

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
REGIONŲ PLĖTROS INSTITUTAS

DEIVIDAS KRIUKAS

Mechanikos inžinerijos studijų programos studentas

**GAMYBINĖS PATALPOS ŠILDYMO SISTEMOS EFEKTYVUMO
TYRIMAS**

Magistro baigiamasis darbas

ŠIAULIAI, 2019

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
REGIONŲ PLĖTROS INSTITUTAS

TVIRTINU

Inžinerinių studijų programų komiteto pirmininkas

Dr. Dainius Balbonas

2019-06-13

**GAMYBINĖS PATALPOS ŠILDYMO SISTEMOS EFEKTYVUMO
TYRIMAS**

Magistro baigiamasis darbas

Vadovas

Doc. dr. S. Rimovskis

2019-06-13

Recenzentas

ŠU

Regionų plėtros instituto

Doc. dr. D. Čikotienė

2019-06-13

Atliko

MM-17 gr. stud.

D. Kriukas

2019-06-13

ŠIAULIAI, 2019

TVIRTINU

Inžinerinių studijų programų komiteto pirmininkas


2018 m. gruodžio mėn. 11 d.

Dainius Balbonas

MAGISTRO DARBO UŽDUOTIS

Išduota magistrantui: Deividui Kriukai

Darbo tema: Gamybinės patalpos šildymo sistemos efektyvumo tyrimas

Patvirtinta katedros posėdžio protokolu Nr. INZK-3-18.

1. Darbo tikslas


Nustatyti židinio-krosnelės VIENYBĖ 06-6 12kW šilumos nuostolius, vykstant dūmų šalinimui per modifikuotą ir nemodifikuotą dūmtraukį.

2. Darbo struktūra

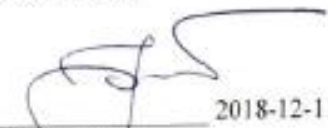
1. Šilumokaičių tipai ir juos reglamentuojanti dokumentacija.
2. Šilumokaitos procesų tyrimo metodai
3. Dūmtraukio skaitinis modelis ir tyrimas.
4. Tyrimo rezultatai.
5. Išvados.
6. Literatūra.
7. Priedai.

Darbo pateikimo terminas 2019 m. gegužės mėn. 31 d.

Užduotį gavau _____
Deividas Kriukas
(magistranto vardas, pavardė)

 _____
(parašas, data) 2018-12-11

Vadovas _____
Sergėjus Rimovskis
(pareigos, vardas, pavardė)

 _____
(parašas, data) 2018-12-11

TURINYS

TURINYS.....	4
LENTELIŲ SĄRAŠAS	7
PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS.....	8
1. ŠILUMOKAIČIŲ TIPAI IR JŲ VEIKIMO PRINCIPAI.....	11
1.1. Šilumokaičių tipai.....	11
1.2. Šilumokaičių klasifikacija.....	13
1.3. Šilumokaičių taikymas.....	13
1.4. Šilumokaitis „vamzdis vamzdyje“.....	14
1.5. Šilumos perdavimo koeficientas.....	16
2. DŪMTRAUKIO SKAITINIO MODELIO SUDARYMAS.....	21
2.1. Židinio-krosnelės pagrindiniai techniniai duomenys.....	21
2.2. Dūmtraukio skaitinis modelis.....	23
2.3. Kraštinių sąlygų parinkimas.....	24
3. SKAITINIO MODELIAVO REZULTATAI IR VARIANTŲ PALYGINIMAS	28
3.1. Skaitinio modeliavimo rezultatų vizualizacija	29
IŠVADOS.....	36
REKOMENDACIJOS	37
LITERATŪRA	38
PRIEDAI	40

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
REGIONŲ PLĖTROS INSTITUTAS

DEIVIDAS KRIUKAS. GAMYBINĖS PATALPOS ŠILDYMO SISTEMOS EFEKTYVUMO TYRIMAS / vadovas doc. dr. S. Rimovskis

SANTRAUKA

Darbe pateikiamas židinio-krosnelės VIENYBĖ 06-6 12kW skleidžiamos šilumos nuostolių, ištekantių per dūmtraukį, tyrimas. Dūmtraukis modifikuotas papildomais šilumos paėmimo prietaisais. Gaminys modeliuojamas Solidworks sistema. Sudaryti trys skirtingi dūmtraukio modeliai. Pirmasis – nemodernizuotas dūmtraukis, antrasis – dūmtraukis su apkaba, trečiasis – su privirintomis plokštelėmis ir apkaba. Tyrimas atliekamas Solidworks flow simulation programa. Gauti rezultatai leidžia padaryti išvadą, kad naudojant modernizuotus dūmtraukius iki šilumos nuostoliai sumažinami 8,72–31,1 %.

Reikšminiai žodžiai: šildymas, šilumos mainai, šilumokaičiai, šilumos perdavimo koeficientas.

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
REGIONŲ PLĖTROS INSTITUTAS

DEIVIDAS KRIUKAS. ANALYSIS OF EFFICIENCY OF HEATING SYSTEM FOR INDUSTRIAL PREMISES / vadovas doc. dr. S. Rimovskis

SUMMARY

The study presents the heat loss leaking out of the fireplace-stoves UNIT 06-6 12kW. The chimney has been modified with additional heat-dissipating devices. Product is modeled with Solidworks operating system. Three different chimney models were analysed: chimney pipe without modifications, chimney with external tube, chimney with welded plates and external tube. The study is performed by Solidworks flow simulation program. The results allow us to conclude that using additional air-cessation measures, power savings increased from 8.72 to 31.1%.

Keywords: heating, heat exchange, heat exchangers, heat transfer coefficient.

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1.1 lentelė. Šilumokaičių panaudojimas	14
1.2 lentelė. Bendrosios šilumos perdavimo koeficiento U vertės	17
1.3 lentelė. Nusselt skaičių lentelė	20
2.1 lentelė. Židinio-krosnelės pagrindiniai techniniai duomenys	20
2.2 lentelė. Užduoti ir gauti, dūmtraukio duomenys	22
2.3 lentelė. Užduoti ir gauti, dūmtraukio su apkaba, duomenys	26
2.4 lentelė. Užduoti ir gauti, dūmtraukio su privirintomis plokštelėmis ir apkaba, duomenys	27
3.1 lentelė. Užduoti ir gauti, dūmtraukio duomenys	32
3.2 lentelė. Užduoti ir gauti, dūmtraukio su apkaba, duomenys	33
3.3 lentelė. Užduoti ir gauti, dūmtraukio su privirintomis plokštelėmis ir apkaba, duomenys	34

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1.1 pav. Plokšteliniai lituoti šilumokaičiai.....	11
1.2 pav. Plokštelinis surenkamas šilumokaitis.....	12
1.3 pav. Vamzdinis šilumokaitis	13
1.4 pav. Šilumos perdavimas šilumokaityje	12
1.5 pav. Dvigubo vamzdžio šilumokaitis.....	19
1.6 pav. Biokuro katilo šiluminė schema.....	21
2.1 pav. Židinio – krosnelės Vienybė-06 bendras vaizdas	21
2.2 pav. Židinio – krosnelės Vienybė-06 Solidworks eskizas su pažymėta tiriamojo dūmtraukio dalimi	22
2.3 pav. Dumtraukio modelis su paprasta apkaba	23
2.4 pav. Dumtraukio modelis su papildomų elementų apkaba	23
2.5 pav. Dumtraukio su apkaba skaitinis modelis	25
2.6 pav. Dūmtraukio be modifikacijų modelis, su priskiriamais parametrais	25
2.7 pav. Dūmtraukio su apkaba modelis, su priskiriamais parametrais	26
2.8 pav. Dūmtraukio su privirintomis plokštelėmis ir apkaba modelis, su priskiriamais parametrais	27
3.1 pav. Papildomų element išdėstymas	28
3.2 pav. Dumtraukis su privirintomis plokštelėmis	28
3.3 pav. Temperatūrų pasiskirstymas dūmtraukyje su apkaba.....	29
3.4 pav. Temperatūrų pasiskirstymas dūmtraukyje su apkaba ir plokštelėmis	29
3.5 pav. Slėgio pasiskirstymas dūmtraukyje su apkaba.....	30
3.6 pav. Slėgio pasiskirstymas dūmtraukyje su apkaba ir plokštelėmis	30
3.7 pav. Fluido judėjimo pasiskirstymas dūmtraukyje su apkaba.....	31
3.8 pav. Fluido judėjimo pasiskirstymas dūmtraukyje su apkaba ir plokštelėmis	31
3.9 pav. Dūmtraukio su apkaba modelis, su priskiriamais parametrais	32
3.10 pav. Dūmtraukio su apkaba modelis, su priskiriamais parametrais	33
3.11 pav. Dūmtraukio su privirintomis plokštelėmis ir apkaba modelis, su priskiriamais parametrais	34
3.12 pav. Temperatūra dūmtraukio oro ištekėjimo angoje	35
3.13 pav. Šilumokaičio galia.....	35

IVADAS

Šiluma – viena iš plačiausiai naudojamų energijos rūšių. Nuo neatmenamų laikų žmogus naudojo saulės, vėliau ugnies šilumą, o šiuo metu naudojami organiniai šilumos šaltiniai – gamtinės dujos, naftos produktai, biokuras. Šie šilumos gavimo būdai bus populiarūs dar ilgą laiką, nors vis plačiau naudojami ir atsinaujinantys energijos šaltiniai. Fizikinis šilumos apibrėžimas – medžiagos mikrodalelių (molekulių, atomų) netvarkingas judėjimas, kurio intensyvumą apibūdina temperatūra. Šilumos kiekio matavimo vienetas SI sistemoje – džaulis (J). Praktikoje dažniau vartojamas išvestinis vienetas – kilovatvalandė ($1 \text{ kWh} = 3\,600 \text{ kJ}$). Apytikriai tiek šilumos pakanka 20 litrų šalto vandens pašildyti nuo 8 iki 50 °C. Tam, kad pagaminti 1 kWh centralizuotai tiekiamos šilumos, reikia sudeginti apie 100 gramų kuro (skaičiuojant naftos ekvivalentu). Nuo 1996 m. iki 2010 m. šis rodiklis Lietuvoje sumažėjo nuo 101,70 iki 97,70 gramų kuro naftos ekvivalento [1].

Šildymas – tam tikros oro temperatūros palaikymas pastato patalpoje šaltuoju metų laiku. Iš patalpos per atitvaras išorės orui perduodamus šilumos nuostolius ir patiriamus nuostolius dėl patalpų vėdinimo kompensuoja šildymo sistema. Šildymo sezoną rekomenduojama pradėti, kai tris paras iš eilės vidutinė lauko oro temperatūra yra žemesnė už +10 °C. Dabartiniu metu Lietuvoje šildymo sezonas prasideda apie spalio 15 d. ir baigiasi apie balandžio 15 d. (penki pilni mėnesiai – lapkritis, gruodis, sausis, vasaris, kovas ir du nepilni mėnesiai – spalio ir balandis) [1].

Šilumos tiekimo būdai – centralizuotas ir individualus. Centralizuotas šilumos tiekimas (CŠT) – kai šilumos gamybos šaltiniuose (kogeneracinėse elektrinėse, katilinėse) pagaminta šiluma į pastatus tiekama šilumos perdavimo tinklu. Individualus - kai šiluma gaminama pastate įrengtuose šildymo įrenginiuose. Šiuo metu CŠT ir individualus šildymas Lietuvoje apima maždaug po 50 proc. Panašus santykis yra ir kaimyninėse Skandinavijos šalyse, kitose Baltijos valstybėse, Lenkijoje, Čekijoje ir kt. Tiek centralizuotas, tiek individualus šildymas gali būti skirstomas pagal naudojamą kurą ar kitą pirminę energiją (dujinis, skystas ar kietas organinis kuras, elektros, saulės, geoterminė energija, ir kt.), pagal pagamintos šilumos transportavimo būdą (vandeninis, garinis, orinis, spindulinis) ir pagal šildymo prietaisus (radiatorinis, grindinis, plokštinis). Centralizuotu būdu aprūpinant Lietuvos daugiabučių vartotojus šiluma, pastatuose naudojama tik vandeninė priverstinės cirkuliacijos šildymo sistema [1, 11, 13].

Gamybos patalpų šildymo būdai – reikiamo šiluminio komforto zona dažnai yra ribota. Būtina užtikrinti, kad šiluma būtų apatinėje patalpų dalyje 2-3 m aukštyje. Šilto oro srautas pakyla, o savininkai

nenoriai šildo 70-80 % „papildomo“ tūrio. Siekiant efektyviau naudoti resursus, geriausia pasirinkti kombinuotą oro kondicionavimo-šildymo sistemą, kurią sudaro natūrali ir mechaninė oro ventiliacija [12].

Oro šildymo sistema dideliam plotui šildyti, ko gero, yra labiausiai racionali alternatyva pramoninių patalpų oro šildymo sistemoms. Ir kai kuriais atvejais, pavyzdžiui, chemijos gamyklose, oro šildymas yra vienintelis leistinas šildymo būdas.

Tyrimo objektas

Židinio-krosnelės VIENYBĖ 06-6 12kW dūmtraukis.

Tyrimo tikslas

Nustatyti židinio-krosnelės VIENYBĖ 06-6 12kW modifikuoto dūmtraukio efektyvumą.

Tyrimo uždaviniai

- Išsiaiškinti šilumokaitos įrenginių tipus, veikimo principus;
- Sudaryti nagrinėjamų dūmtraukių CAD modelius ir skaitinius modelius SOLIDWORKS Flow Simulation;
- Atlikti šilumokaitos procesų skaitinę analizę;
- Susisteminti gautus skaitinės analizės rezultatus ir palyginti įvairių konstrukcijų dūmtraukių efektyvumą.

Teorinė darbo reikšmė

Darbe atliktas teorinis dūmtraukio modeliavimas ir analizavimas. Remiantis gautais duomenimis, galima daryti išvadas, kuris modelis yra pranašesnis ir efektyvesnis.

Praktinė darbo reikšmė

Suprojektuotas modelis gali būti naudojamas gaminat realų dūmtraukio modelį ir jį realizuojant gamybinėse patalpose.

Darbo struktūra

Magistro darbą sudaro įvadas, 3 skyriai, išvados ir pasiūlymai, literatūros sąrašas. Darbo apimtis: 48 puslapiai, 27 paveiklėlių, 10 lentelių, 1 priedas.

1. ŠILUMOKAIČIŲ TIPAI IR JŲ VEIKIMO PRINCIPAI

1.1. Šilumokaičių tipai

Pagrindinės trys šilumokaičių grupės yra šios:

- plokšteliniai lituoti šilumokaičiai;
- plokšteliniai surenkami šilumokaičiai;
- vamzdiniai šilumokaičiai.

