/en/epub/catalogs/12772/6543185/12041221/12041229/print.html>
25. NAROUZE S. N. Basic of ultrasound imaging [interaktyvus]. Amsterdam: ScienceDirect, 2007, 10-11 [žiūrėta 2020-02-07]. Prieiga per: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4419-1681-5_2
26. OSTAŠEVIČIUS, Vytautas. Produkto kūrimas [interaktyvus]. Vilnius: TEV, 2012, 75-78 [žiūrėta 2020-04-01]. e-ISBN 978-609-433-116-9. Prieiga per: <https://www.ebooks.ktu.lt/eb/446/produkto-kurimas/>
27. IBBOTSON S. M., KARA S. An approach to identify the factors that affect a products life time energy consumption during the concept design stage [interaktyvus]. Australia: ScienceDirect, 2018, 4-5 [žiūrėta 2020-02-27]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.02.033>
28. LI L., YU S., TAO J. Design for energy efficiency in early stages: A top-down method for new product development [interaktyvus]. China: ScienceDirect, 2019, 8 [žiūrėta 2020-02-17]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.137>
29. QURESHI A. J., GERICKE K., BLESSING L. Stages in Product Lifecycle: Transdisciplinary Design Context [interaktyvus]. Australia: ScienceDirect, 2014, 11-12 [žiūrėta 2020-02-21]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.03.131>
30. ŽDANKUS N. T., ŽDANKUS T. Skysčių mechanika. Mokomoji knyga. [interaktyvus]. Kaunas: Vilniaus pedagoginio universiteto leidykla, 2011, 65, 70, 81-82 [žiūrėta 2019-10-28]. e-ISBN 978-609-02-0502-0. Prieiga per: <https://www.ebooks.ktu.lt/eb/264/skysciu-mechanika/>
31. Water meters for cold potable water and hot water. Part 1: Metrological and technical requirements. [interaktyvus]. 2019 National Measurement Institute. NMI R 49-1 Lindfield, Commonwealth of Australia, 2001, 11-20 [žiūrėta 2019-11-01]. Prieiga per: <https://www.measurement.gov.au/Publications/PAREquirements/Documents/NMI%20R%2049-1.pdf>

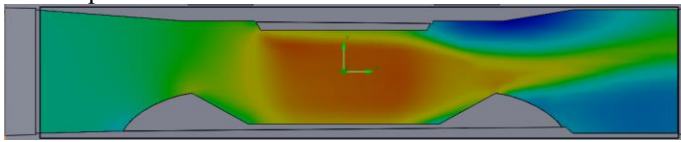
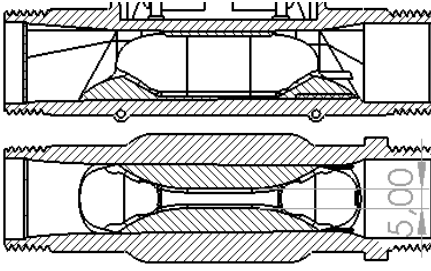
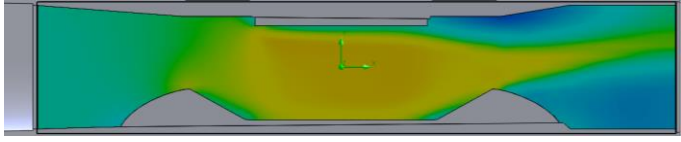
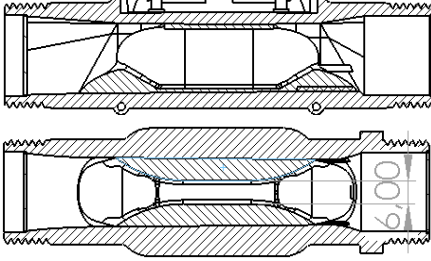
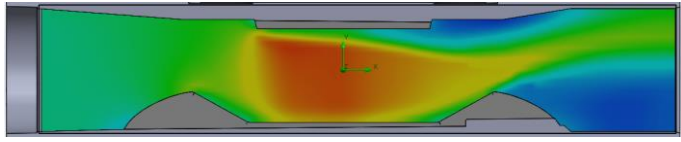
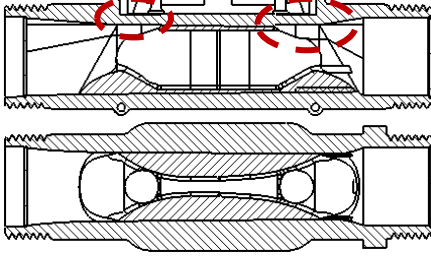
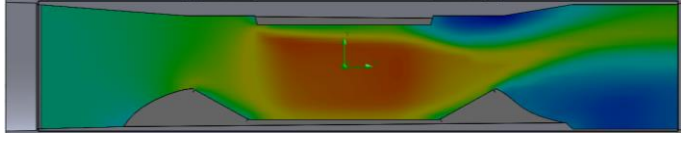
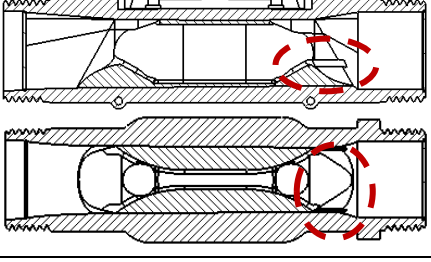
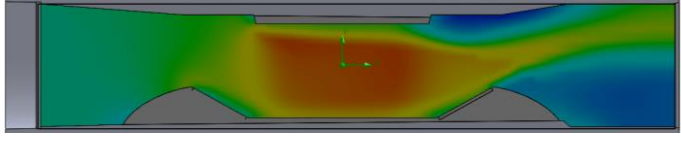
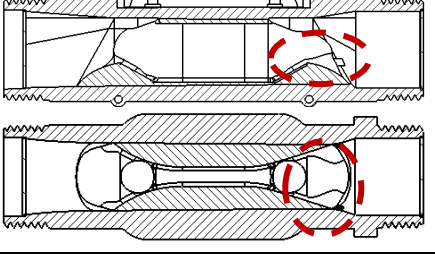
32. GOVINDALURI M., CHO B. Robust design modeling and optimization with correlated quality characteristics using a multicriteria decision framework. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* [interaktyvus]. 2007, 8-9 [žiūrėta 2020-03-20]. DOI: 10.1007/s00170-005-0349-6. Prieiga per: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-005-0349-6>
33. PASANDIDEH S. H. R., NIAKI S. T. A. Multi-response simulation optimization using genetic algorithm within desirability function framework [interaktyvus]. Iran: ScienceDirect, 2005, 7-8 [žiūrėta 2020-04-22]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.amc.2005.07.023>
34. COSTA N. R., LOUNRENCO J., PEREIRA Z. L. Desirability function approach: A review and performance evaluation in adverse conditions. [interaktyvus]. Portugal: ScienceDirect, 2011, 11-12 [žiūrėta 2020-05-02]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169743911000797>
35. WU F. C. Optimization of correlated multiple quality characteristics using desirability function [interaktyvus]. Taiwan: ScienceDirect, 2005, 7 [žiūrėta 2020-04-24]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1081/QEN-200028725>
36. ORTIZ M.C., SARABIA L., HERRERO A., SANCHEZ M. S. Vectorial optimization as a methodological alternative to desirability function [interaktyvus]. Burgos, Spain: ScienceDirect, 2005, 4 [žiūrėta 2020-04-24]. DOI: 10.1016/j.chemolab.2005.11.005. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169743906000608>
37. SOLIDWORKS Flow Simulation. Dassault Systemes SolidWorks Corporation [interaktyvus], Vilnius: TEV, 2016, 4-6 [žiūrėta 2020-03-27]. Prieiga per: <https://inre.lt/solidworks/sprendimai/inzinerine-analize-cae/solidworks-flow-simulation/>
38. HE. Y, MULLER F., HASSANPOUR A., BAYLY A. E.. A CPU-GPU cross-platform coupled CFD-DEM approach for complex particle-fluid flows [interaktyvus]. UK: ScienceDirect, 2020, 2-3 [žiūrėta 2020-04-27]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.ces.2020.115712>
39. GAN. J. Q., ZHOU Z. Y., YU A. B. A GPU-based DEM approach for modelling of particulate systems [interaktyvus]. Australia: ScienceDirect, 2016, 9 [žiūrėta 2020-04-14]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2016.07.072>
40. WU C. L., AYENI O., BERROUK A. S., NANDAKUMAR K. Parallel algorithms for CFD-DEM modeling of dense particulate flows [interaktyvus]. USA: ScienceDirect, 2014, 4-6 [žiūrėta 2020-04-14]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.ces.2014.07.043>
41. Validation Methodology for Modern CAD-Embedded CFD Code: from Fundamental Tests to Industrial Benchmarks. Dassault Systemes SolidWorks Corporation, [interaktyvus]. 2013, 8 [žiūrėta 2020-04-28]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169743911000797>
42. FILO G., LISOWSKI E., RAJDA J. Flow analysis of a switching valve with innovative poppet head geometry by means of CFD method [interaktyvus]. Poland: ScienceDirect, 2019, 2-4 [žiūrėta 2020-04-19]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2019.101643>
43. BAČINSKAS A., JANILIONIS V., JOKIMAITIS A. Tikimybių teorijos ir statistiko praktikumas. Mokomoji knyga. [interaktyvus]. Kaunas: Technologija, 2001, 142-143, 161 [žiūrėta 2020-03-28]. e-ISBN 978-9955-25-943-5. Prieiga per: <https://www.ebooks.ktu.lt/eb/139/tikimybiu-teorijos-ir-statistikos-praktikumus/>

Priedai

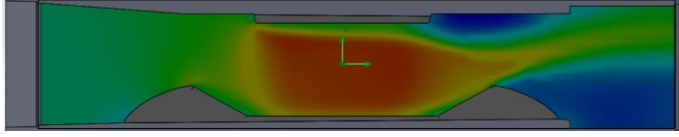
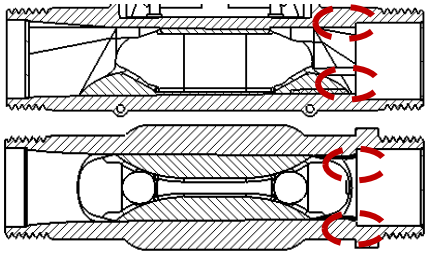
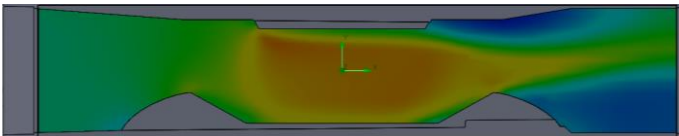
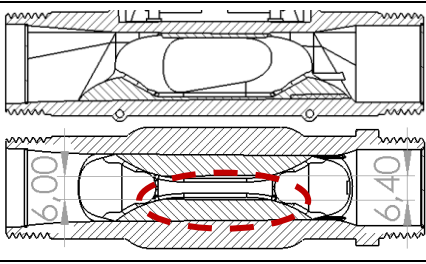

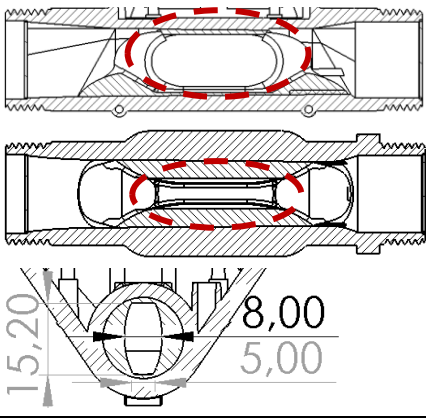
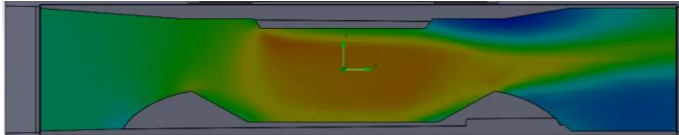
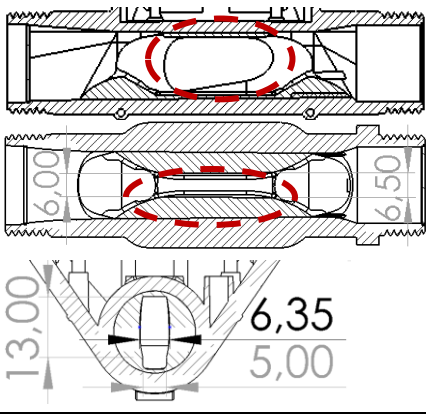
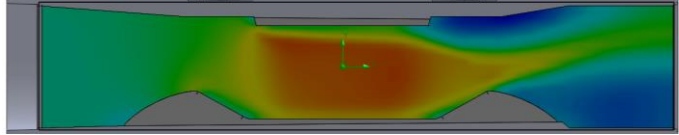
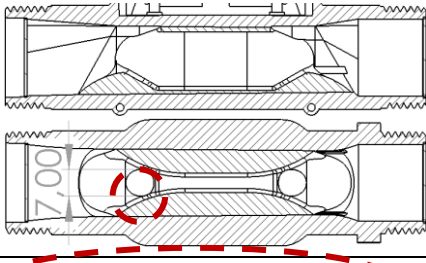
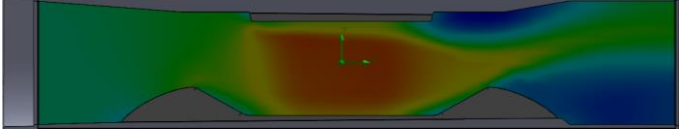
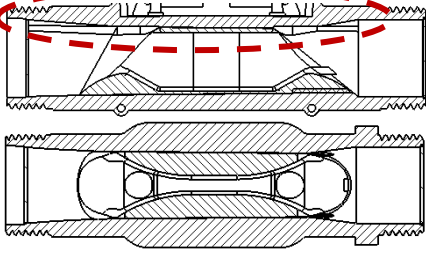
1 PRIEDAS. Visų šešių grupių modifikacijos ir jų vaizdai

Visų šešių korekcijų grupių, atliktos modifikacijos ir jų vaizdai 4.22 – 4.27 lentelės.

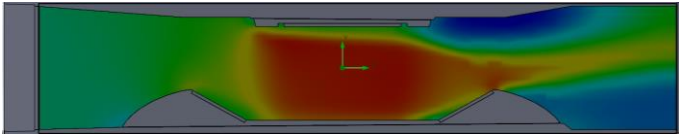
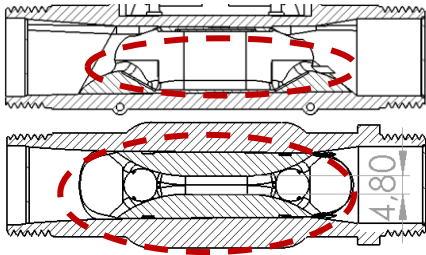
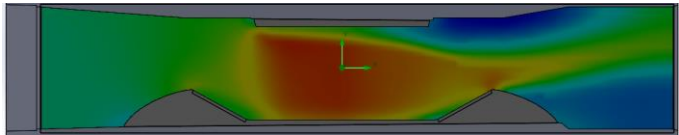
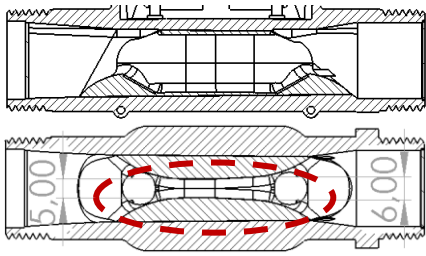
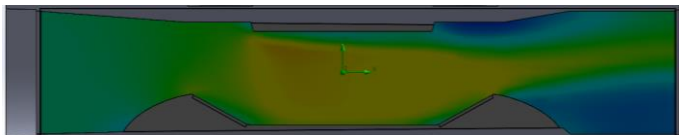
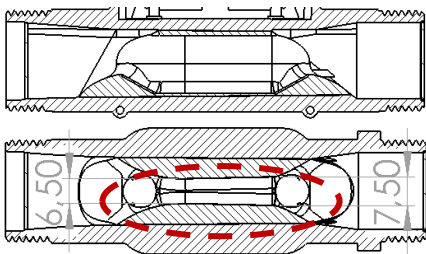
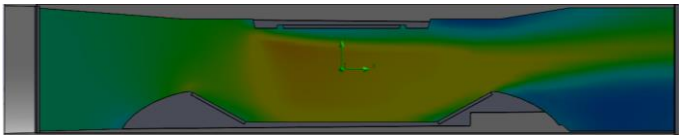
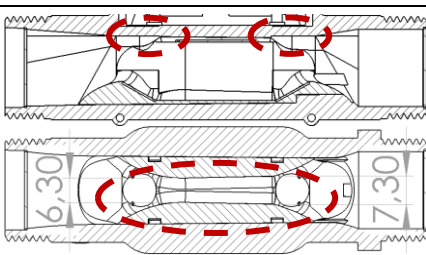
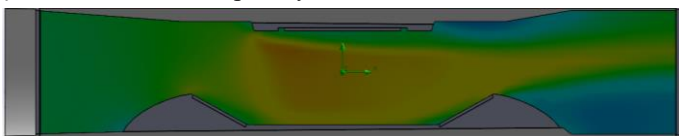
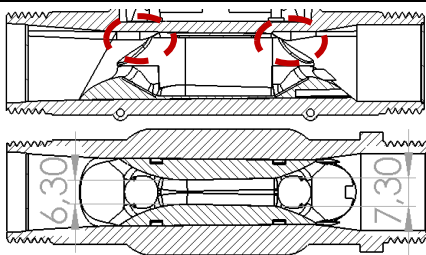
4.22 lentelė. Pirmosios korekcijų grupės – įdėklo geometrijos korekcijų – modifikacijų vaizdai