Plokšteliniai lituoti šilumokaičiai – šio tipo šilumokaičiai vykdo šilumos mainus tarp dviejų skirtingų sistemų bei veikia priešpriešinio srauto principu. Šiuo metu, tai yra labiausiai paplitę šilumokaičiai. Jie nėra brangūs, o tuo pačiu nereikalauja aukšto saugumo užtikrinimo, todėl juos galima naudoti daugelyje skirtingų sričių. Šiuose šilumokaičiuose, šiluma yra perduodama per nikelio, titano, plieno ar vario plokšteles. Sulituotų šilumokaičių ypatybės [2]:

- atsparumas aukštai temperatūrai ir slėgiui;
- puikus atsparumas nuovargiui;
- savaiminio išsivalymo efektas;
- sulituoti plokšteliniai šilumokaičiai yra patikrinami dėl nuotėkių ir atsparumo slėgiui.



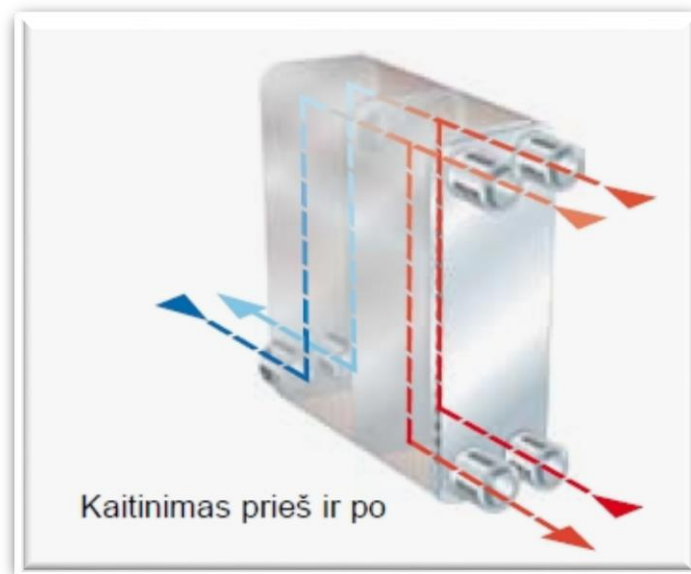
1.1 pav. Plokšteliniai lituoti šilumokaičiai

Plokšteliniai surenkami šilumokaičiai – kitaip nei lituoti šilumokaičiai, surenkamieji yra tinkami naudoti srityse, kurioms yra keliami aukšti saugumo reikalavimai. Jie taip pat gali būti naudojami chemijos, maisto ir kitose pramonės srityse [3]. Pranašumai:

- kompaktiškas dizainas;
- galimas nedidelis temperatūros skirtumas tarp grandinių;
- šiluminis efektyvumas, užtikrinantis intensyvią turbulenciją ir žemą užsikimšimo riziką;
- aukšta temperatūra – iki 180°C;
- lengva įrengti;
- lengva padidinti pajėgumą;
- paprasta aptarnauti.

Pritaikymo sritys:

- centrinis šildymas;
- karšto vandens tiekimas;
- geoterminis šildymas;
- baseinų šildymas ir aušinimas;
- šildymas panaudojant garą;
- centrinis šaldymas;
- šilumos saugojimas.



1.2 pav. Plokštelinis surenkamas šilumokaitis

Vamzdiniai šilumokaičiai – šio tipo šilumokaičiai yra laikomi efektyvesniais, nei plokšteliniai šilumokaičiai. Jie pasižymi mažesniu slėgio kritimu. Jie yra sudaryti iš tankiai išvedžiuoto vamzdyno ir gali būti pritaikyti šildyti baseinus bei kitus objektus [4].



1.3 pav. Vamzdinis šilumokaitis

1.2. Šilumokaičių klasifikacija

Šilumokaičiai gali perduoti šilumą tiesioginiu arba netiesioginiu kontaktu su fluidu. Jie taip pat gali būti klasifikuojami pagal deflektorių tipus, vamzdžių išdėstymą (trikampių, kvadratinų ir kt.) bei lygų arba ruplėtą paviršių. Jie taip pat klasifikuojami pagal fluido tekėjimo režimą: gali tekėti ta pačia kryptimi (lygiagrečiai), priešais vienas kitą ir vienas šalia kito. Šilumokaičio konfigūracija, priklauso nuo kelių veiksnių. Šie veiksniai gali apimti vietovės reikalavimus, techninės priežiūros, srauto greičio ir skysčio fazes.

1.3. Šilumokaičių taikymas

Pastaruoju metu šilumokaičiai plačiai naudojami gamybos pramonėje, mechaninės įrangos pramonėje ir buitinėje technikoje. Šilumokaičiai naudojami ne tik, kaip šildymo prietaisais, bet ir kaip oro kondicionieriai ir šaldytuvai sumontuoti šilumokaičiuose, kad kondensuotųsi arba išgarintų skystį. Be to,

jie taip pat yra naudojami pieno perdirbimo padaliniuose, pasterizavimui. Šilumokaičių panaudojimas, 1.1 lentelėje [7, 19].

1.1 lentelė. Šilumokaičių panaudojimas

Pramonė	Sritis
Maistas ir gėrimai	Krosnys, viryklės, maisto perdirbimas ir šildymas, pieno pasterizavimas, alaus aušinimas ir pasterizavimas, sulčių ir sirupo pasterizavimas, aušinimas arba galutinio produkto atšaldymas iki norimos temperatūros.
Nafta	Žalios naftos išankstinis šildymas, žalios naftos terminis apdorojimas, skysčio kaitiklių aušinimas, rūgštinių dujų kondensavimas.
Angliarūgštės apdorojimas	Metanolio pašildymas, skystųjų angliavandenilių produktų aušinimas, pašarų šildytuvai, anglies dioksido regeneravimas arba pašalinimas, amoniako gamyba.
Polimeras	Polipropileno gamyba, reaktoriaus aušinimas, polivinilchlorido gamyba.
Farmacija	Vandens ir garų valymas.
Automobiliai	Pjaustymas, skalavimas, gruntavimas, tapyba.
Maitinimas	Aušinimo kontūras, radiatoriai, alyvos aušintuvai, oro kondicionieriai ir šildytuvai, energijos regeneravimas.
Jūrininkystė	Jūrų aušinimo sistemos, gėlo vandens distiliavimas, dyzelinio kuro išankstinis šildymas, centrinis aušinimas, tepimo alyvos aušinimas.

1.4. Šilumokaitis „vamzdis vamzdyje“

Šilumos perdavimo proceso metu, aukštesnės temperatūros fluidas, perduoda energiją šilumos pavidalu žemesnės temperatūros fluidui. Šilumos perdavimas vyksta laidumu, konvekcija, spinduliavimu [5]. Dėl nedidelės įtakos, spinduliavimas dažniausiai neįvertinamas. Bendras šilumos perdavimo sistemos energijos balansas gali būti apskaičiuojamas lygybėmis [5]:

$$\dot{Q}_h = \dot{m}_h * C_{pc} (T_{h,i} - T_{h,o}) \quad (1.1)$$

$$\dot{Q}_c = \dot{m}_c * C_{ph}(T_{c,o} - T_{c,i}) \quad (1.2)$$

\dot{Q}_h – šilumos energija (J);

\dot{Q}_c – šilumos energija (J);

\dot{m}_h – masės srautas apkaboje (kg/s);

\dot{m}_c – masės srautas vamzdyje (kg/s);

C_{pc} – savitoji šiluma (J/kg°C);

C_{ph} – savitoji šiluma (J/kg°C);

$T_{h,i}$ – įtekėjimo temperatūra apkaboje (°C);

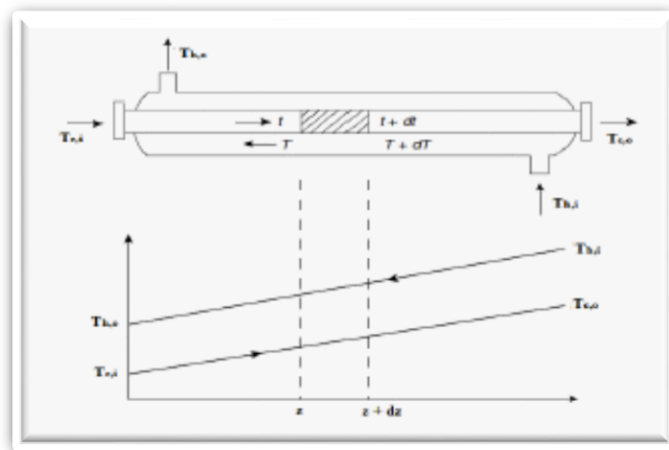
$T_{h,o}$ – ištekėjimo temperatūra apkaboje (°C);

$T_{c,i}$ – įtekėjimo temperatūra vamzdyje (°C);

$T_{c,o}$ – ištekėjimo temperatūra vamzdyje (°C);

Šilumos nuostolius visuomet stengiamasi sumažinti, todėl šilumos balansą galima užrašyti taip:

$$Q_h = Q_c = Q$$



1.4 pav. Šilumos perdavimas šilumokaityje

Grafinis šių lygčių pavaizdavimas palengvina ir supaprastina procesą (žr. 1.4 pav.). Šiame paveiksle parodyta taip vadinama T-Q diagrama. Diagrama rodo, kad laikomasi antrojo termodinamikos dėsnio, t. y., šiluma visada perduodama iš aukštesnės temperatūros kūno į žemesnę temperatūrą turintį kūną. Tada galima rašyti formulę [5, 13],

$$Q = UA\Delta T_{LM} \quad (1.3)$$

čia:

Q – šilumos perdavimo greitis (W);

A – šilumos perdavimo plotas (m^2);

U – bendras šilumos perdavimo koeficientas ($m^2 \cdot K / W$);

ΔT_{LM} – logaritminis vidutinis temperatūros skirtumas (K).

(1.1)–(1.3) lygtys laikomos pagrindinėmis šilumos perdavimo uždavinio lygtimis.

1.5. Šilumos perdavimo koeficientas

Šilumokaitis paprastai apima du tekančius fluidus, atskirtus kieta siena. Pirmiausia šiluma perkeliama iš karšto skysčio į sieną konvekcijos būdu, per sieną laidumo būdu, o nuo sienos iki šalto skysčio, vėl konvekcijos būdu. Bet koks spinduliuotės poveikis paprastai įtraukiamas į konvekcijos šilumos perdavimo koeficientą. Šis šilumos perdavimo procesas, susijęs su šilumine varža, apima dvi konvekcijos ir vieną laidumo varžą. Čia i ir o atspindi vidinius ir išorinius vidinio vamzdžio paviršius. Dviejų vamzdžių šilumokaičiui turi $A_i = \pi D_i L$ ir $A_o = \pi D_o L$ ir vamzdžio sienelės šiluminė varža šiuo atveju yra [6, 8, 18]

$$R_{wall} = \frac{\ln(D_o/D_i)}{2\pi kL} \quad (1.4)$$

čia, k yra sienelės medžiagos šiluminis laidumas;

L – vamzdžio ilgis;

Bendra šiluminė varža tampa R .

$$R = R_{total} = R_i + R_{wall} + R_o = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{\ln(D_o/D_i)}{2\pi kL} + \frac{1}{h_o A_o} \quad (1.5)$$

čia, A_i – sienos vidinio paviršiaus plotas, atskiriantis du skysčius, ir A_o yra sienos išorinio paviršiaus plotas. Kitaip tariant, A_i ir A_o yra atskiros paviršių sienos, sudrėkintos skysčiais. Kai vienas skystis teka žiediniame vamzdyje, o kitas už jo ribų, turime $A_i = \pi D_i L$ ir $A_o = \pi D_o L$. Analizuojant šilumokaičius, patartina sujungti visus šiluminės varžos srautus iš karšto skysčio į šaltą ir prijungti pasipriešinimą R , taip išreiškiamas šilumos perdavimo greitis tarp dviejų skysčių [6]

$$Q = \frac{\Delta T}{R} = UA\Delta T = U_i A_i \Delta T = U_o A_o \Delta T \quad (1.6)$$

čia, U yra bendras šilumos perdavimo koeficientas, kurio vienetas yra $W/m^2 \cdot ^\circ C$, jis yra identiškias įprastinio konvekcijos koeficiento h vienetai:

$$\frac{1}{UA_s} = \frac{1}{U_i A_i} = \frac{1}{U_o A_o} = R = \frac{1}{h_i A_i} + R_{wall} + \frac{1}{h_o A_o} \quad (1.7)$$

Panagrinėkime, kodėl turime du bendrus šilumos perdavimo koeficientus U_i ir U_o . Taip yra todėl, kad kiekvienas šilumokaitis turi du šilumos perdavimo paviršiaus plotus A_i ir A_o , kurie nėra lygūs vienas kitam. Reikia atkreipti dėmesį, kad $U_i A_i = U_o A_o$, bet $U_i \neq U_o$, nebent $A_i = A_o$. Todėl bendras šilumokaičio šilumos perdavimo koeficientas U yra nenaudojamas, nebent yra nurodytas plotas. Tai ypač aktualu, kai viena vamzdžio sienelės pusė yra suapvalinta, o kita ne, nes suapvalintos pusės plotas yra kelis kartus didesnis nei nesuapvalintos pusės. Kai vamzdžio sienelės storis yra mažas, o šiluminis vamzdžio laidumas yra aukštas, kaip paprastai būna, terminis vamzdžio atsparumas yra nereikšmingas ($R_{wall} \approx 0$), o vidiniai ir išoriniai vamzdžio paviršiai yra beveik identiški ($A_i \approx A_o \approx A_s$). Supaprastintas bendras šilumos perdavimo koeficientas [6, 17]

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o} \quad (1.8)$$

čia, $U \approx U_i \approx U_o$. Individualūs konvekcijos šilumos perdavimo koeficientai vamzdžio viduje ir išorėje, h_i ir h_o , nustatomi naudojant konvekcijos santykį.

1.2 lentelė Bendrosios šilumos perdavimo koeficiento U vertės [6]

Šilumokaičio tipas	$U, W / m^2 \cdot ^\circ C$
Vanduo – vanduo	850 – 1700
Vanduo – nafta	100 – 350
Vanduo – benzinas arba žibaldas	300 – 1000
Pašarų vandens šildytuvai	1000 – 8500
Garo ir lengvojo kuro mazutas	200 – 400
Mazutas	0 – 200
Garų kondensatorius	1000 – 6000
Freono kondensatorius (vandens aušinimas)	300 – 1000
Amoniako kondensatorius (vandens aušinimas)	800 – 1400

Alkoholiniai kondensatoriai (aušinami vandeniu)	250 – 700
Dujų – dujų	10 – 40
Vanduo – oras į vamzdelius (vanduo vamzdeliuose)	30 – 60 400 – 850
Garai – oras į vamzdelius (garai vamzdeliuose)	30 – 300 400 – 4000

Reikia atkreipti dėmesį, kad bendras šilumos perdavimo koeficientas svyruoja nuo maždaug 10 W/m²·°C dujų – dujų šilumokaičiams iki maždaug 10 000 W/m²·°C šilumokaičiams, kuriuose vyksta faziniai virsmai.