Modelio versija/ Pirmtako versija	Atlikta korekcija ir tėkmės srautų pasiskirstymas	Modelio horizontalus ir vertikalus pjūvis
V1.1/ V1.1	Kanalo plotis 5 mm  -4.000 -2.333 -0.667 1.000 2.667 4.333 6.000 7.667 9.333 11.000	
V1.2/ V1.1	Kanalo plotis 6 mm 	
V1.3/ V1.1	Įdėklo išpjovimai sutampa su korpuso 	
V1.4/ V1.3	Įdėklo galinė dalis pakeista 	
V1.5/ V1.3	Įdėklo galinė dalis pakeista 	

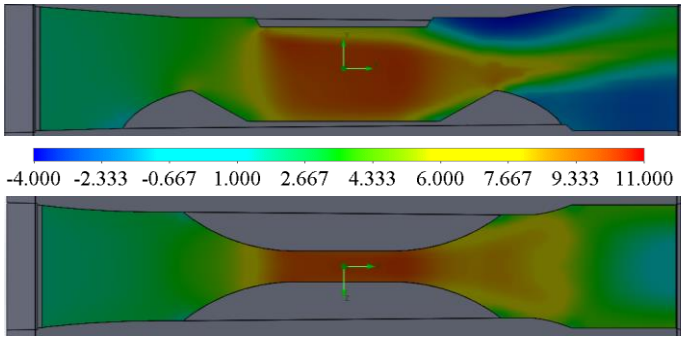
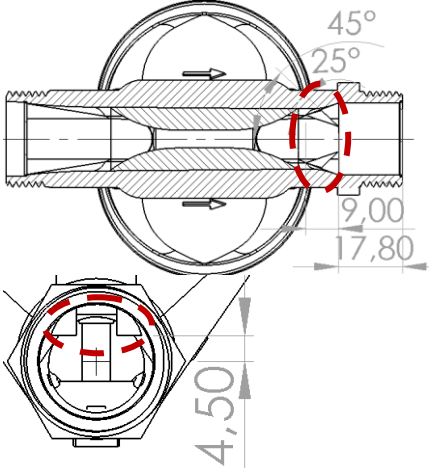
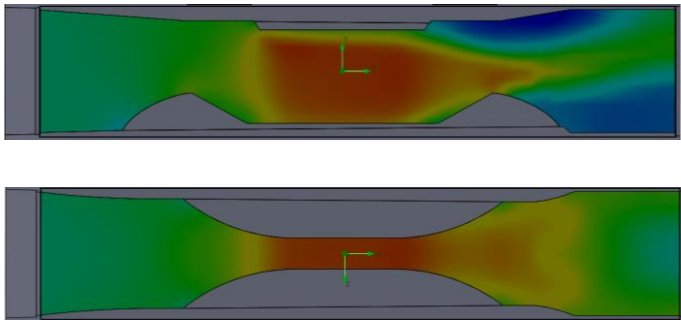
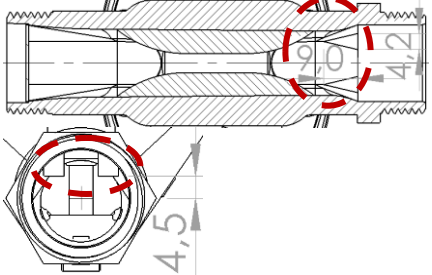
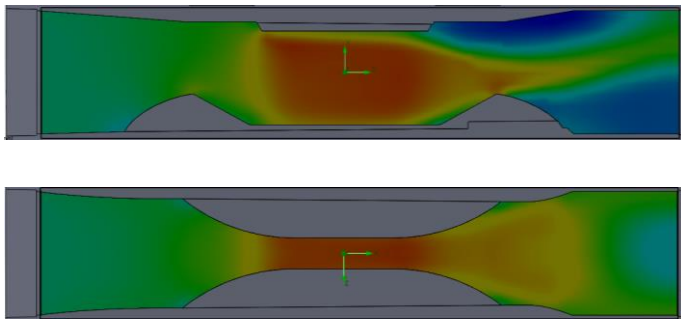
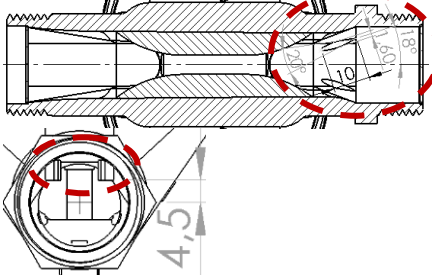
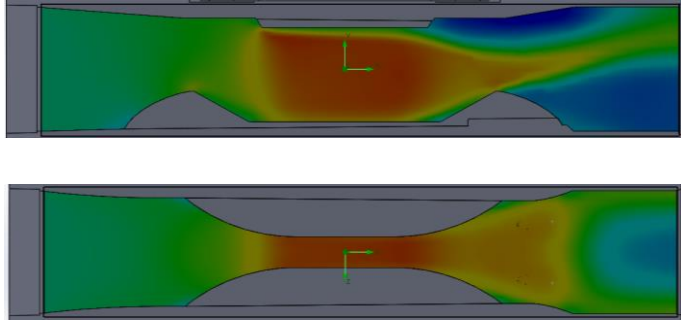
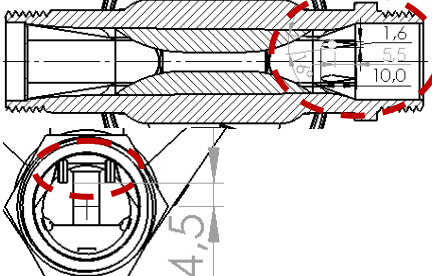
4.22 lentelė. (tęsinys)

<p>V1.6/ V1.3</p>	<p>Modifikuota korpuso išėjimo dalis</p> 	
<p>V1.7/ V1.1</p>	<p>Platėjantis ovalas iš 6 mm į 6,4 mm</p> 	
<p>V1.8/ V1.1</p>	<p>Ovalas 8 mm pločio</p> 	
<p>V1.9/ V1.1</p>	<p>Platėjantis ovalas iš 6 mm į 6,5 mm</p> 	
<p>V1.10/V 1.3</p>	<p>Sumažinti veidrodėliai (iš 8,5 mm į 7 mm)</p> 	
<p>V1.11/V 1.10</p>	<p>Nupjauti įdėklo šonai, ištiesintas korpusas</p> 	

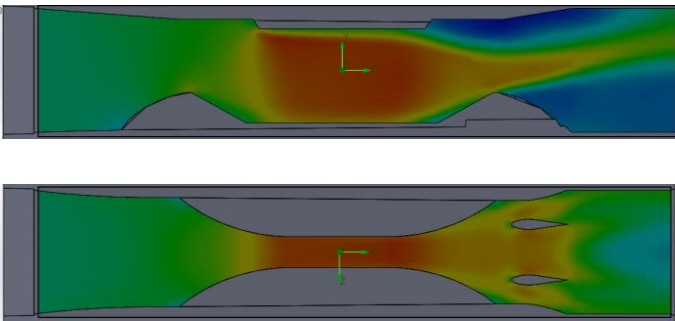
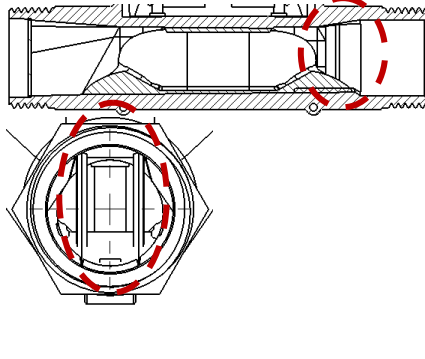
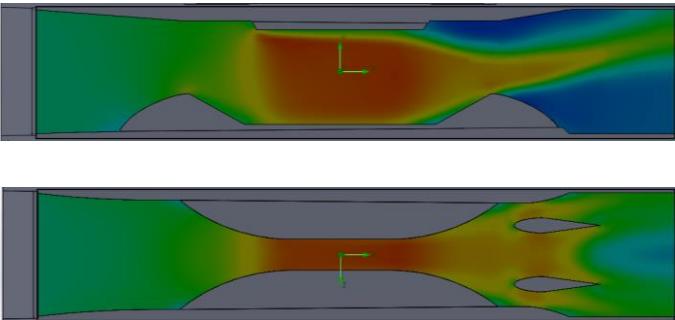
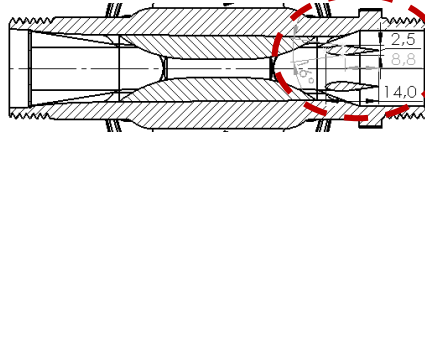
4.22 lentelė. (tęsinys)

<p>V1.12/ Įdėklas V1.3; Korpusas V1.11</p>	<p>Didesni įdėklo vidaus užapvalinimai</p> 	
<p>V1.13/V 1.12</p>	<p>Platėjantis kanalas iš 5 mm į 6 mm</p> 	
<p>V1.14/V 1.12</p>	<p>Platėjantis kanalas iš 6,5 mm į 7,5 mm</p> 	
<p>V1.15/V 1.3</p>	<p>Platėjantis kanalas iš 6,3 mm į 7,3 mm; Įdėklo viršutinė dalis pataisyta</p> 	
<p>V1.16/V 1.15</p>	<p>Įdėklo viršutinė dalis pataisyta</p> 	

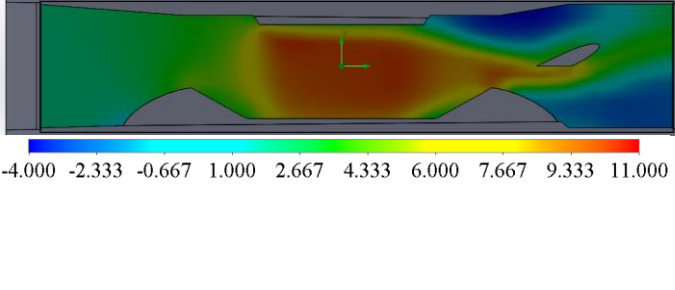
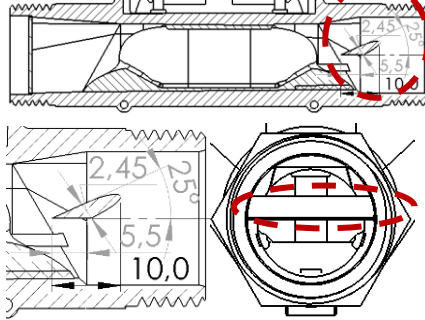
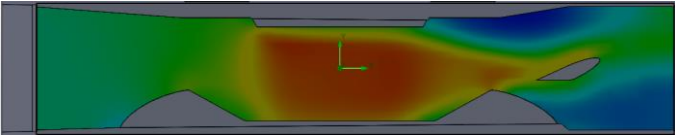
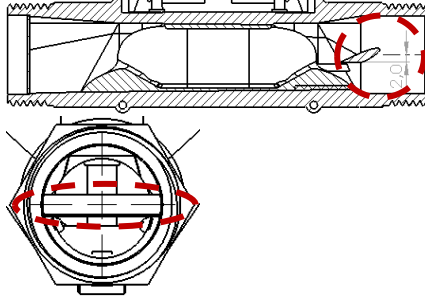
4.23 lentelė. Antrosios korekcijų grupės – vertikalių ir sparno formos elementų pridėjimo – modifikacijų vaizdai

Modelio versija/ Pirmtako versija	Atlikta korekcija ir tėkmės srautų pasiskirstymas	Modelio horizontalus ir vertikalus pjūvis
V2.1/ V1.1	<p>Sparneliai V1</p> 	
V2.2/ V1.1	<p>Trikampiai sparneliai V2</p> 	
V2.3/ V1.1	<p>Sparno formos sparneliai V3</p> 	
V2.4/ V1.1	<p>Ištiesinti sparno formos sparneliai V4</p> 	

4.23 lentelė. (tęsinys)

<p>V2.5/ V2.4</p>	<p>V4 sparneliai per visą skaitiklio aukštį</p> 	
<p>V2.6/ V1.1</p>	<p>Sparneliai V5 per visą skaitiklio aukštį</p> 	

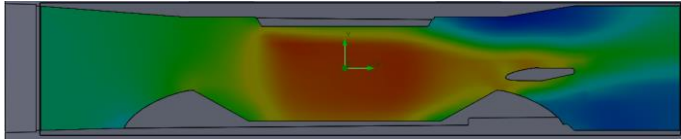
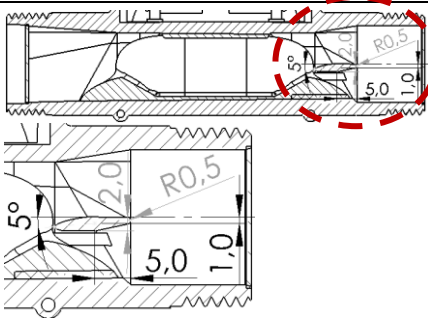
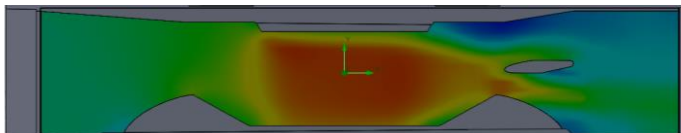
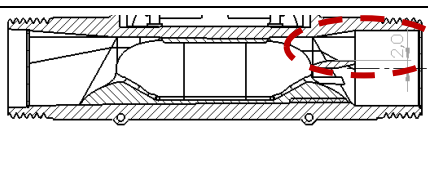
4.24 lentelė. Trečiosios korekcijų grupės – horizontalaus sparno pridėjimo – modifikacijų vaizdai

<p>Modelio versija/ Pirmtako versija</p>	<p>Atlikta korekcija ir tėkmės srautų pasiskirstymas</p>	<p>Modelio horizontalus ir vertikalus pjūvis</p>
<p>V3.1/ V1.1</p>	<p>Sparnas V1 (apatinė briauna sutampa su centrine plokštuma)</p> 	
<p>V3.2/ V3.1</p>	<p>Sparnas V1 (nuleistas žemyn per 2 mm)</p> 	

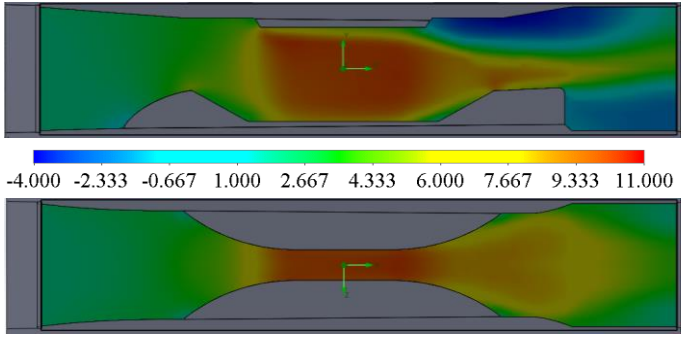
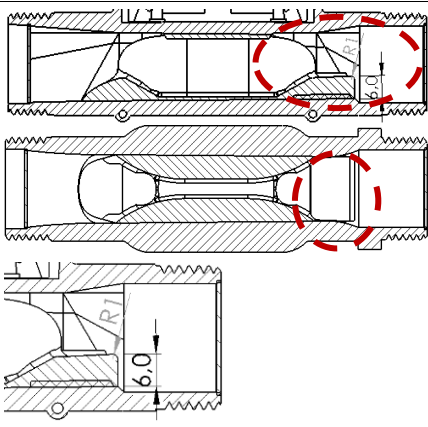
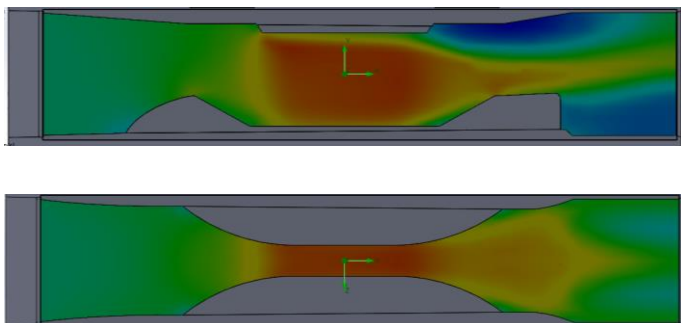
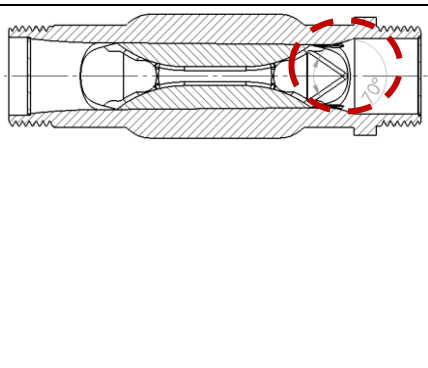
4.24 lentelė. (tęsinys)