Vidutinės temperatūros skirtumo (LMTD) metodas, kurį lengva naudoti šilumokaičių analizėje, kai įleidžiamo ir išleidžiamo karšto ir šalto fluideo temperatūra yra žinoma, arba gali būti nustatyta. ΔT_{lm} , masės srautas ir bendras šilumos perdavimo koeficientas yra naudojami, šilumokaičio šilumos perdavimo paviršiaus plotui nustatyti:

$$\dot{Q} = UA_s \Delta T_{lm} \quad (1.9)$$

LMTD metodas yra tinkamas šilumokaičio dydžiui nustatyti, taip pat užtikrinti, kad būtų pasiekta nustatyta temperatūra, kai karšto ir šalto fluideo masės srautai, įtekėjimo ir ištekėjimo angose yra nurodyti. Naudojant LMTD metodą pasirenkamas šilumokaitis, kuris atitinka nustatytus šilumos perdavimo reikalavimus [6]:

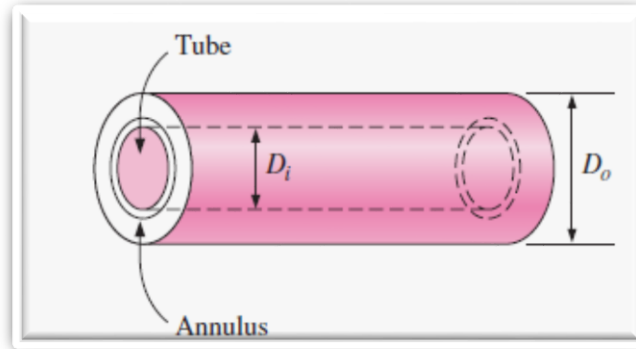
1. Pasirinkite šilumos keitiklį, tinkantį naudoti sistemoje;
2. Nustatyti bet kokią nežinomą įtekėjimo ar ištekėjimo temperatūrą ir šilumos perdavimo reikšmę, taikant energijos balansą;
3. Apskaičiuoti vidutinį temperatūros skirtumą ΔT_{lm} ir korekciją faktorių F , jei reikia;
4. Pasirinkti arba apskaičiuoti bendrą šilumos perdavimo koeficiento vertę U ;
5. Apskaičiuoti šilumos perdavimo paviršiaus plotą A_s .

LMTD metodas vis dar gali būti naudojamas šiai alternatyviai problemai, bet procedūra reikalauja sudėtingų skaičiavimų, todėl tai nėra praktiška. Kays ir London, 1955 m. pateikė metodą, vadinamą efektyvumu – NTU metodas, kuris labai supaprastino šilumokaičio analizę [6]. Šis metodas pagrįstas tuo, kad jame nėra matmeninių parametrų, jis vadinamas šilumos perdavimo efektyvumas – ε .

$$\varepsilon = \frac{\dot{Q}}{Q_{max}} \quad (1.10)$$

Srautas per vamzdyje esantį vamzdį

Kai kurie paprasti šilumos perdavimo įrenginiai susideda iš dviejų koncentrinių vamzdžių ir yra vadinami dvigubo vamzdžio šilumokaičiais (1.5 pav.) [6, 15].



1.5 pav. Dvigubo vamzdžio šilumokaitis

Tokiuose įrenginiuose vienas fluidas teka vamzdžiu, o kitas – žiedine, jį gaubiančia ertme. Abiejų srautų valdymo diferencialinės lygtys yra tapačios. Todėl, pastovus laminarinis srautas per žiedą, gali būti tiriamas analitiniu būdu, naudojant tinkamas ribines sąlygas. Hidraulinis cilindro skersmuo yra:

$$D_h = \frac{4A_c}{p} = \frac{4\pi(D_o^2 - D_i^2)/4}{\pi(D_o - D_i)} = D_o - D_i \quad (1-11)$$

Vamzdžio vamzdyje srautas yra susijęs su dviem „Nusselt“ skaičiais – Nu_i vidiniame vamzdžio paviršiuje ir Nu_o išoriniame vamzdžio paviršiauje. „Nusselt“ skaičiai sukurti išplėtotam laminariniam srautui su vienu izoterminiu paviršiumi ir vienu adiabatiniu paviršiumi (1.3 lentelė). Kai žinomi „Nusselt“ skaičiai, konvekcijos koeficientai, vidiniai ir išoriniai paviršiai nustatomi iš formulės [6, 16]:

$$Nu_i = \frac{h_i D_h}{k} \quad \text{ir} \quad Nu_o = \frac{h_o D_h}{k}$$

Visiškai išsivysčiusiems turbulentiems srautams vidiniai ir išoriniai konvekcijos koeficientai yra maždaug vienodi, o vamzdžio žiedas gali būti traktuojamas, kaip apskritas ortakis, kurio skersmuo yra $D_h = D_o - D_i$. „Nusselt“ skaičius šiuo atveju gali būti nustatomas, pagal tinkamiausią turbulentinį srautą, Gnielinskio lygtimi [6]. Siekiant įrodyti „Nusselt“ skaičių tikslumą, Petukovo ir Roizenso rekomenduoja juos dauginti iš šių korekcijos koeficientų, kai viena iš vamzdžių sienelių yra adiabatinė ir šilumos perdavimas vyksta per kitą sieną:

$$F_i = 0,86 \left(\frac{D_i}{D_o}\right)^{-0,16} \text{ (išorinė siena adiabatinė)} \quad (1-12)$$

$$F_o = 0,86 \left(\frac{D_i}{D_o}\right)^{-0,16} \text{ (vidinė siena adiabatinė)} \quad (1-13)$$

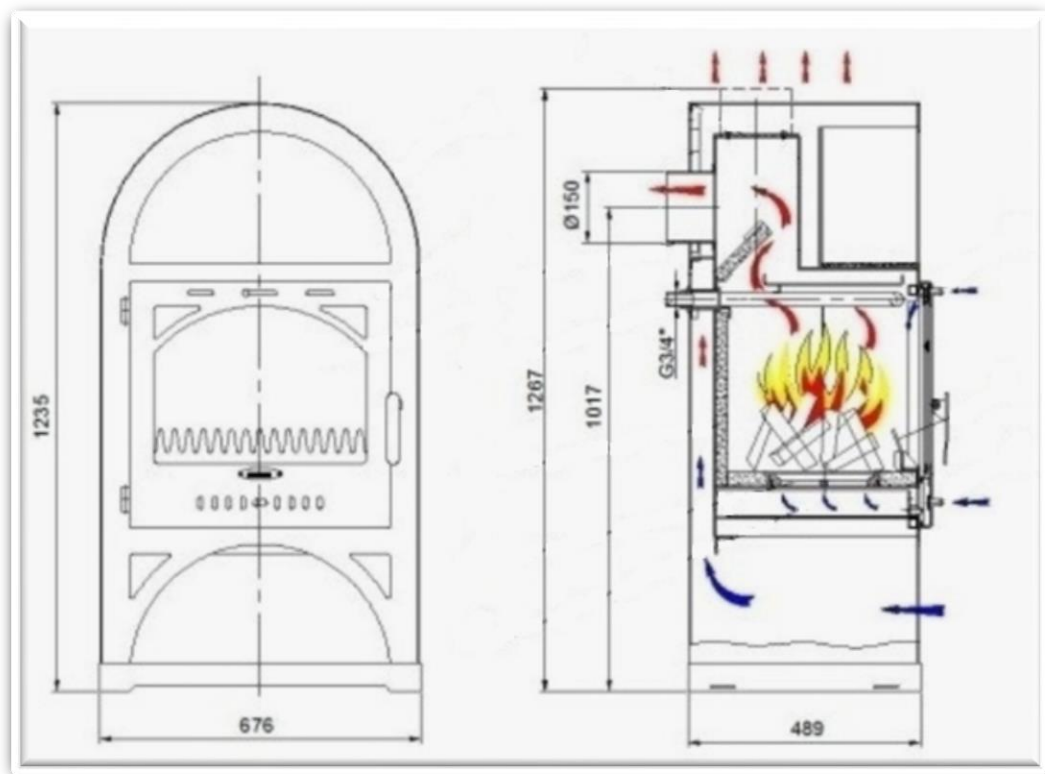
1.3 lentelė. „Nusselt“ skaičių lentelė

D_i/D_o	Nu_i	Nu_o
0	-	3,66
0,05	17,46	4,06
0,10	11,56	4,11
0,25	7,37	4,23
0,50	5,74	4,43
1,00	4,86	4,86

2. DŪMTRAUKIO SKAITINIO MODELIO SUDARYMAS

2.1. Židinio-krosnelės pagrindiniai techniniai duomenys

Tyrimui pasirinktas židiny-krosnelė **Vienybė-06** (žr. 2.1 pav.). Tai nedidelė krosnelė, kuri tinkama šildyti nedidelį užmiesčio namelį arba nedidelias gamybines patalpas. Oro sklende lengvai reguliojamas šildymo intensyvumas. Galimas dūmtraukio pajungimas iš viršaus arba iš galo. Yra galimybė instaliuoti šilumokaitį, kuris pašildytų boilerį arba kelis radiatorius. Krosnelės deklaruojama galia 12 kW, galima apšildyti apie 120 m² plotą. Gamintojo deklaruojamas naudingumo koeficientas – 65 %.



2.1 pav. Židinio-krosnelės Vienybė-06 bendras vaizdas

2.1 lentelė. Židinio-krosnelės pagrindiniai techniniai duomenys

Galia	12 kW
Šilumokaičio galia	6 kW
Apšildomas plotas	120 m ²
Naudingumo koeficientas	65 %

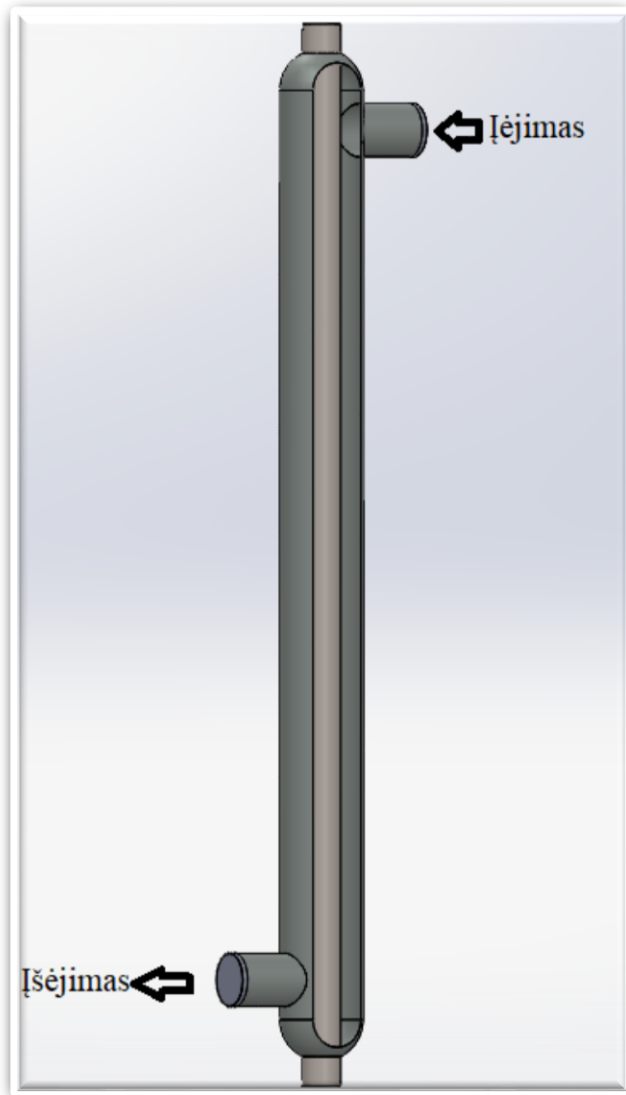
Krosnelės matmenys aukštis x plotis x ilgis	1266x676x489 mm
Pakūros tūris	95 dm ³
Užkrovimo angos matmenys aukštis x plotis	490x360 mm
Pakūros matmenys aukštis x plotis x ilgis	415x510x400 mm
Išorinis kamino skersmuo	150 mm
Minimali kamino trauka	10 Pa
Svoris	150 kg



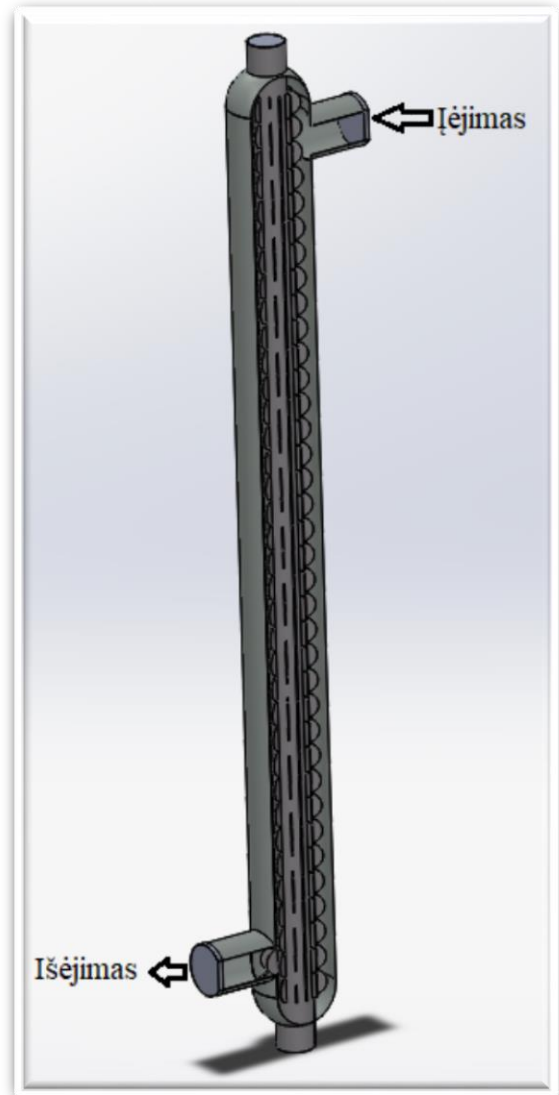
2.2 pav. Židinio-krosnelės Vienybė-06 Solidworks eskizas su pažymėta tiriamojo dūmtraukio dalimi

Dūmtraukis (žr. 2.2 pav.) įrengiamas patalpoje, kurios plotas – 160 m², tūris 765 m³. Paveiksle paryškinta dūmtraukio dalis (apie 4 m ilgio). Ši dūmtraukio dalis modifikuojama, joje įrengiant papildomą apkabą, kurios viršutinėje dalyje įrengiamas ventiliatorius, į apkabą tiekiantis patalpos orą, o apačioje įrengiama oro ištekėjimo anga. Nagrinėjami trys variantai: dūmtraukis, dūmtraukis su apkaba

(žr. 2.3 pav.) ir dūmtraukis su apkaba ir papildomais elementais, skirtais srauto turbulentiškumui ir šilumokaitos plotui didinti (žr. 2.4 pav.).