<p>V3.3/ V1.1</p>	<p>Sparnas V2 (viršutinė briauna sutampa su centrine plokštuma)</p>	
<p>V3.4/ V3.3</p>	<p>Sparnas V2 (priekis užapvalintas)</p>	
<p>V3.5/ V3.3</p>	<p>Sparnas V2 (sparnas nuleistas 2 mm žemyn)</p>	
<p>V3.6/ V3.3</p>	<p>Sparnas V2 (sparnas pakeltas 2 mm aukšty)</p>	
<p>V3.7/ V3.6</p>	<p>Sparnas V2 (priekis užapvalintas)</p>	
<p>V3.8/ V1.1</p>	<p>Sparnas ovalus V3 (ovalo centras 1 mm žemiau nuo centro plokštumos)</p>	
<p>V3.9/ V3.8</p>	<p>Sparnas ovalus V3 (ovalo centras 1 mm aukščiau nuo centro plokštumos)</p>	

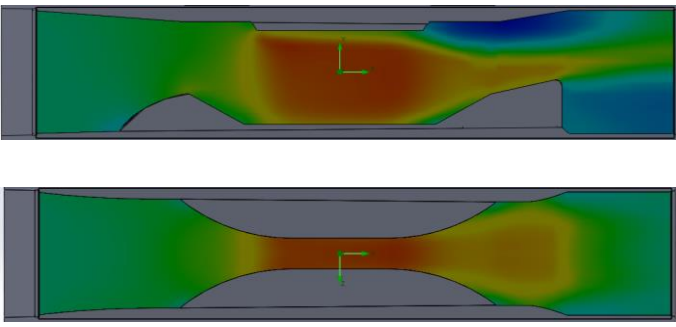
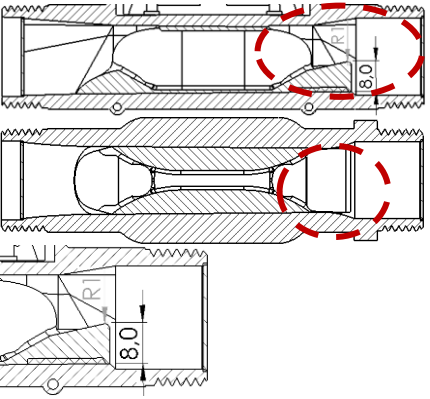
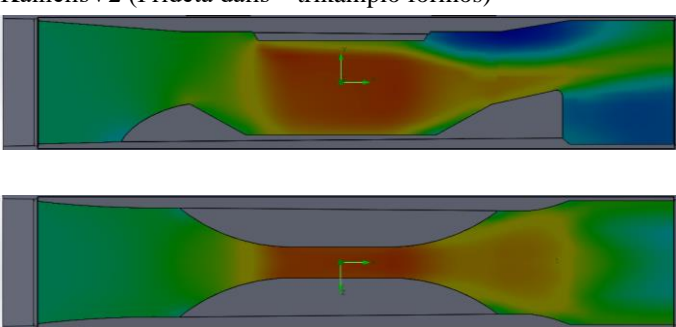
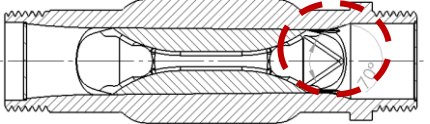
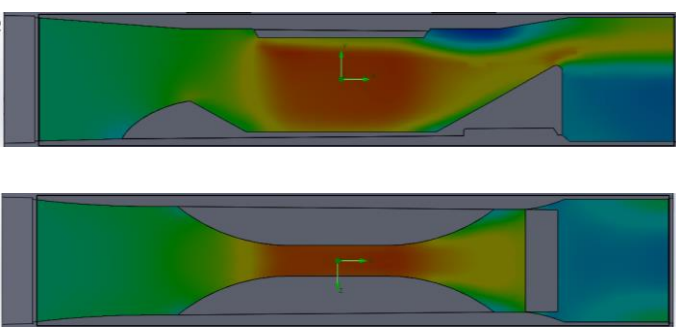
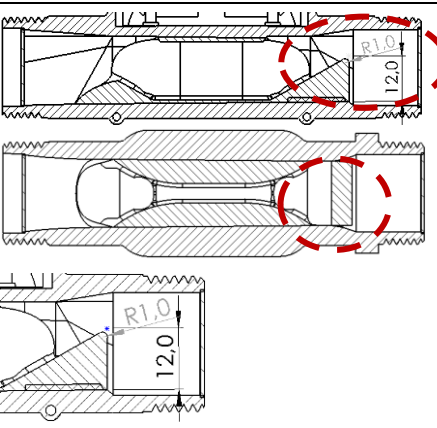
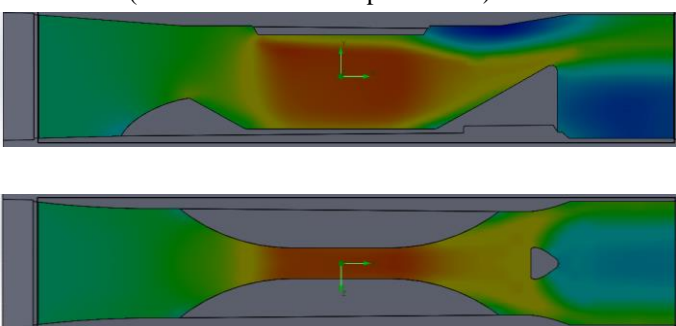
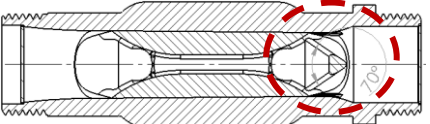
4.24 lentelė. (tęsinys)

<p>V3.10/ V3.8</p>	<p>Sparnas V4 (viršutinė briauna sutampa su centrine plokštuma) (V3 su mažiau užapvalinimū)</p> 	
<p>V3.11/ V3.10</p>	<p>Sparnas V4 (sparnas pakeltas 2 mm aukšty)</p> 	

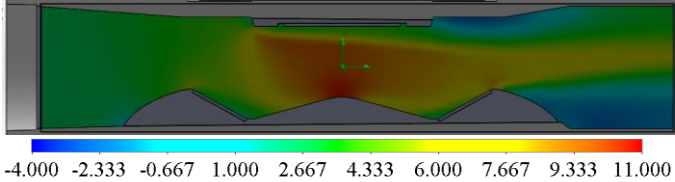
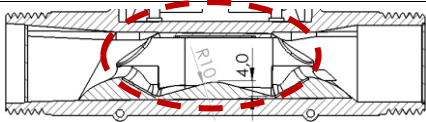
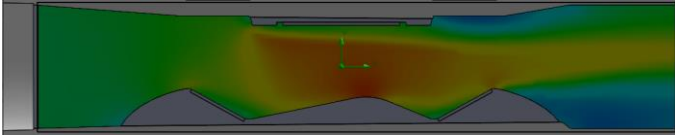
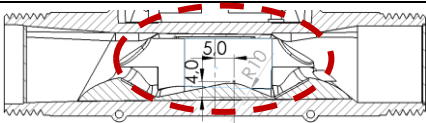
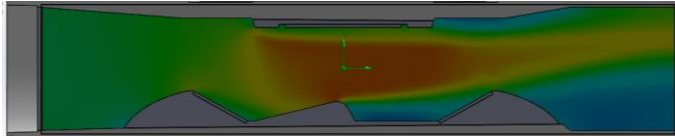
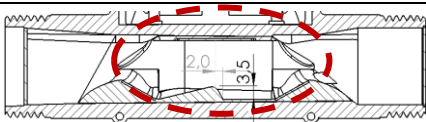
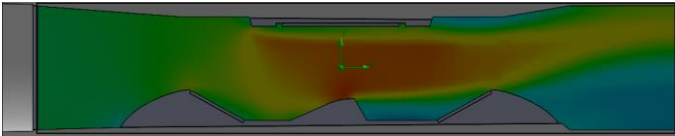
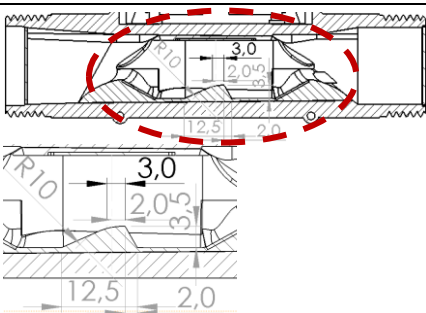
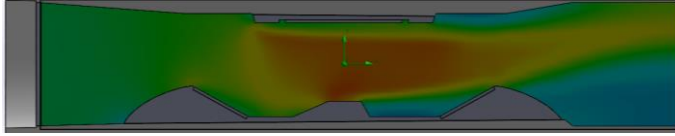
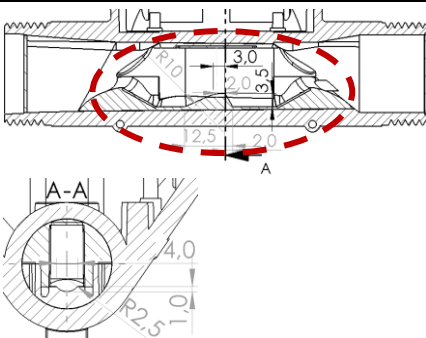
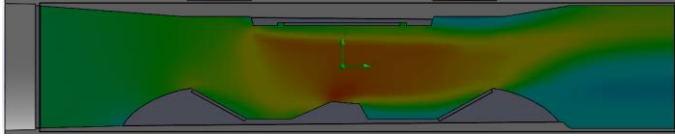
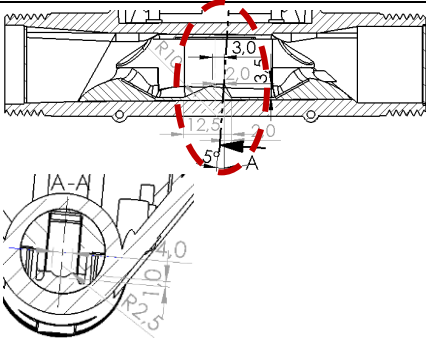
4.25 lentelė. Ketvirtosios korekcijų grupės – įdėklo galinės dalies pakėlimo – modifikacijų vaizdai

<p>Modelio versija/ Pirmtako versija</p>	<p>Atlikta korekcija ir tėkmės srautų pasiskirstymas</p>	<p>Modelio horizontalus ir vertikalus pjūvis</p>
<p>V4.1/ V1.1</p>	<p>KalnelisV1 (ilgis iki korpuso plėtimosi ribos)</p>  <p>-4.000 -2.333 -0.667 1.000 2.667 4.333 6.000 7.667 9.333 11.000</p>	
<p>V4.2/ V4.1</p>	<p>KalnelisV1 (Pridėta dalis – trikampio formos)</p> 	

4.25 lentelė. (tęsinys)

<p>V4.3/ V4.1</p>	<p>KalnelisV2</p> 	
<p>V4.4/ V4.3</p>	<p>KalnelisV2 (Pridėta dalis – trikampio formos)</p> 	
<p>V4.5/ V4.1</p>	<p>KalnelisV3</p> 	
<p>V4.6/ V4.5</p>	<p>KalnelisV3 (Pridėta dalis – trikampio formos)</p> 	

4.26 lentelė. Penktosios korekcijų grupės – kalnelio pridėjimo įdėklo vidurinėje dalyje – modifikacijų vaizdai (modelio vertikaliuose pjūviuose, centre vertikali linija – įdėklo vidurio linija)

Modelio versija/ Pirmtako versija	Atlikta korekcija ir tėkmės srautų pasiskirstymas	Modelio horizontalus ir vertikalus pjūvis
V5.1/ V1.16	Kalnelis V1 	
V5.2/ V1.16	Kalnelis V2 	
V5.3/ V1.16	Kalnelis V3 	
V5.4/ V1.16	Kalnelis V4 	
V5.5/ V5.4	Kalnelis V4, išpjova V1 	
V5.6/ V5.5	Kalnelis V4, išpjova V1 paversta 5° 	

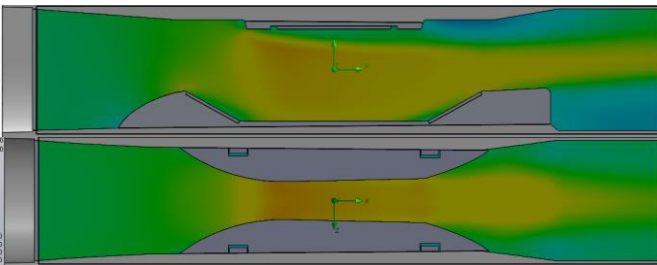
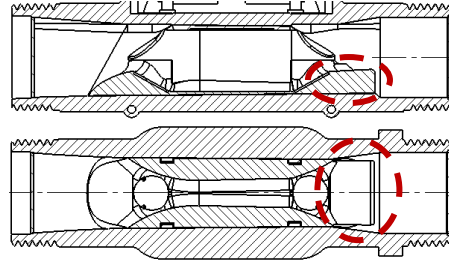
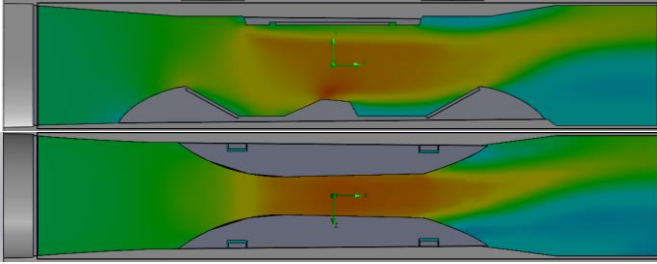
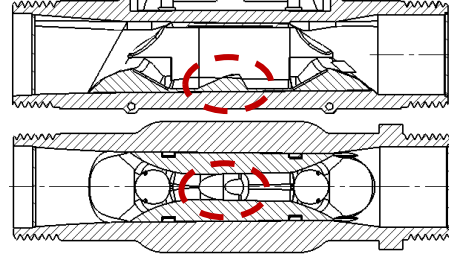
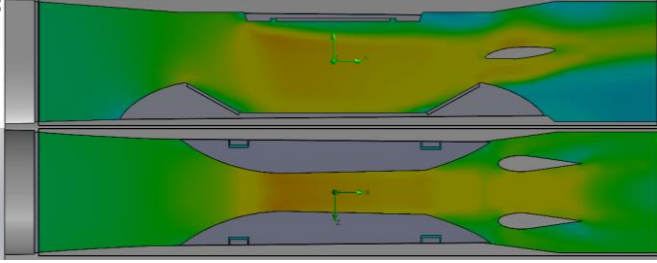
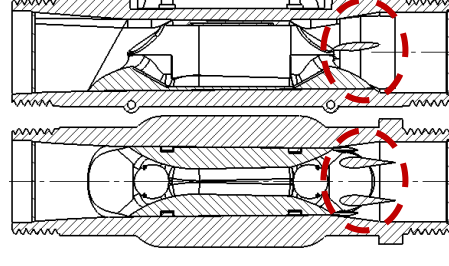
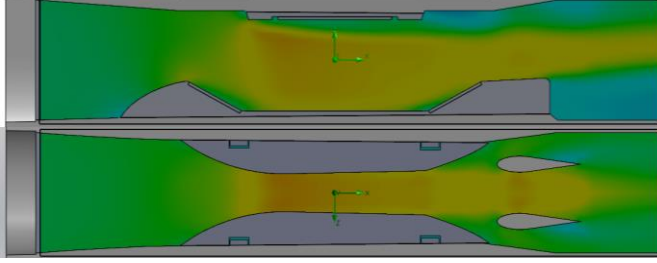
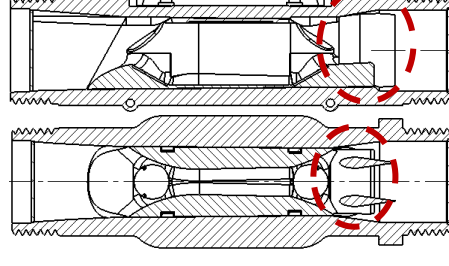
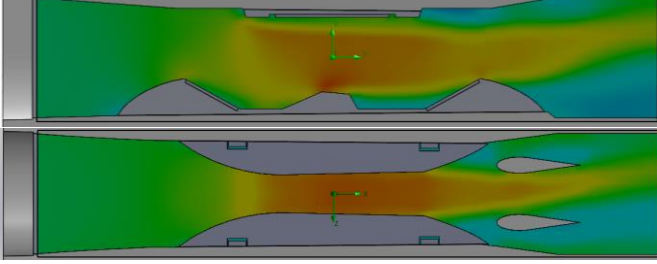
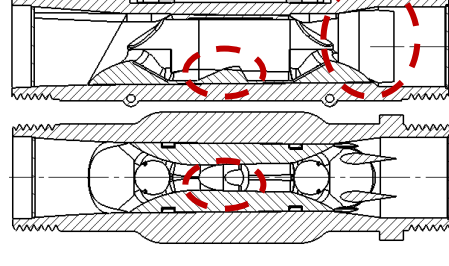
4.26 lentelė. (tęsinys)

<p>V5.7/ V5.5</p>	<p>Kalnelis V4, išpjova V1 paversta 10°</p>	
<p>V5.8/ V5.7</p>	<p>Kalnelis V4, išpjova V2 (pasiaurinta iki 3mm)</p>	