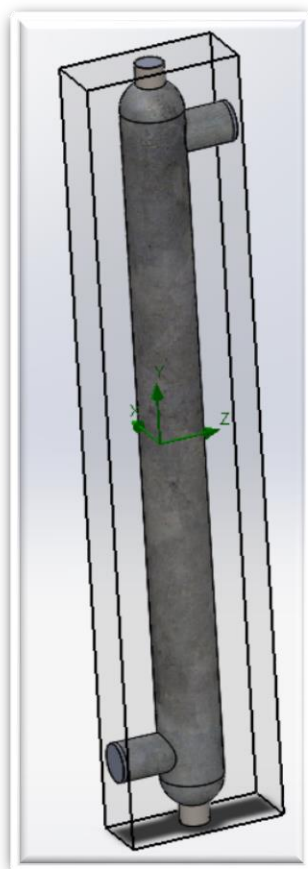
2.3 pav. Dūmtraukio modelis su apkaba



2.4 pav. Dūmtraukio modelis su papildomais elementais ir apkaba

2.2. Dūmtraukio skaitinis modelis

Dūmtraukio skaitinis modelis sudarytas analizės sistema SOLIDWORKS Flow Simulation, kuri skirta šilumos mainų ir fluideo srautų skaitinei analizei atlikti. Dūmtraukio skaitinio modelio vaizdas pateiktas 2.5 pav.



2.5 pav. Dūmtraukio su apkaba skaitinis modelis

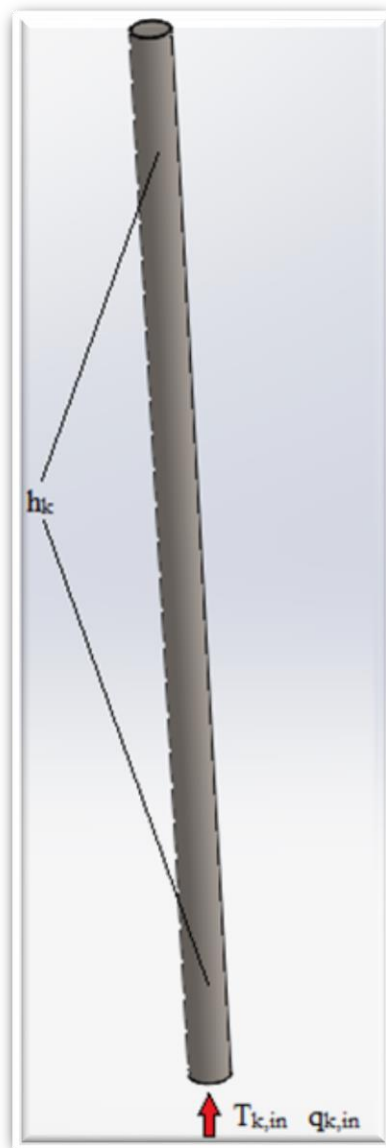
2.3. Kraštinių sąlygų parinkimas

SOLIDWORKS Flow Simulation leidžia spręsti įvairius šilumos mainų ir srautų tėkmės uždavinius. Šį įrankį patogu naudoti tais atvejais, kai eksperimentas sunkiai realizuojamas praktiškai arba jo kaina pernelyg didelė. Skaitiniais metodais taip pat yra patogu tirti įvairius fizikinius reiškinius, kai norima patikrinti suprojektuoto gaminio arba jo prototipo techninius duomenis ir charakteristikas. CAD sistema sudarytas bandomasis modelis tiesiog perkeliamas į pasirinktą skaitinio modeliavimo programą, kurioje sukuriama tyrimo sritis, sudaromas tinklelis, užduodamos kraštinės sąlygos, atliekamas skaičiavimas ir analizuojami gauti rezultatai. Apie naudojamus skaitinių metodų sistemas ir darbą su jomis yra plačiai aprašyta įvairių autorių darbuose [5, 6, 15, 16]. Šiuose darbuose pateiktos taip pat ir rekomendacijos, kurių laikantis galima pasiekti reikiamą skaičiavimo rezultatų tikslumą minimaliomis laiko ir kompiuterio resursų sąnaudomis. Analizuojant oro tėkmę dūmtraukyje ir apkaboje, naudojamas vidinės fluideo tėkmės modelis. Jį taikant parenkamos kraštinės sąlygos (slėgiai, greičiai ar debitai) įtekėjimo ir ištekėjimo angose. Modeliuojant šilumokaitos proecus, papildomai įtekėjimo ir ištekėjimo

angose užduodamos temperatūros, taip pat išorines sienelės ribojančio oro temperatūra ir natūralios konvekcijos koeficientas. Užduotos kraštinių sąlygų reikšmės pateiktos 2.2, 2.3, 2.4 lentelėse.

2.2 lentelė. Užduoti ir gauti, dūmtraukio duomenys

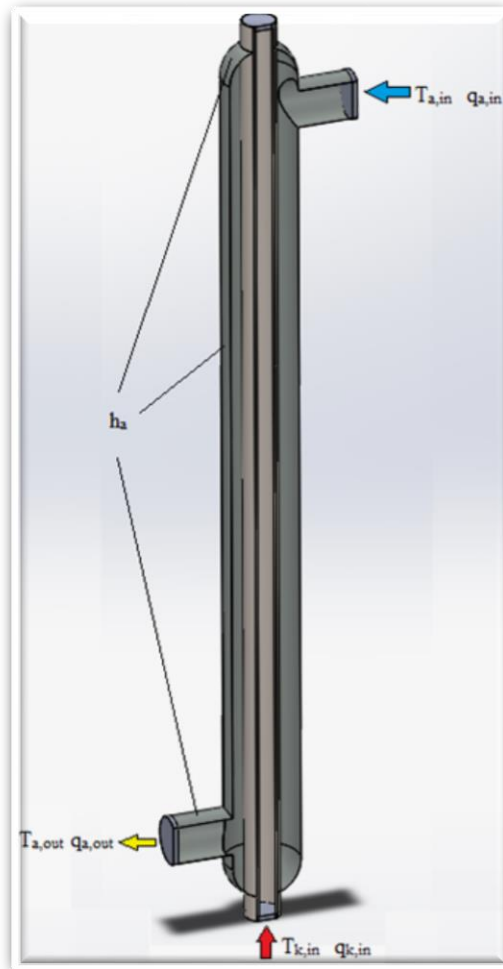
$T_{k,in}$ (K)	$q_{k,in}$ (m ³ /s)	h (W/m ² /K)
1000	0,03	10
1100		
1200		
1300		
1400		



2.6 Pav. Dūmtraukio be modifikacijų modelis, su priskiriamais parametrais

2.3 lentelė. Užduoti ir gauti, dūmtraukio su apkaba, duomenys

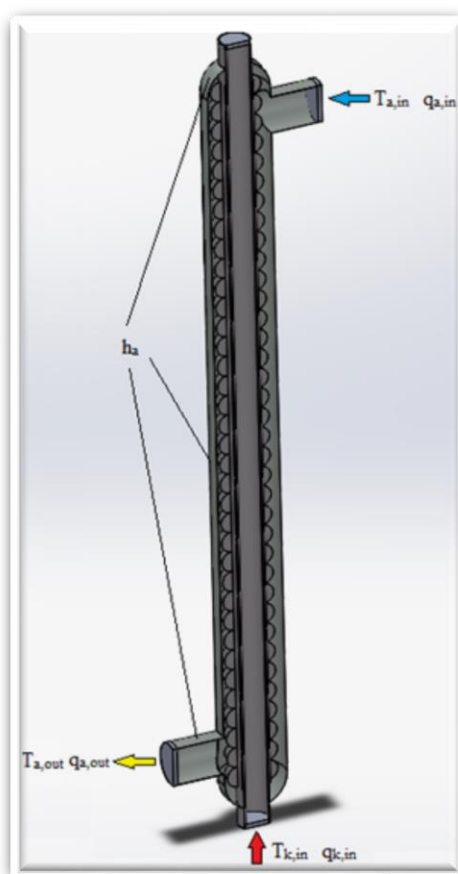
$T_{a,in}$ (K)	$T_{k,in}$ (K)	$q_{a,in}$ (m ³ /s)	$q_{k,in}$ (m ³ /s)	h (W/m ² /K)
293,2	1000	0,08	0,03	10
	1000	0,1		
	1000	0,12		
	1100	0,08		
	1100	0,1		
	1100	0,12		
	1200	0,08		
	1200	0,1		
	1200	0,12		
	1300	0,08		
	1300	0,1		
	1300	0,12		
	1400	0,08		
	1400	0,1		
	1400	0,12		



2.7 pav. Dūmtraukio su apkaba modelis, su priskiriamais parametrais

2.4 lentelē. Uzduoti ir gauti, dūmtraukio su privirintomis plokštelēm ir apkaba, duomenys

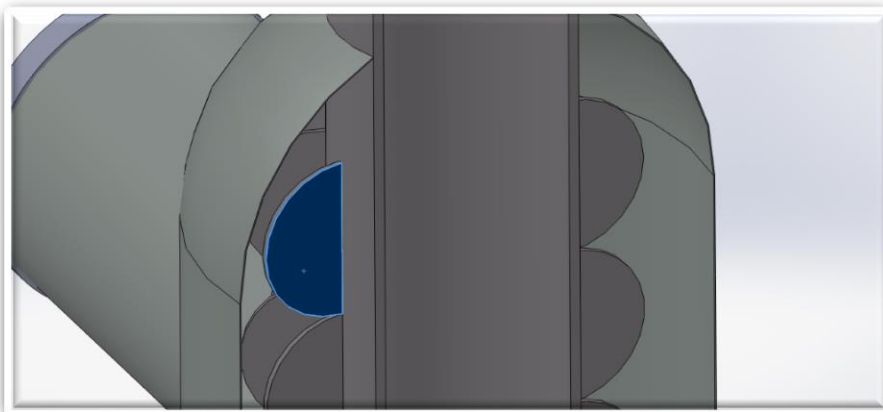
$T_{a,in}$ (K)	$T_{k,in}$ (K)	$q_{a,in}$ (m ³ /s)	$q_{k,in}$ (m ³ /s)	h (W/m ² /K)
293,2	1000	0,08	0,03	10
	1000	0,1		
	1000	0,12		
	1100	0,08		
	1100	0,1		
	1100	0,12		
	1200	0,08		
	1200	0,1		
	1200	0,12		
	1300	0,08		
	1300	0,1		
	1300	0,12		
	1400	0,08		
	1400	0,1		
	1400	0,12		



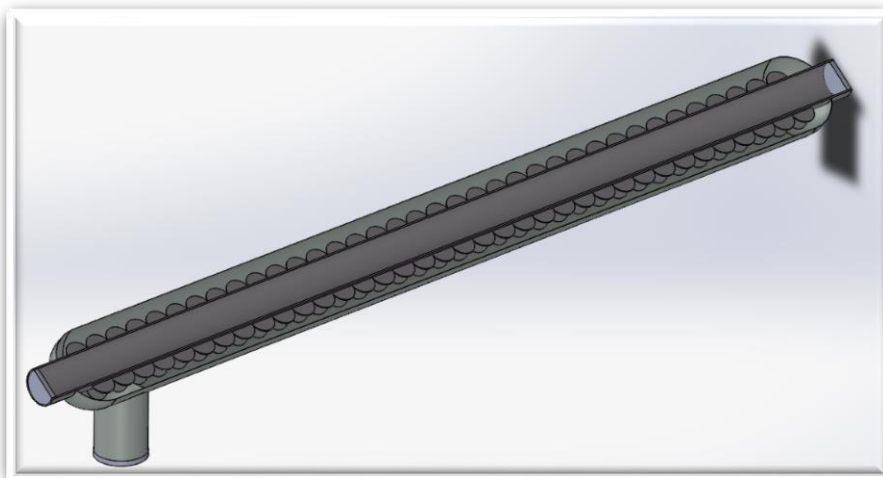
2.8 pav. Dūmtraukio su privirintomis plokštelēm ir apkaba modelis, su priskiriamais parametrais

3. SKAITINIO MODELIAVO REZULTATAI IR VARIANTŲ PALYGINIMAS

Šiame skyriuje pateikiami skaitinio modeliavimo rezultatai. Analizuojami skirtingi gaminio darbo režimai, kurie atitinka kraštines sąlygas, pateiktas 2.2, 2.3, 2.4 lentelėse. Pateikiami dviejų skaitinių modelių vaizdai. Pirmasis modelis, dūmtraukis su apkaba 3.10 pav. Apkaba konstruojama iš vieno $\text{Ø}315$ vamzdžio, dviejų $\text{Ø} 200$ vamzdžių ir dviejų perėjimų $\text{Ø} 315 \times 150$. Prie $\text{Ø} 315$ diametro vamzdžio, galuose iš šonų jungiami $\text{Ø} 200$ diametro vamzdžiai. Abu perėjimai $\text{Ø} 315 \times 150$ sujungiami su $\text{Ø} 315$ vamzdžio galais. Visa apkaba užmaunama ant dūmtraukio vamzdžio. Antrasis modelis, be apkabos, dar turi papildomus elementus, kurie privirinami prie dūmtraukio išorinės sienelės. Papildomi elementai – tai pusiau perpjautos $\text{Ø} 20$ skritulio formos ir 3mm storio plokštelės. Jos išdėstomos simetriškai, dvylikoje eilių, lygiagrečiai dūmtraukio ašinei linijai, kaip parodyta 3.2 pav. Bendras plokštelių skaičius – 216 vnt.