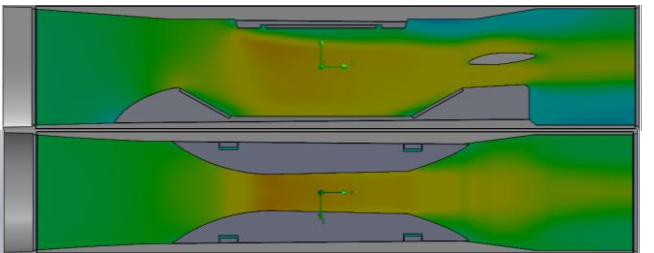
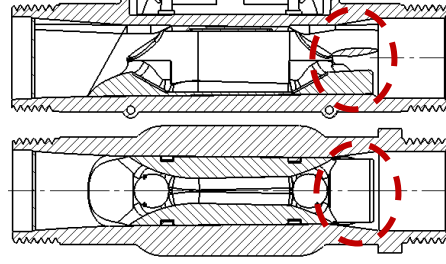
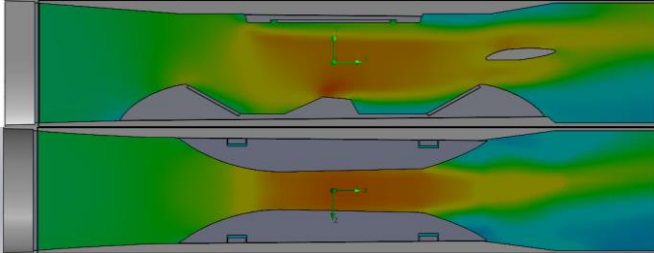
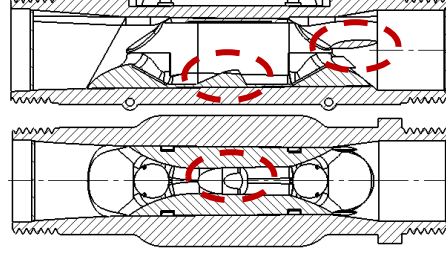
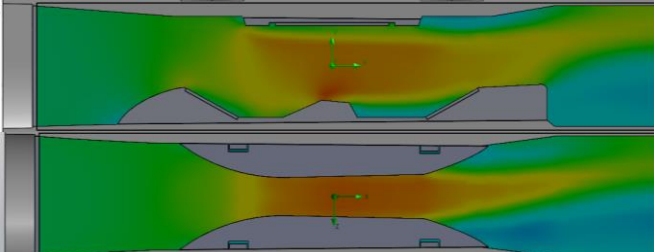
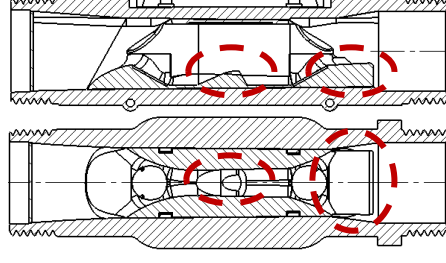
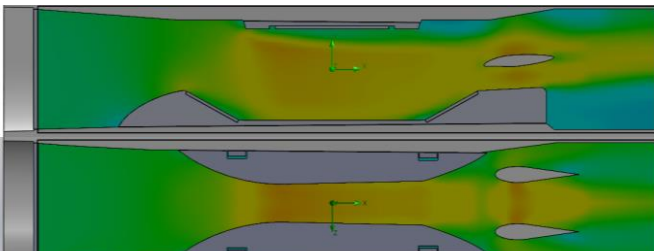
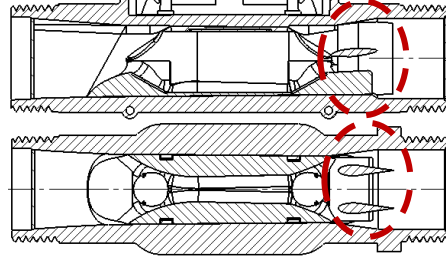
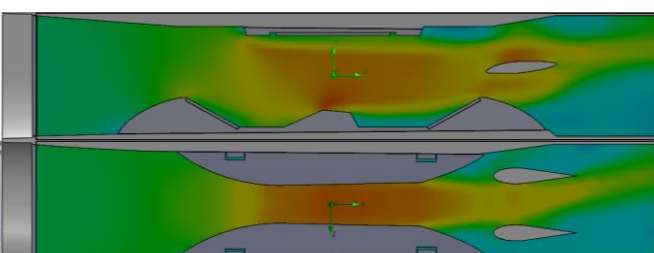
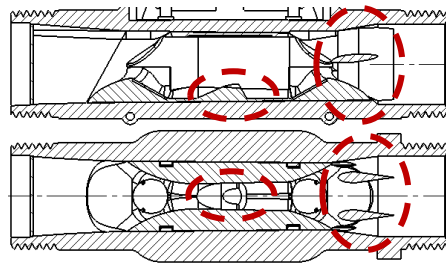
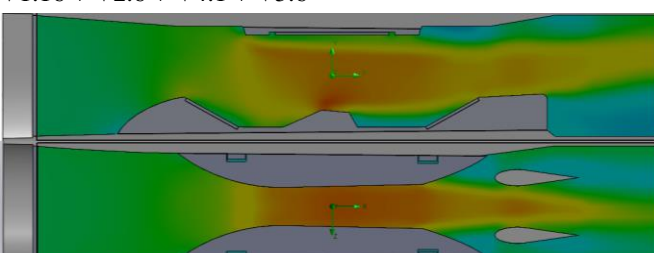
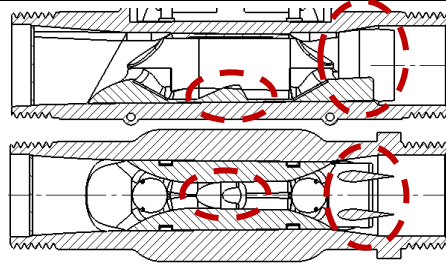
4.27 lentelė. Šeštosios korekcijų grupės – geriausio modelio sudarymo – modifikacijų vaizdai

Modelio versija	Atlikta korekcija ir tėkmės srautų pasiskirstymas	Modelio horizontalus ir vertikalus pjūvis
<p>V6.1</p>	<p>V1.16</p>	
<p>V6.2</p>	<p>V1.16 + V2.6</p>	
<p>VV6.3</p>	<p>V1.16 + V3.8</p>	

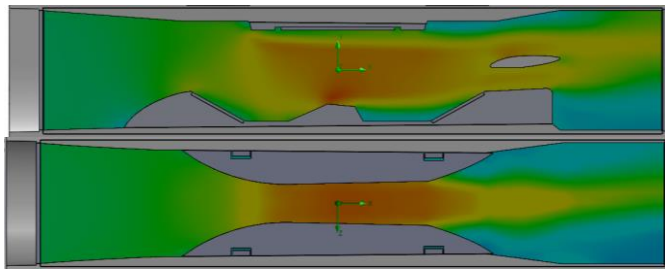
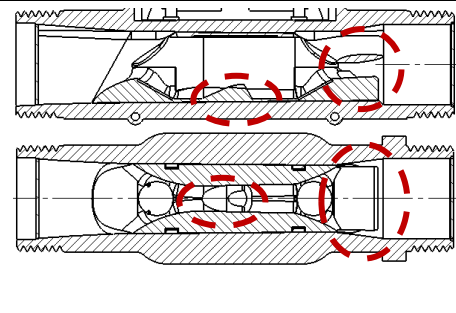
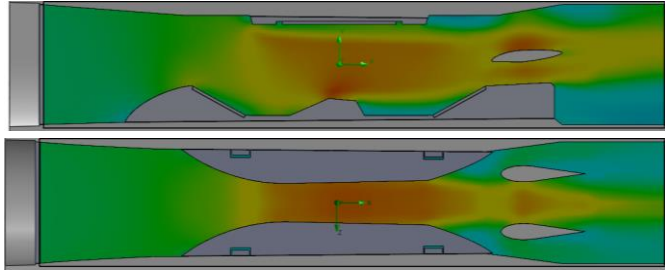
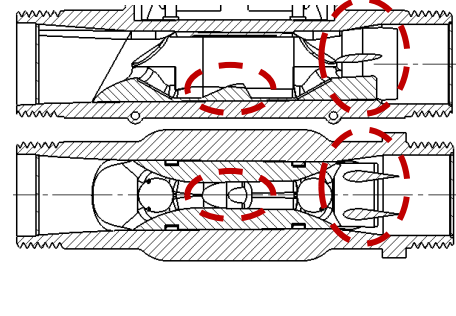
4.27 lentelė. (tęsinys)