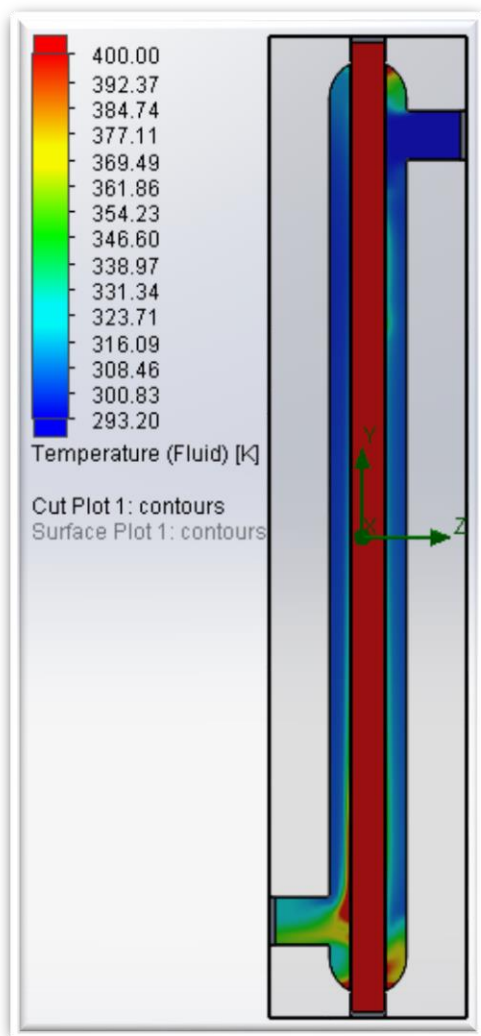
3.1 pav. Papildomų elementų išdėstymas



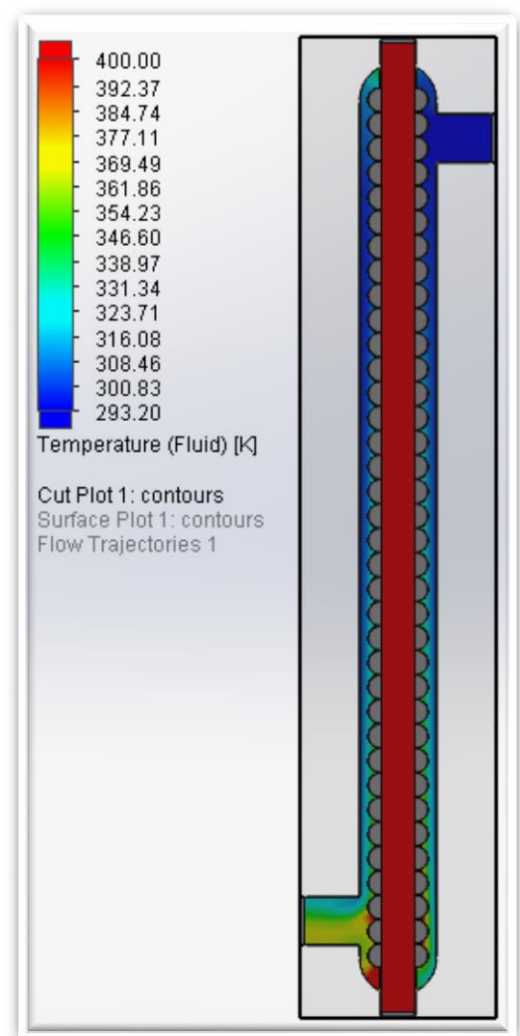
3.2 pav. Dūmtraukis su privirintomis plokštelėmis

3.1. Skaitinio modeliavimo rezultatų vizualizacija

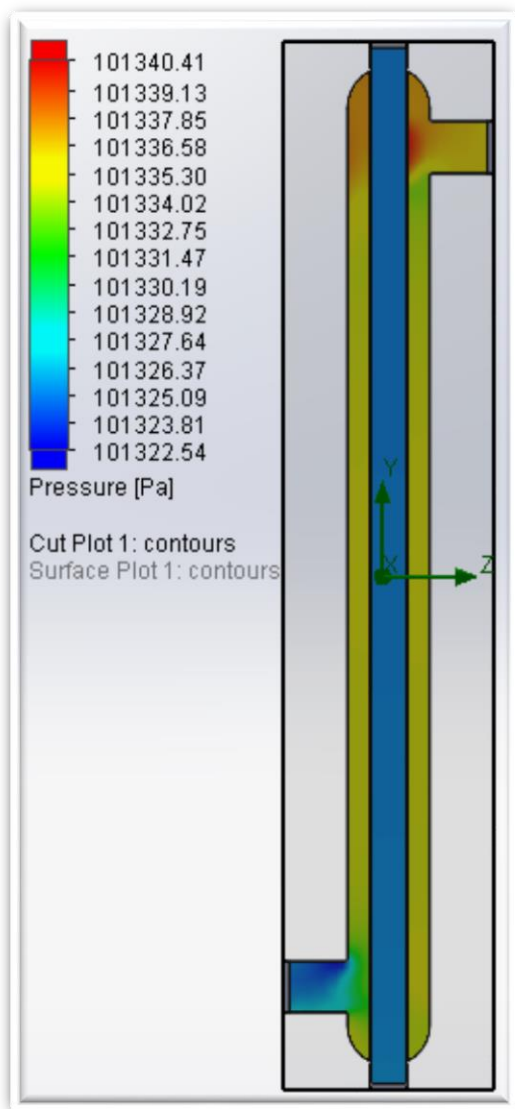
Sistema SOLIDWORKS Flow Simulation leidžia atvaizduoti gaunamus rezultatus patogia forma (paveiksluose, diagramuose, grafikuose ir lentelėse), kas palengvina analizę. Galima gauti pasirinktą parametą, bet kuriame skaičiuojamosios srities taške. Žemiau paveiksluose (žr. nuo 3.3 iki 3.8 pav.) pateikti temperatūrų, slėgių ir fluido judėjimo greičių pasiskirstymo vaizdai konstrukcijų frontalinės plokštumos pjūvyje, esant skirtingoms įtekėjimo temperatūroms. Galios skaičiavimui naudojama 1.1 lygtis, kurioje naudojama oro specifinė šilumos talpa – $1,008 \text{ [J / kg} \cdot \text{°C]}$ ir masės srautas, kuris priklauso nuo fluido srauto modelyje: $0,08 \text{ m}^3/\text{s} - 0,096 \text{ kg/s}$, $0,1 \text{ m}^3/\text{s} - 0,120 \text{ kg/s}$, $0,1 \text{ m}^3/\text{s} - 0,144 \text{ kg/s}$.



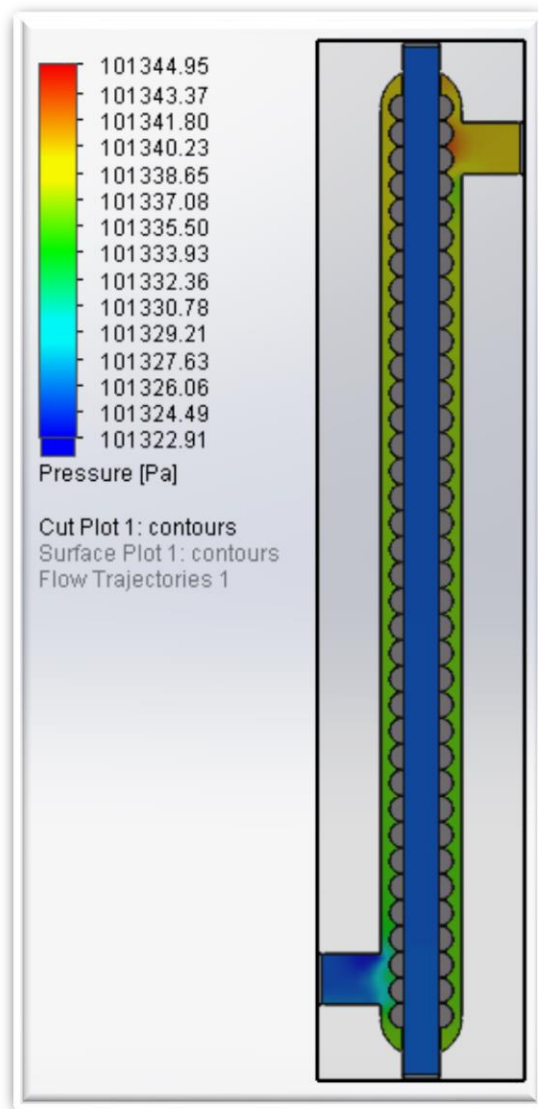
3.3 pav. Temperatūrų pasiskirstymas dūmtraukyje su apkaba



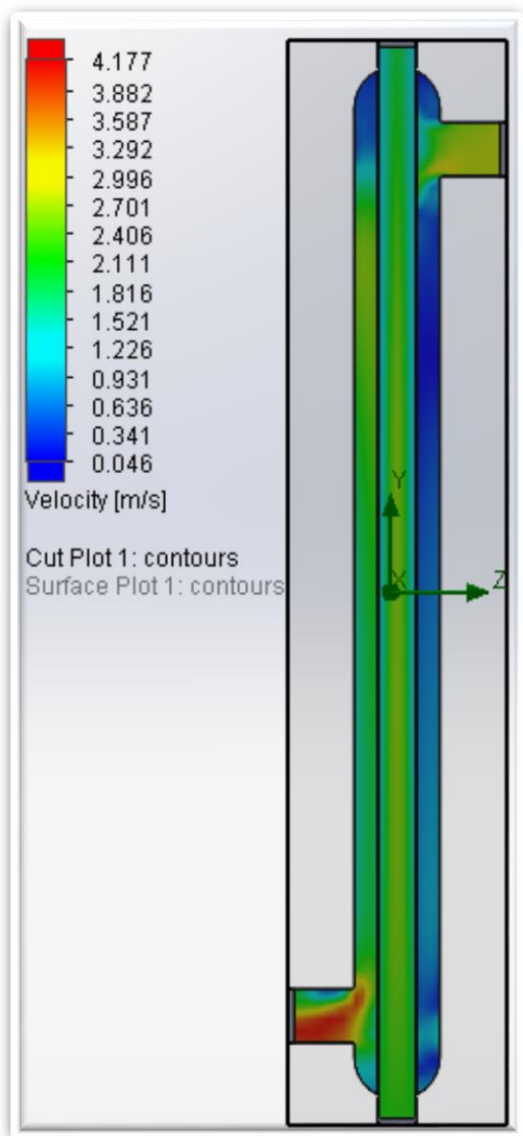
3.4 pav. Temperatūrų pasiskirstymas dūmtraukyje su apkaba ir plokštelėmis



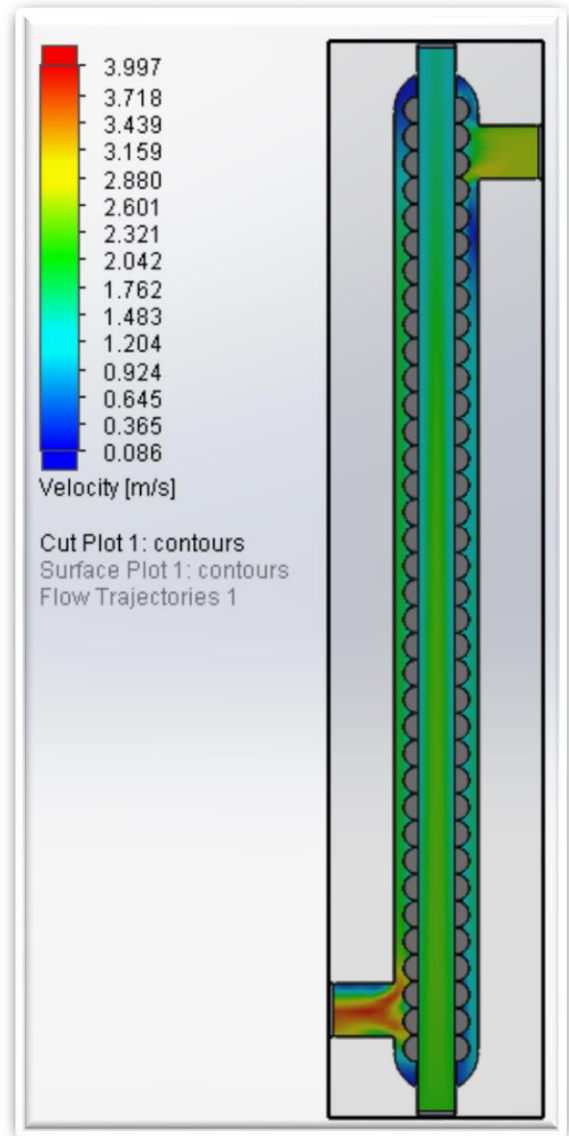
3.5 pav. Slėgio pasiskirstymas dūmtraukyje su apkaba



3.6 pav. Slėgio pasiskirstymas dūmtraukyje su apkaba ir plokštelėmis



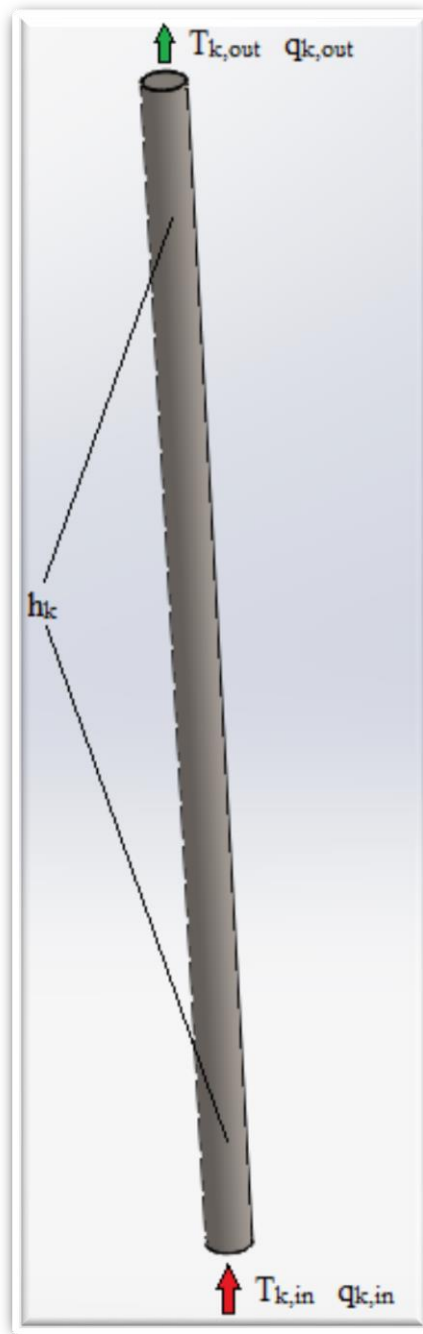
3.7 pav. Fluido judėjimo pasiskirstymas dūmtraukyje su apkaba



3.8 pav. Fluido judėjimo pasiskirstymas dūmtraukyje su apkaba ir plokštelėmis

3.1 lentelė. Užduoti ir gauti, dūmtraukio duomenys

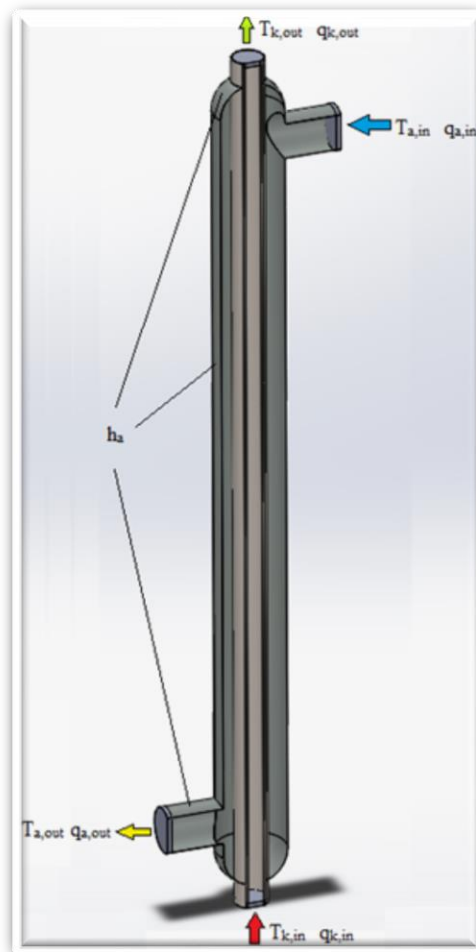
$T_{k,in}$ (K)	$T_{k,out}$ (K)	$q_{k,in}$ (m ³ /s)	h (W/m ² /K)	\dot{Q} , kW
1000	767	0,03	10	2.49
1100	796			3.24
1200	844			3.80
1300	891			4.37
1400	934			4.97



3.9 pav. Dūmtraukio su apkaba modelis, su priskiriamais parametrais

3.2 lentelē. Uzduoti ir gauti, dūmtraukio su apkaba, duomenys

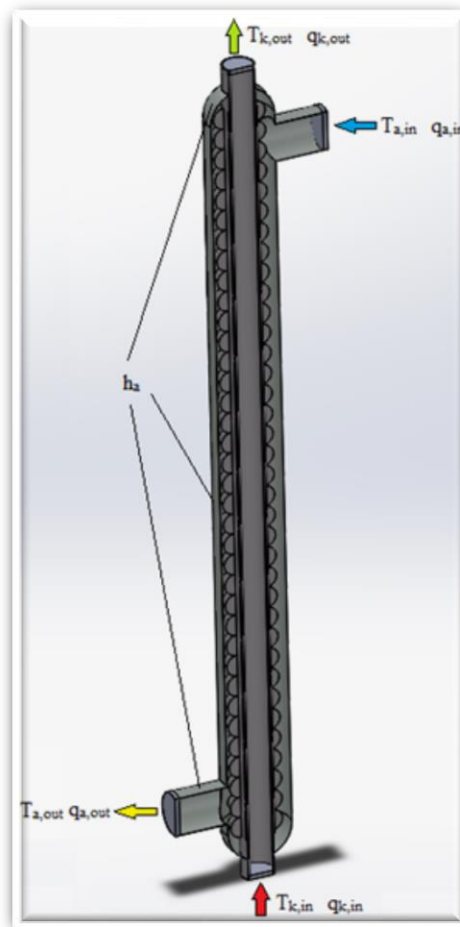
$T_{a,in}$ (K)	$T_{a,out}$ (K)	$T_{k,in}$ (K)	$T_{k,out}$ (K)	$q_{a,in}$ (m ³ /s)	$q_{k,in}$ (m ³ /s)	h (W/m ² /K)	\dot{Q} , kW
293,2	319.7	1000	730	0,08	0,03	10	2.88
	319.7	1000	718	0,1			3.01
	312.6	1000	707	0,12			3.13
	322.78	1100	774	0,08			3.48
	318	1100	760	0,1			3.63
	315	1100	748	0,12			3.76
	325.03	1200	815	0,08			4.11
	320	1200	799	0,1			4.28
	317	1200	785	0,12			4.43
	328.4	1300	854	0,08			4.76
	322.6	1300	836	0,1			4.95
	318.8	1300	822	0,12			5.10
	330.8	1400	891	0,08			5.43
	324.6	1400	872	0,1			5.64
	320.5	1400	854	0,12			5.83



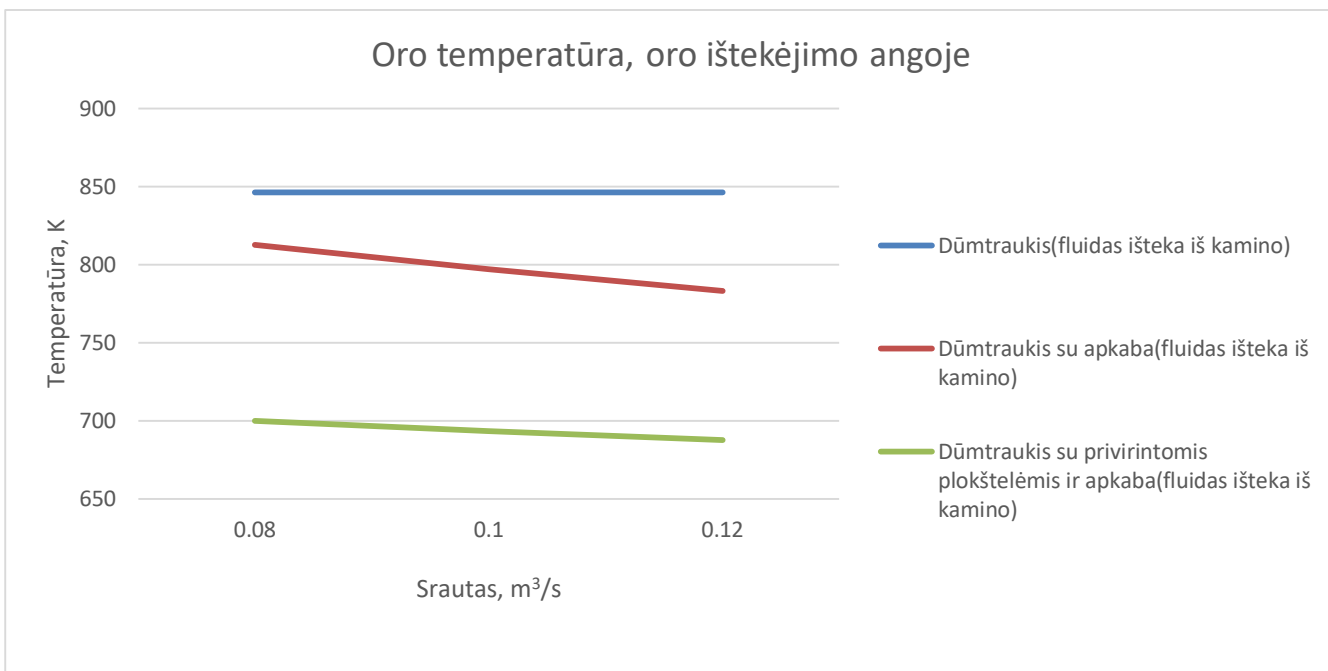
3.10 pav. Dūmtraukio su apkaba modelis, su priskiriamais parametrais

3.3 lentelē. Užduoti ir gauti, dūmtraukio su privirintomis plokštelėmis ir apkaba, duomenys

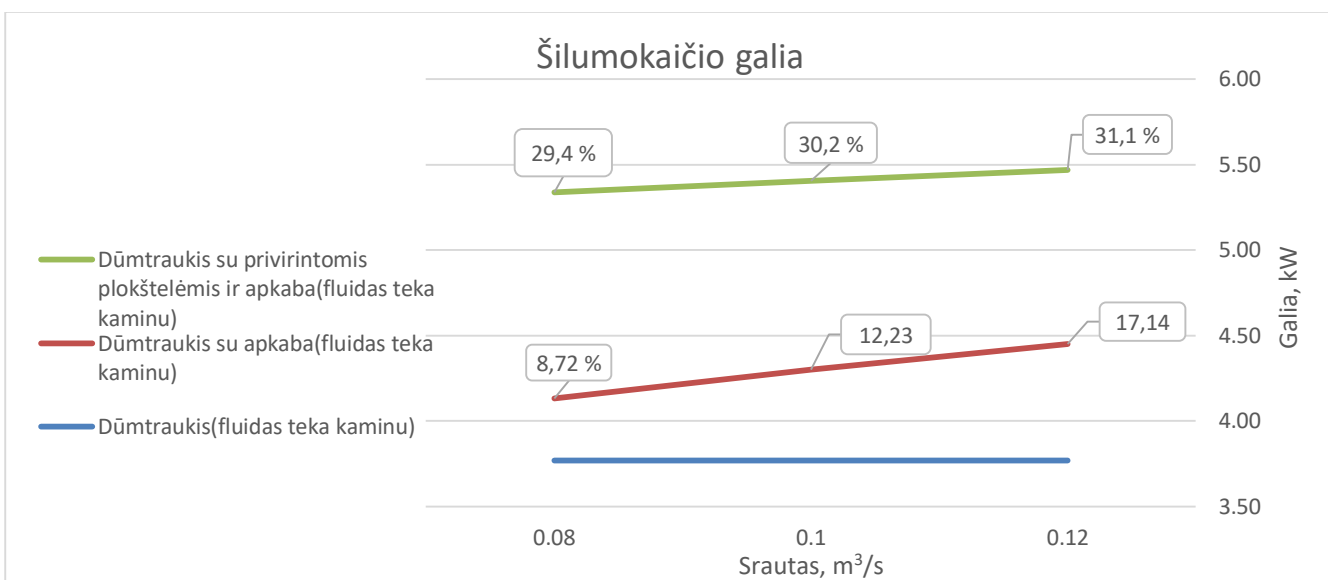
$T_{a,in}$ (K)	$T_{a,out}$ (K)	$T_{k,in}$ (K)	$T_{k,out}$ (K)	$q_{a,in}$ (m ³ /s)	$q_{k,in}$ (m ³ /s)	h (W/m ² /K)	\dot{Q} , kW
293,2	329.4	1000	643	0,08	0,03	10	3.81
	323	1000	637	0,1			3.87
	318.5	1000	633	0,12			3.92
	333.1	1100	672	0,08			4.57
	326	1100	666	0,1			4.63
	321.1	1100	660	0,12			4.70
	336.3	1200	701	0,08			5.33
	328.6	1200	694	0,1			5.40
	323.3	1200	690	0,12			5.44
	339.3	1300	729	0,08			6.09
	331	1300	722	0,1			6.17
	325	1300	712	0,12			6.28
	342	1400	754	0,08			6.89
	333	1400	749	0,1			6.95
	327	1400	744	0,12			7.00



3.11 pav. Dūmtraukio su privirintomis plokštelėmis ir apkaba modelis, su priskiriamais parametrais



3.12 pav. Temperatūra dūmtraukio oro išteķējimo angoje



3.13 pav. Šilumokaiķio galia

IŠVADOS

1. Darbe pateikta gamybinės patalpos šildymo krosnelės dūmtraukio su įvairiomis modifikacijomis efektyvumo tyrimas, naudojant skaitinės analizės sistemą Solidworks Flow Simulation.
2. Nustatyti šilumokaitos proceso nuostoliai pagrindiniai parametrai – dūmtraukio ištekancio oro temperatūros ir iš apkabos į patalpą įtekančio oro temperatūros pakitimas, šilumokaitos proceso galia, kt.
3. Nustatyta, kad dūmtraukio su apkaba naudojimas yra efektyvesnis nuo 8,72% iki 17,4%, o dūmtraukio su privirintomis plokštelėmis ir apkaba naudojimas – nuo 29,4% iki 31,1%.

REKOMENDACIJOS

1. Rekomenduojama modifikuoti dūmtraukio konstrukciją ir atlikti tokius pakeitimus:

- prie dūmtraukio vamzdžio privirinti papildomas plokšteles, taip sukuriant didesnę oro judėjimą ir jo temperatūros padidinimą;
- ant dūmtraukio sumontuoti apkabą, su įtekėjimo ir ištekėjimo angomis;
- apkabos įėjimo angoje sumontuoti kanalinį ventiliatorių, kuriuo būtų reguliuojamas įtekėjimo srautas.

Taip modifikuotas dūmtraukio vamzdis, sumažins kieto kuro sanaudas ir padidins šilumos tiekimą į patalpą.

LITERATŪRA

1. Lietuvos šilumos tiekėjų asociacija, *Šilumos vartotojo vadovas*, 1 priedas, 44 p, Vilnius, 2001.
2. <http://silumokaiciai.lt/lt/ploksteliniai-lituoti-silumokaiciai/> (žiūrėta 2019-01-16)
3. <http://silumokaiciai.lt/lt/ploksteliniai-surenkami-silumokaiciai/> (žiūrėta 2019-01-17)
4. <https://www.alfalaval.lt/produktai-ir-sprendimai/ilumos-perdavimas/vamzdiniai-ilumokaiciai/vamzdis-vamzdyje-silumokaiciai/> (žiūrėta 2019-01-20)
5. Usman Ur Rehman., *Heat Transfer Optimization of Shell-and-Tube Heat Exchanger through CFD Studies*, Göteborg, Sweden 2011, Master's Thesis 2011:09.
6. Yunus A. Cengel, *HEAT TRANSFER A Practical Approach SECOND*, pp. 896, 2002.
7. *Elektrinis Patalpų Šildymas, Pogrindinis Šildymas, Eksploatacinės Charakteristikos. Apibrėžtys, Bandymo Metodai, Matmenų Nustatymas Ir Formuliu Simboliai [Elektroninis Išteklius]*. 2013-09-30 ed. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2013.
8. *Šildymas*. 2011: , 2011 ISBN 9789955926474.
9. *Šilumokaičiai. Terminija (Elektroninis Išteklius)*. 2004-12-15.; Lietuviška versija: 2006-08-30. ed. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2004.
10. *Pastatų Šiltinimas, Sandarinimas, Apsauga Nuo Drėgmės. Pastatų Šildymas, Vėdinimas, Oro Kondicionavimas. Stogai Ir jų Dangos*. Vilnius: Infoleidyba, 1999.
11. BROMLĖJUS M., F. *Pramoninių Patalpų Šildymas Ir Vėdinimas*. Vilnius: Profleidykla, 1954.
12. GLUOSNIS, A.E. Šilumokaičiai ... Šilumokaičiai. *Statyba Ir Architektūra : Mokslo Ir Praktikos Žurnalas*, 1993, no. 10. pp. 20-21 ISSN 0131-9183.
13. JOHRA, H., HEISELBERG, P. and DRÉAU, J.L. *Influence of Envelope, Structural Thermal Mass and Indoor Content on the Building Heating Energy Flexibility.*, 15 Sausio 2019.
14. <https://lt.dermotwhelanconstruction.com/shema-otopenija-ceha> (žiūrėta 2019-04-20)
15. J. J. Gay B, Mackley NV, *Shell-side heat transfer in baffled cylindrical shell and tube Exchangers - an electrochemical mass transfer modelling technique* Int J Heat Mass Transfer, vol. 19, pp. 995–1002, 1976.
16. G. V. Gaddis ES, *Pressure drop on the shell side of shell-and-tube heat exchangers with*

segmental baffles, Chem Eng Process, vol. 36, pp. 149–59, 1997.