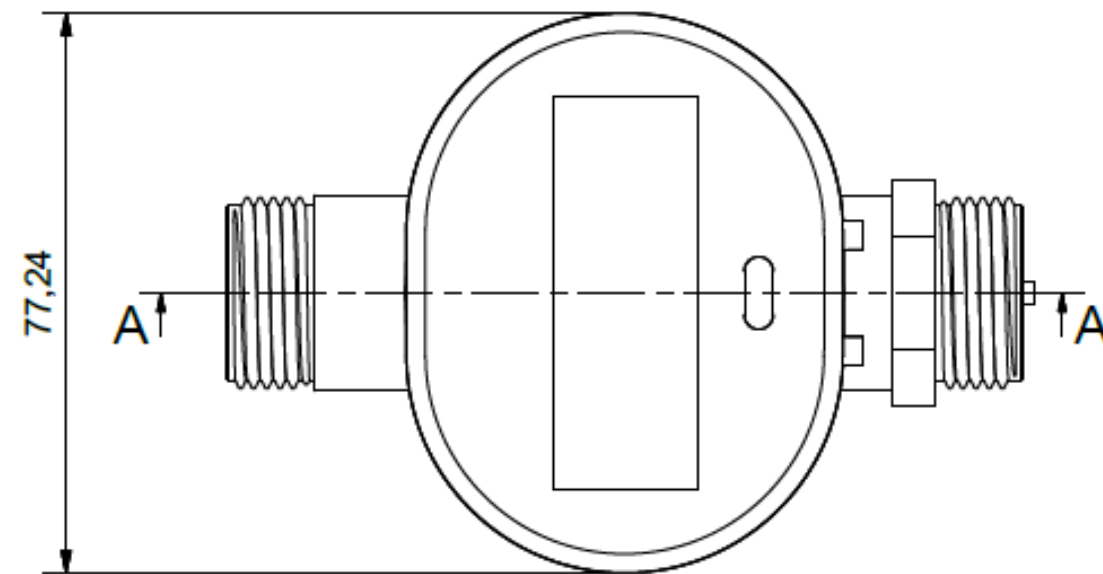
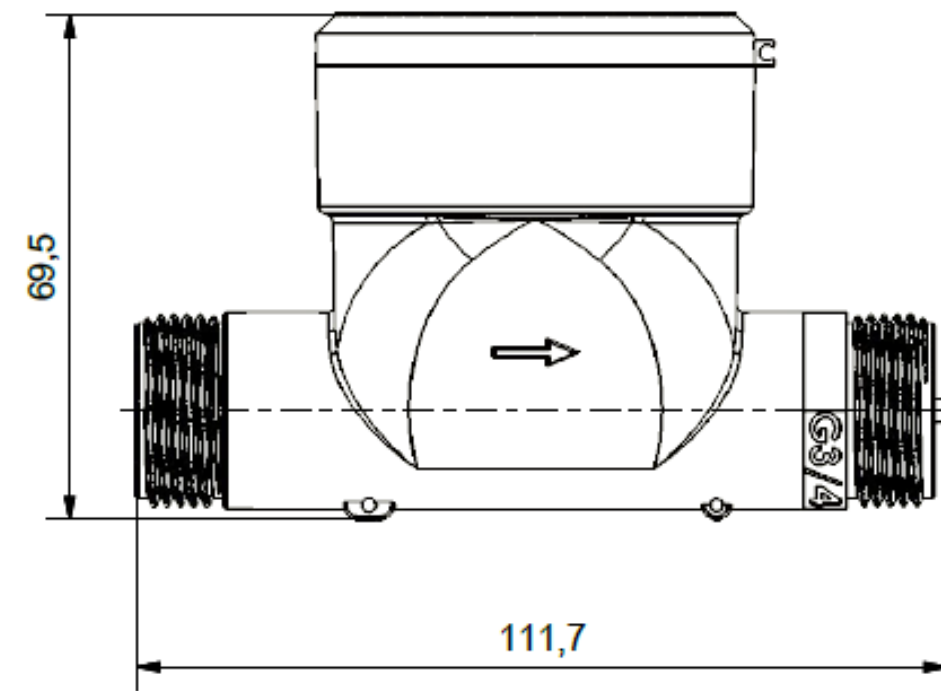
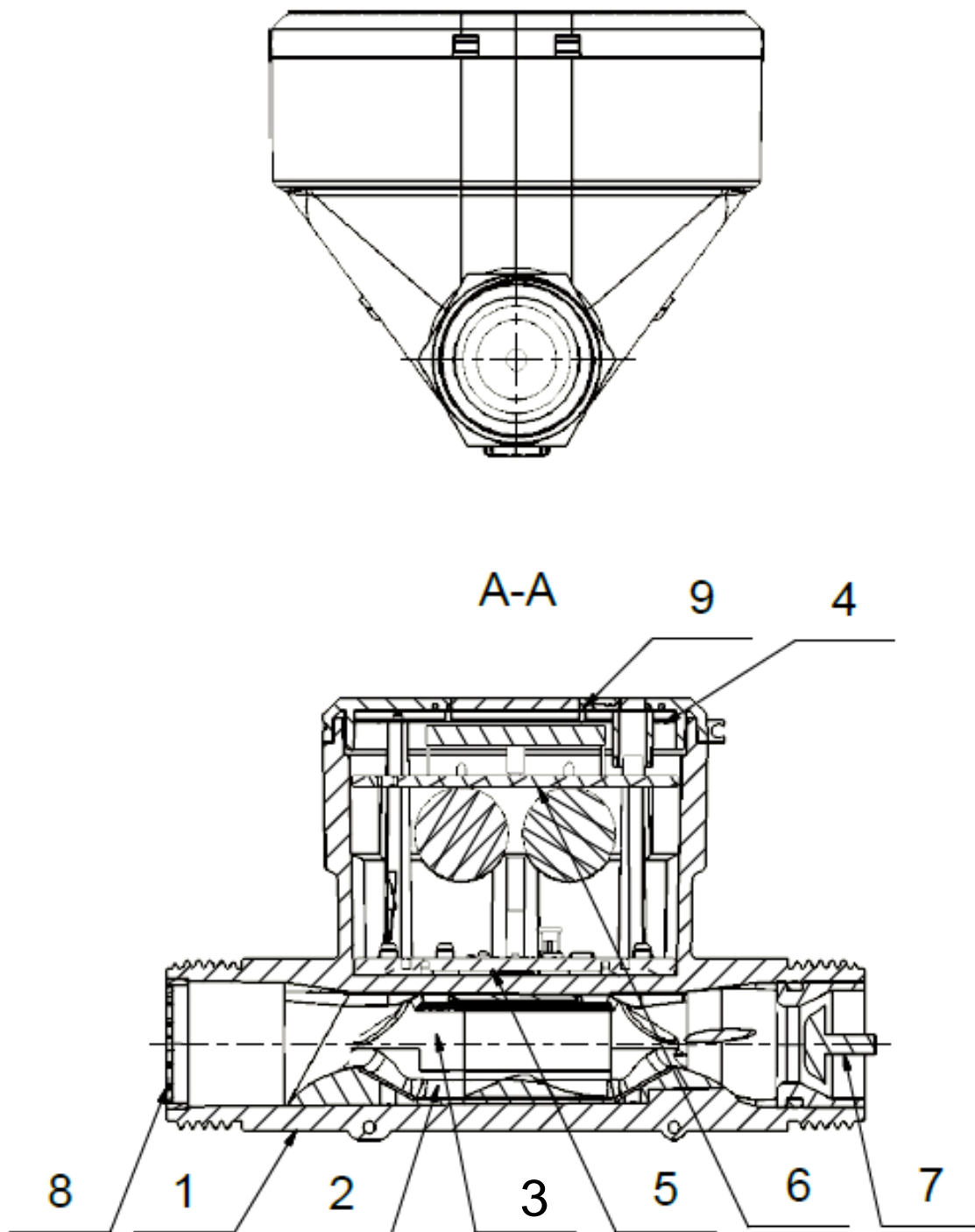
V6.4	<p>V1.16 + V4.1</p> 	
V6.5	<p>V1.16 + V5.6</p> 	
V6.6	<p>V1.16 + V2.6 + V3.8</p> 	
V6.7	<p>V1.16 + V2.6 + V4.1</p> 	
V6.8	<p>V1.16 + V2.6 + V5.6</p> 	

4.27 lentelė. (tęsinys)

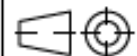
V6.9	V1.16 + V3.8 + V4.1 	
V6.10	V1.16 + V3.8 + V5.6 	
V6.11	V1.16 + V4.1 + V5.6 	
V6.12	V1.16 + V2.6 + V3.8 + V4.1 	
V6.13	V1.16 + V2.6 + V3.8 + V5.6 	
V6.14	V1.16 + V2.6 + V4.1 + V5.6 	

4.27 lentelė. (tęsinys)

V6.15	<p>V1.16 + V3.8 + V4.1 + V5.6</p> 	
V6.16	<p>V1.16 + V2.6 + V3.8 + V4.1 + V5.6</p> 	



1. Nenurodytos matmenų ribinės nuokrypos pagal LST EN 22768.

	Byla, laikmena	Papildoma informacija	Medžiaga	Mastelis 1:1
Atsakinga žinyba IPK	Vadovas	Dokumento tipas Surinkimo brėžinys	Dokumento statusas Mokomasis	
Savininkas KTU	Rengė Petras Vaitkevičius MDM-8/5	Antraštė Vandens skaitiklis	VS-00.00.000	
	Tvirtino Paulius Griškevičius		Laida A	Data 2020-04-18
			Kalba lt.	Lapas 1/1