17. E. Cao, *Heat Transfer in Process Engineering*, McGraw Hill, 2009

18. J. P. Holman., *Heat Transfer*, 8th ed. New York: McGraw-Hill, 1997.

19. F. Kreith and M. S. Bohn., *Principles of Heat Transfer*, 6th ed. Pacific Grove, CA: Brooks/Cole, 2001.

PRIEDAI

1 PRIEDAS

P.1.1 lentelė. Pirma simuliacija tiekiamas **0,08 m³/s** oro srautas (vamzdis su apkaba)

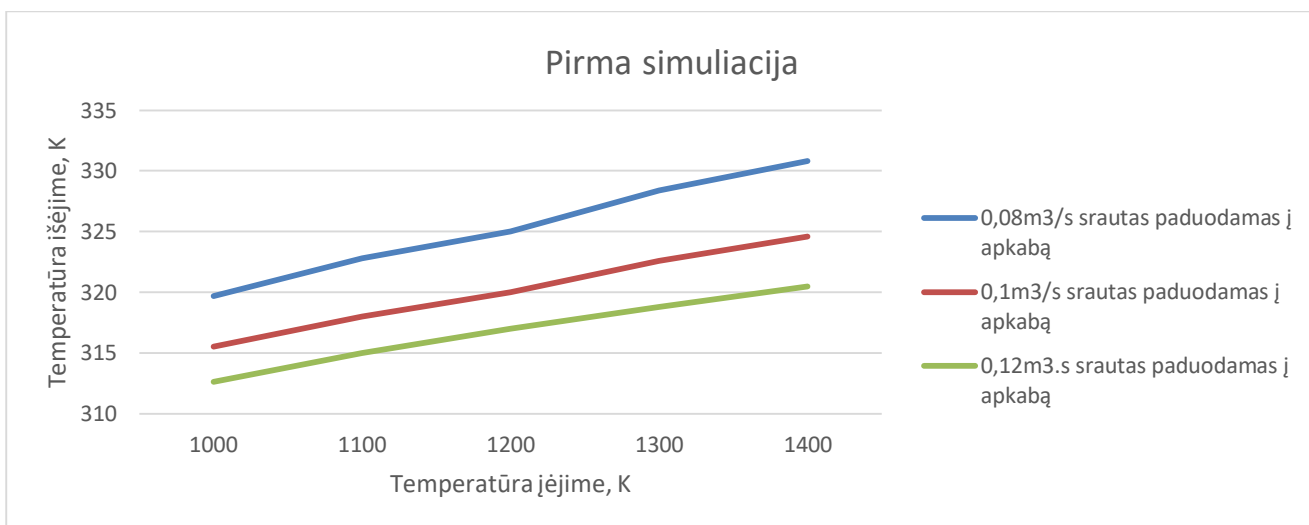
Variantai	T _{k.in} , K	T _{a.in} , K	T _{a.out} , K
1	1000	293.2	319.7
2	1100	293.2	322.78
3	1200	293.2	325.03
4	1300	293.2	328.4
5	1400	293.2	330.8

P.1.2 lentelė. Pirma simuliacija tiekiamas **0,1 m³/s** oro srautas (vamzdis su apkaba)

Variantai	T _{k.in} , K	T _{a.in} , K	T _{a.out} , K
1	1000	293.2	315.5
2	1100	293.2	318
3	1200	293.2	320
4	1300	293.2	322.6
5	1400	293.2	324.6

P.1.3 lentelė. Pirma simuliacija tiekiamas **0,12 m³/s** oro srautas (vamzdis su apkaba)

Variantai	T _{k.in} , K	T _{a.in} , K	T _{a.out} , K
1	1000	293.2	312.6
2	1100	293.2	315
3	1200	293.2	317
4	1300	293.2	318.8
5	1400	293.2	320.5



P.1.1 pav. Dūmtrauio su apkabos ištekančio oro temperatūra

P.1.4 lentelē. Pirma simuliacija tiekiamas **0,08 m³/s** oro srautas (vamzdis su apkaba)

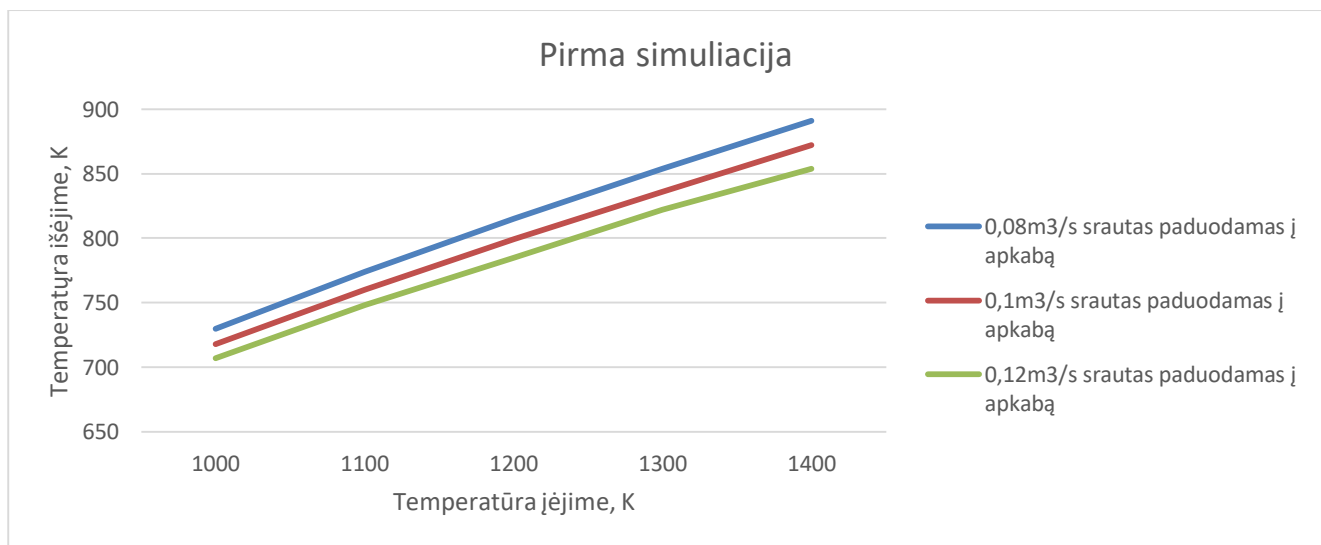
Variantai	T _{kin} , K	T _{a.out} , K
1	1000	730
2	1100	774
3	1200	815
4	1300	854
5	1400	891

P.1.5 lentelē. Pirma simuliacija tiekiamas **0,1 m³/s** oro srautas (vamzdis su apkaba)

Variantai	T _{kin} , K	T _{a.out} , K
1	1000	718
2	1100	760
3	1200	799
4	1300	836
5	1400	872

P.1.6 lentelē. Pirma simuliacija tiekiamas **0,12 m³/s** oro srautas (vamzdis su apkaba)

Variantai	T _{kin} , K	T _{a.out} , K
1	1000	707
2	1100	748
3	1200	785
4	1300	822
5	1400	854



P.1.2 pav. Iņ kamino iņtekanēio karēto oro temperatūra

P.1.7 lentelē. Antra simuliacija tiekiamas **0,08 m³/s** oro srautas (vamzdis su privirintomis plokštelėmis ir apkaba)

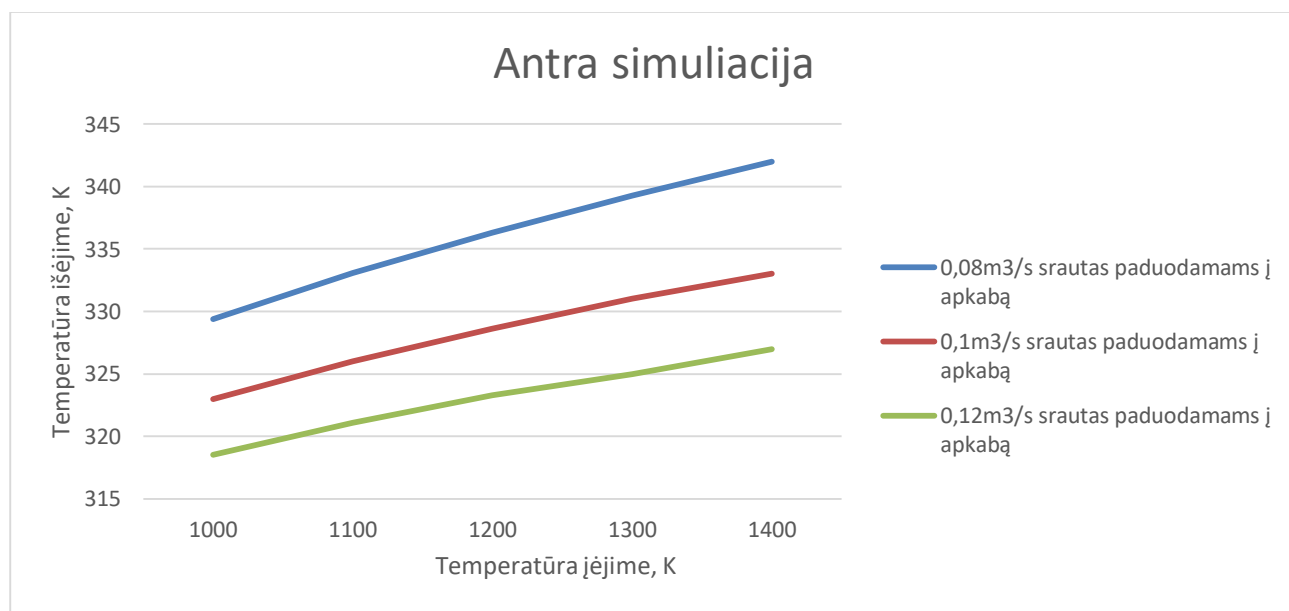
Variantai	T _{k.in} , K	T _{a.in} , K	T _{a.out} , K
1	1000	293.2	329.4
2	1100	293.2	333.1
3	1200	293.2	336.3
4	1300	293.2	339.3
5	1400	293.2	342

P.1.8 lentelē. Antra simuliacija tiekiamas **0,1 m³/s** oro srautas (vamzdis su privirintomis plokštelėmis ir apkaba)

Variantai	T _{k.in} , K	T _{a.in} , K	T _{a.out} , K
1	1000	293.2	323
2	1100	293.2	326
3	1200	293.2	328.6
4	1300	293.2	331
5	1400	293.2	333

P.1.9 lentelē. Antra simuliacija tiekiamas **0,12 m³/s** oro srautas (vamzdis su privirintomis plokštelėmis ir apkaba)

Variantai	T _{k.in} , K	T _{a.in} , K	T _{a.out} , K
1	1000	293.2	318.5
2	1100	293.2	321.1
3	1200	293.2	323.3
4	1300	293.2	325
5	1400	293.2	327



P.1.3 pav. Iš apkabos ištekančio pašildyto oro temperatūra

P.1.10 lentelē. Antra simuliacija tiekamas **0,08 m³/s** oro srautas (vamzdis su privirintomis plokštelēm is ir apkaba)

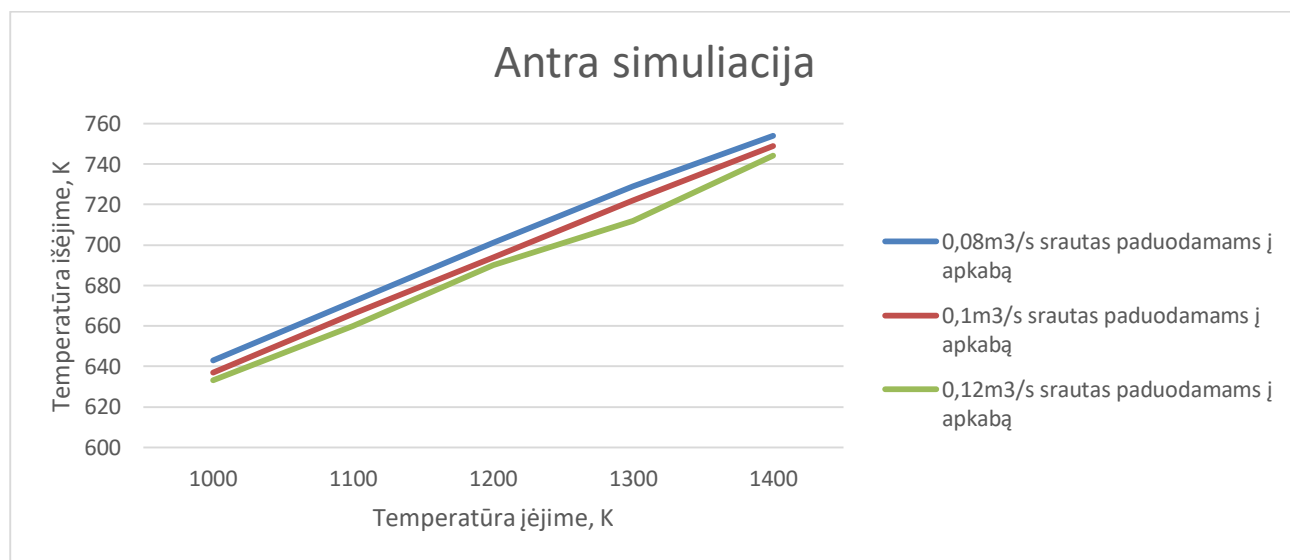
Variantai	T _{k.in} , K	T _{a.out} , K
1	1000	643
2	1100	672
3	1200	701
4	1300	729
5	1400	754

P.1.11 lentelē. Antra simuliacija tiekamas **0,1 m³/s** oro srautas (vamzdis su privirintomis plokštelēm is ir apkaba)

Variantai	T _{k.in} , K	T _{a.out} , K
1	1000	637
2	1100	666
3	1200	694
4	1300	722
5	1400	749

P.1.12 lentelē. Antra simuliacija tiekamas **0,12 m³/s** oro srautas (vamzdis su privirintomis plokštelēm is ir apkaba)

Variantai	T _{k.in} , K	T _{a.out} , K
1	1000	633
2	1100	660
3	1200	690
4	1300	712
5	1400	744



P.1.4 pav. Iē kamino iētekanēio karēto oro temperatūra

P.1.13 lentelē. Pirma simuliacija, nustatoma galia, tiekiamas **0,08 m³/s** oro srautas (vamzdis su apkaba)

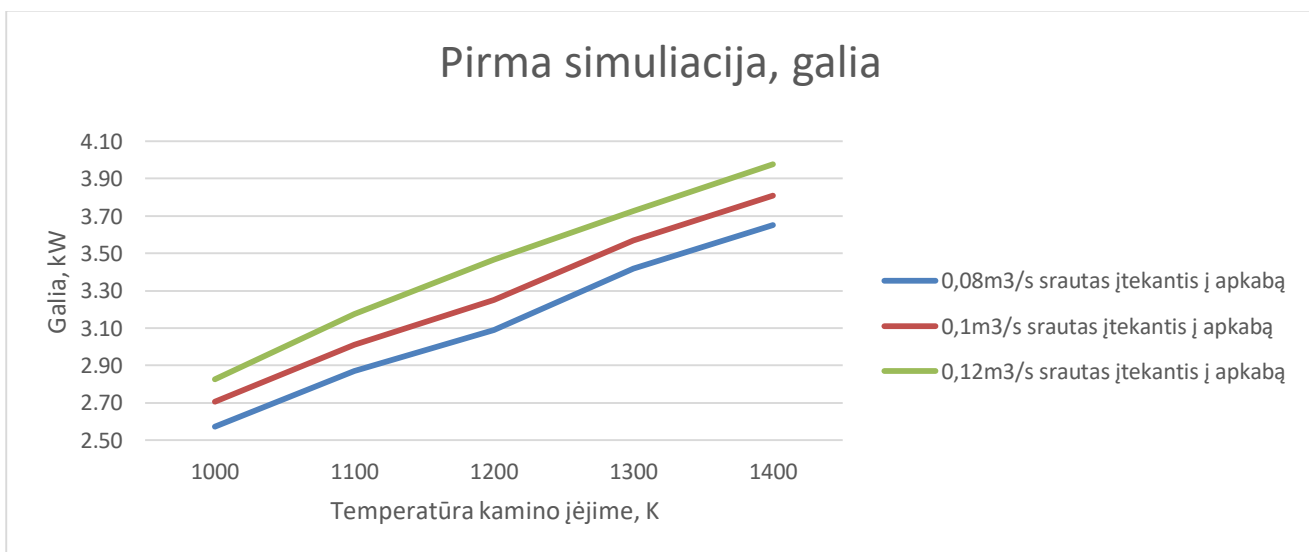
T _{a.in} , K	T _{a.out} , K	Specifinė šilumos talpa [J / kg · °C]	Masės srautas [kg/s]	Galia [kW]
293.2	319.7	1.008	0.0963097	2.57
293.2	322.78			2.87
293.2	325.03			3.09
293.2	328.4			3.42
293.2	330.8			3.65

P.1.14 lentelē. Pirma simuliacija, nustatoma galia, tiekiamas **0,1 m³/s** oro srautas (vamzdis su apkaba)

T _{a.in} , K	T _{a.out} , K	Specifinė šilumos talpa [J / kg · °C]	Masės srautas [kg/s]	Galia [kW]
293.2	315.5	1.008	0.12039	2.71
293.2	318			3.01
293.2	320			3.25
293.2	322.6			3.57
293.2	324.6			3.81

P.1.15 lentelē. Pirma simuliacija, nustatoma galia, tiekiamas **0,12 m³/s** oro srautas (vamzdis su apkaba)

T _{a.in} , K	T _{a.out} , K	Specifinė šilumos talpa [J / kg · °C]	Masės srautas [kg/s]	Galia [kW]
293.2	312.6	1.008	0.14448	2.83
293.2	315			3.17
293.2	317			3.47
293.2	318.8			3.73
293.2	320.5			3.98



P.1.5 pav. Šilumokaitos proceso galia

P.1.16 lentelė. Pirma simuliacija, nustatoma galia, tiekiamas **0,08 m³/s** oro srautas (vamzdis su apkaba)

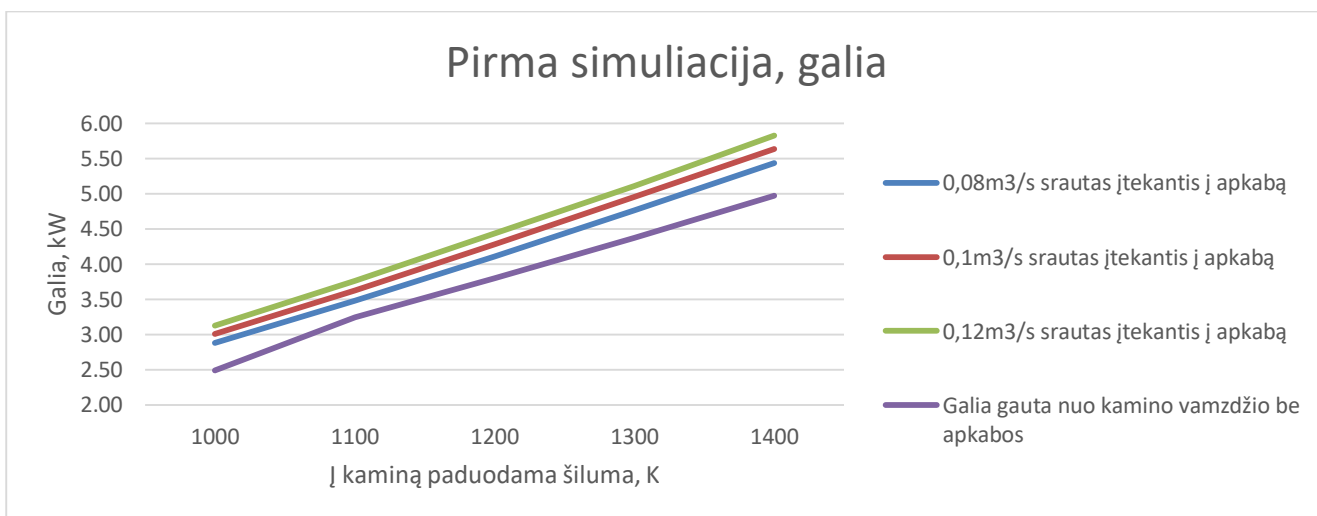
T _{k.in} , K	T _{k.out} , K	Specifinė šilumos talpa [J / kg · °C]	Masės srautas [kg/s]	Galia [W]
1000	730	1.008	0.010588	2.88
1100	774			3.48
1200	815			4.11
1300	854			4.76
1400	891			5.43

P.1.17 lentelė. Pirma simuliacija, nustatoma galia, tiekiamas **0,1 m³/s** oro srautas (vamzdis su apkaba)

T _{k.in} , K	T _{k.out} , K	Specifinė šilumos talpa [J / kg · °C]	Masės srautas [kg/s]	Galia [W]
1000	718	1.008	0.010588	3.01
1100	760			3.63
1200	799			4.28
1300	836			4.95
1400	872			5.64

P.1.18 lentelė. Pirma simuliacija, nustatoma galia, tiekiamas **0,12 m³/s** oro srautas (vamzdis su apkaba)

T _{k.in} , K	T _{k.out} , K	Specifinė šilumos talpa [J / kg · °C]	Masės srautas [kg/s]	Galia [W]
1000	707	1.008	0.010588	3.13
1100	748			3.76
1200	785			4.43
1300	822			5.10
1400	854			5.83



P.1.6 pav. Šilumokaitos proceso galia

P.1.19 lentelē. Antra simuliacija, nustatoma galia, tiekiamas **0,08 m³/s** oro srautas (vamzdis su privirintomis plokštelėmis ir apkaba)

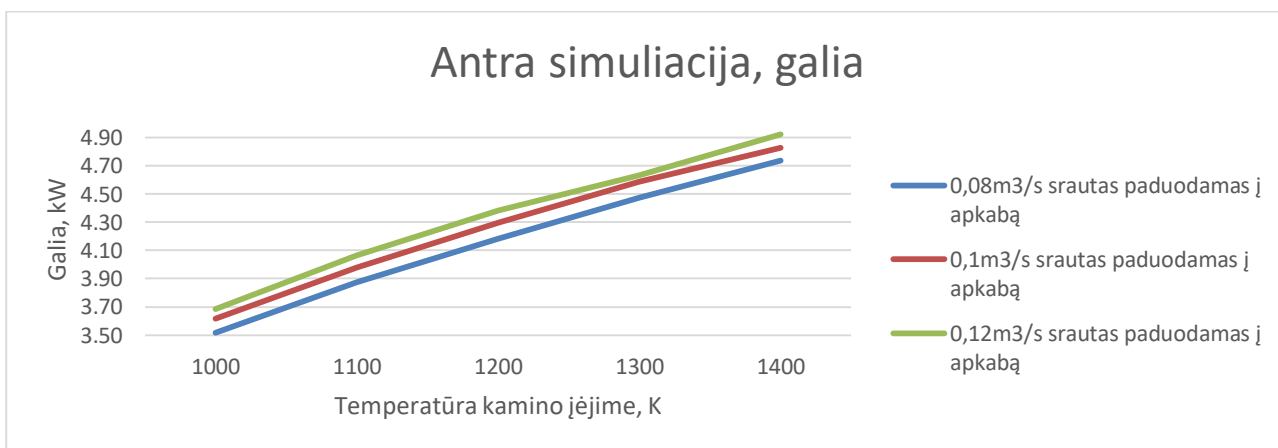
T _{a.in} , K	T _{a.out} , K	Specifinė šilumos talpa [J / kg · °C]	Masės srautas [kg/s]	Galia [kW]
293.2	329.4	1.008	0.09631	3.51
293.2	333.1			3.87
293.2	336.3			4.18
293.2	339.3			4.48
293.2	342			4.74

P.1.20 lentelē. Antra simuliacija, nustatoma galia, tiekiamas **0,1 m³/s** oro srautas (vamzdis su privirintomis plokštelėmis ir apkaba)

T _{a.in} , K	T _{a.out} , K	Specifinė šilumos talpa [J / kg · °C]	Masės srautas [kg/s]	Galia [kW]
293.2	323	1.008	0.12039	3.62
293.2	326			3.98
293.2	328.6			4.30
293.2	331			4.59
293.2	333			4.83

P.1.21 lentelē. Antra simuliacija, nustatoma galia, tiekiamas **0,12 m³/s** oro srautas (vamzdis su privirintomis plokštelėmis ir apkaba)

T _{a.in} , K	T _{a.out} , K	Specifinė šilumos talpa [J / kg · °C]	Masės srautas [kg/s]	Galia [kW]
293.2	318.5	1.008	0.14448	3.68
293.2	321.1			4.06
293.2	323.3			4.38
293.2	325			4.63
293.2	327			4.92



P.1.7 pav. Šilumokaitos proceso galia

P.1.22 lentelē. Antra simuliacija, nustatoma galia, tiekiamas **0,08 m³/s** oro srautas (vamzdis su privirintomis plokštelėmis ir apkaba)

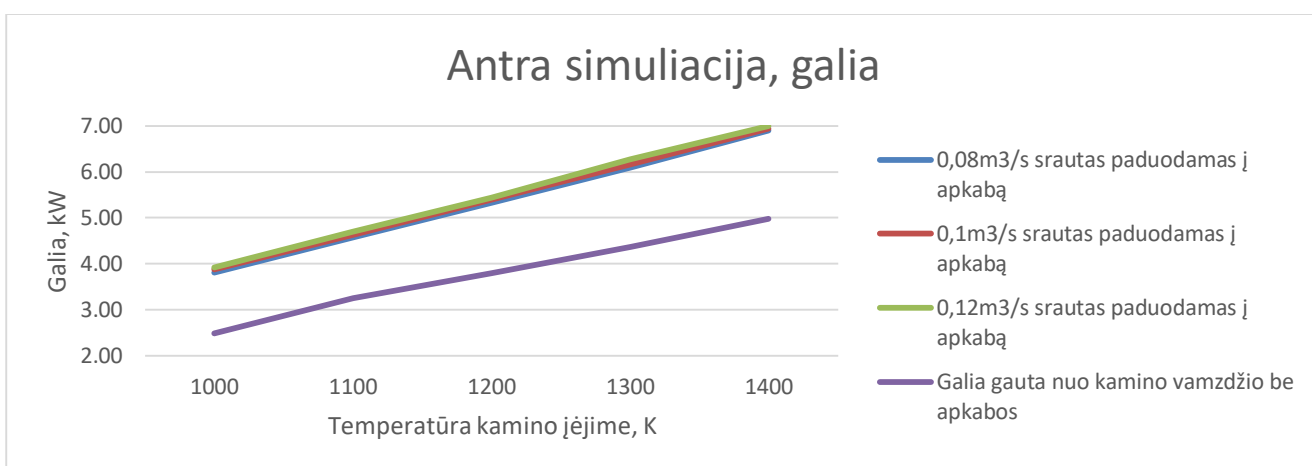
T _{k.in} , K	T _{k.out} , K	Specifinė šilumos talpa [J / kg · °C]	Masės srautas [kg/s]	Galia [kW]
1000	643	1.008	0.010588	3.81
1100	672			4.57
1200	701			5.33
1300	729			6.09
1400	754			6.89

P.1.23 lentelē. Antra simuliacija, nustatoma galia, tiekiamas **0,1 m³/s** oro srautas (vamzdis su privirintomis plokštelėmis ir apkaba)

T _{k.in} , K	T _{k.out} , K	Specifinė šilumos talpa [J / kg · °C]	Masės srautas [kg/s]	Galia [kW]
1000	637	1.008	0.010588	3.87
1100	666			4.63
1200	694			5.40
1300	722			6.17
1400	749			6.95

P.1.25 lentelē. Antra simuliacija, nustatoma galia, tiekiamas **0,12 m³/s** oro srautas (vamzdis su privirintomis plokštelėmis ir apkaba)

T _{k.in} , K	T _{k.out} , K	Specifinė šilumos talpa [J / kg · °C]	Masės srautas [kg/s]	Galia [kW]
1000	633	1.008	0.010588	3.92
1100	660			4.70
1200	690			5.44
1300	712			6.28
1400	744			7.00



P.1.8 pav. Šilumokaitos proceso galia